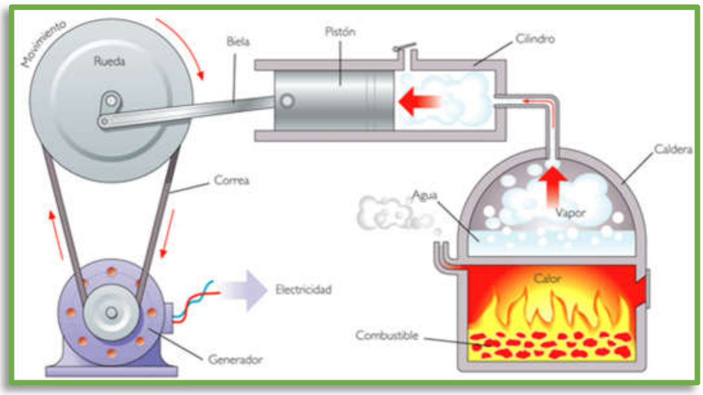
Departamento de Física y Química

I.E.E.S. Juan Ramón Jiménez Casablanca

Tema 3

Energía, Trabajo y Calor



1.- Introducción.
2.- Trabajo.
3.- Potencia.
4.- Energía.
5.- Principio de conservación de la energía.
6.- Calor y Temperatura.
7.- Calor específico.
8.- Cambios de estado. Calor latente.
9.- Cambios de Tamaño. Dilatación.

Temario Física y Química 4º ESO

Tema 3

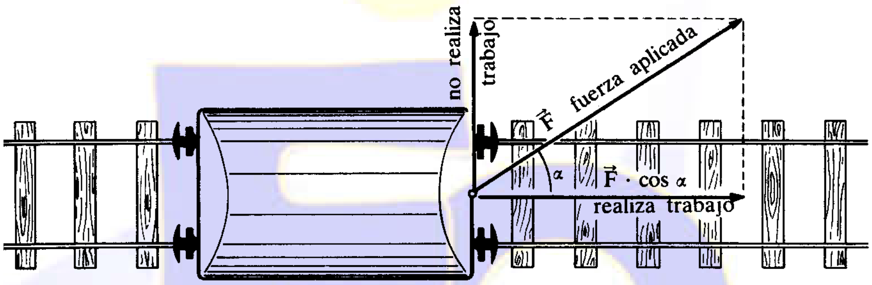
3.1.- Introducción

La energía es una propiedad que está relacionada con los cambios o procesos de transformación en la naturaleza. Sin energía ningún proceso físico, químico o biológico sería posible. La forma de energía asociada a las transformaciones de tipo mecánico se denomina energía mecánica y su transferencia de un cuerpo a otro recibe el nombre de trabajo. Ambos conceptos permiten estudiar el movimiento de los cuerpos de forma más sencilla que usando términos de fuerza y constituyen, por ello, elementos clave en la descripción de los sistemas físicos.

3.2.- Trabajo

Si al aplicar una fuerza a un cuerpo se origina un desplazamiento del mismo, diremos que se ha realizado un ***trabajo.***

Todo cuerpo material tiende a moverse en la dirección de la fuerza aplicada. Si se obliga al cuerpo a seguir una trayectoria que forma cierto ángulo con la dirección de la fuerza, parte del efecto de ésta se pierde en vencer la resistencia del cuerpo a seguir esta dirección; por lo que para calcular el trabajo realizado hemos de considerar la fuerza que efectivamente desplaza al cuerpo.



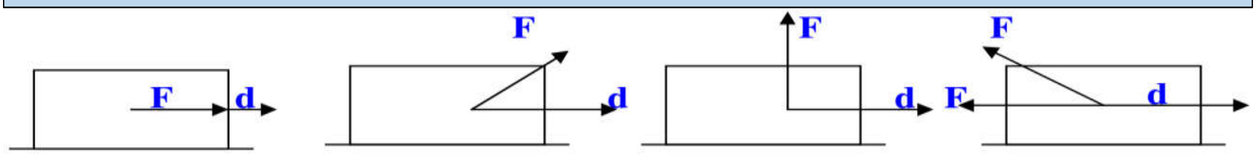
En la figura observamos que la fuerza que realiza trabajo es la que actúa en la dirección del desplazamiento. La fuerza que actúa perpendicularmente no realiza trabajo, por no ser ella la causante del movimiento del vagón del tren.

Según esto, el trabajo realizado por una fuerza será tanto mayor cuanto mayor sea el valor de la fuerza efectiva que lo realiza y mayor sea el desplazamiento experimentado por su punto de aplicación.

Matemáticamente: $W = F{\cdot}S{\cdot}\mathrm{Cos}\,\alpha$

Si $\cos\alpha = 0$, es decir, la fuerza y el desplazamiento son de direcciones perpendiculares, entonces el trabajo es nulo. Si $\cos\alpha = 1$, hecho que se produce cuando coinciden la dirección y el sentido de la fuerza con los del desplazamiento, el trabajo es máximo. Si $\cos\alpha > 0$ el trabajo se denomina ***motor*** o útil, en caso contrario se denomina trabajo ***resistente***.

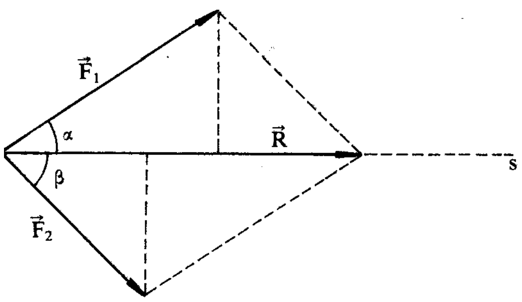
El trabajo efectuado por una fuerza que se desplaza a lo largo de una distancia, se define como el producto de dicha distancia por la componente de la fuerza que tiene la misma dirección y sentido que el desplazamiento.



$\alpha = 0°$	$0° < \alpha < 90°$	$\alpha = 90°$	$90° < \alpha < 180°$
$\cos\alpha = 1$	$\cos\alpha > 0$	$\cos\alpha = 0$	$\cos\alpha < 0$
W máximo	**W > 0**	**W = 0**	**W < 0**

3.2.1.- Trabajo realizado por un sistema de fuerzas

Si sobre un cuerpo hay actuando un sistema de fuerzas concurrentes que le obligan a efectuar un recorrido en la dirección de su resultante.



El trabajo realizado por cada una de las componentes vendrá dado por: $\begin{cases} W_1 = F_1 \cdot s \cdot \cos\alpha \\ W_2 = F_2 \cdot s \cdot \cos\beta \end{cases}$

El valor de la resultante R del sistema sería:

$$R = F_1 \cdot \mathrm{Cos}\,\alpha + F_2 \cdot \mathrm{Cos}\,\beta$$

Y el trabajo realizado por ella:

$$W = \left(F_1 \cdot \mathrm{Cos}\,\alpha + F_2 \cdot \mathrm{Cos}\,\beta\right) \cdot S$$

Que es la suma de los trabajos realizados por cada una de las fuerzas componentes.

El trabajo realizado por la resultante de un sistema de fuerzas es la suma algebraica de los trabajos que realiza cada una de las fuerzas componentes del sistema.

La unidad de trabajo en el sistema internacional es el Julio (J) y equivale a 1 newton por metro N·m

3.3.- Potencia

Se denomina potencia a una nueva magnitud que corresponde al trabajo realizado en la unidad de tiempo. Matemáticamente:

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

Y recordando que $W = F \cdot S \cdot \cos\alpha$, se tiene:

$$\boxed{P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot S}{t} = F \cdot \frac{S}{t} = F \cdot V}$$

Expresión que nos permite conocer la potencia, en un instante dado, si en dicho instante se conocen la fuerza aplicada al cuerpo y la velocidad del mismo.

En el S.I. la unidad de potencia es el Vatio (W) = J/s, aunque también se utilizan otro tipo de unidades. Caballo de vapor (C.V.) 1 CV=735,75W.

Otras unidades relacionadas con el trabajo y la potencia son:

- El Kilovatio-hora: $1\text{kwh} = 36 \cdot 10^5$ J.
- El Caballo de vapor-hora: $1\text{CVh} = 26{,}5 \cdot 10^5$ J

***Ejemplo:* Un automóvil de masa 1 tonelada lleva una velocidad cte. De 108 km/h a lo largo de una carretera que presenta una pendiente del 2%. ¿Qué potencia desarrolla el motor?**

El motor del coche al levar éste una velocidad cte de 108 km/h =30m/s, deberá una fuerza hacia arriba, paralela a la carretera, e igual a la componente del peso del coche en esa misma dirección.

$$F = m \cdot g \cdot sen\alpha = 1000kg \cdot 10m/s \cdot 0{,}02 = 200N$$

Y como $\vec{F}$ y $\vec{V}$ son paralelas:

$$P = F \cdot V = 200N \cdot 30m/s = 6000W$$

Por tanto, el motor desarrolla una potencia de 6 KW

3.4.- Energía

Se puede definir la energía que posee un cuerpo como "una medida de su capacidad para realizar trabajo" y nosotros nos atendremos a esta definición durante este curso.

Hay distintos tipos de energía (cinética, eléctrica, térmica, química, nuclear,….) pero en el fondo todos los tipos de energía se reducen a dos:

- Energía cinética, que es la que poseen los cuerpos debido su velocidad.
- Potencial (de la que existen unas pocas clases), que es la que poseen los cuerpos debido a su situación en el espacio (en particular a su posición respecto a otros cuerpos que pueden ejercer fuerzas sobre ellos).

Los cuerpos poseen energía y esa energía puede transformarse de un tipo en otro. Igualmente los cuerpos pueden transferirse energía de unos a otros. Sin embargo, la energía total del universo (y de cualquier sistema que permanezca aislado y no intercambie energía con su entorno) permanece constante: no se conoce ningún proceso que cree o destruya energía. Este principio se conoce como principio de conservación de la energía, y es uno de los pilares fundamentales de la Física.

La energía no se crea ni se destruye pero sí se degrada. Con esto queremos decir que existen formas de energía de las que se puede obtener más fácilmente trabajo que de otras, que desde este punto de vista poseen más "calidad". La energía de menor "calidad" es la energía térmica y de acuerdo con las leyes de la termodinámica según evoluciona el universo una proporción cada vez mayor de su energía se encontrará en forma de energía térmica, hasta llegar a la llamada "muerte térmica del universo".

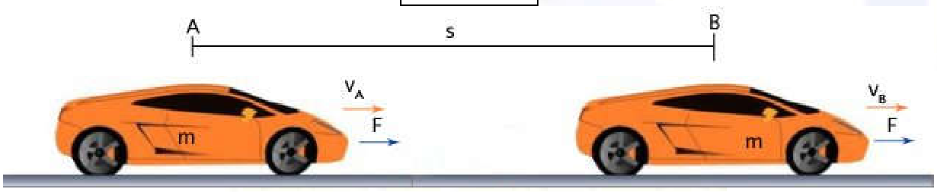
Esta energía, o capacidad que tienen el cuerpo para realizar un trabajo, puede poseerla el cuerpo en virtud de su velocidad, de su estado o de sus propiedades; y así hablamos de diversas formas de energía, tales como mecánica, térmica, eléctrica, química, nuclear, ….

Como la energía se identifica con el trabajo, se mide en las mismas unidades que éste, es decir, ***julios***.

3.4.1.- Energía Cinética

Se denomina ***energía cinética*** a la energía que posee un cuerpo en virtud de su movimiento. Así pues, la energía cinética que posee un cuerpo de masa m que se mueve con una velocidad V, viene dada por la expresión:

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



Si mediante una fuerza F, cambiamos la velocidad de un móvil de V_B a V_A, el trabajo realizado por dicha fuerza viene dado por la expresión:

$$W = \Delta Ec = Ec_B - Ec_A = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 = \frac{1}{2} m \cdot \left(v_B^2 - v_A^2\right)$$

Que se la conoce como ***teorema de las fuerzas vivas***, y que dice así:

> ***El trabajo realizado por una fuerza al actuar sobre un cuerpo durante un cierto intervalo de tiempo es igual a la variación de energía cinética que experimenta el cuerpo en ese tiempo.***

Ejemplo: ***Un proyectil de 400 g de masa atraviesa una pared de 0,5 m de grosor. Su velocidad en el momento de penetrar en la pared era de 400 m/s, y al salir de 100 m/s. Calcular: a) El trabajo realizado por el proyectil, b) La resistencia de la pared.***

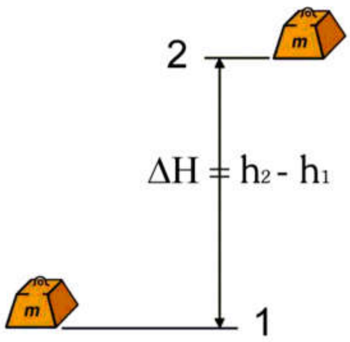
a) Aplicando el teorema de las fuerzas vivas:

$$W = \frac{1}{2} m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} 0,4kg \cdot 100^2 (m/s)^2 - \frac{1}{2} 0,4kg \cdot 400^2 (m/s)^2 = -3 \cdot 10^4 J$$

b) Como $W = F \cdot s$, de aquí $F = \frac{W}{s} = \frac{-3 \cdot 10^4}{0,5m} = -6 \cdot 10^4 N$

3.4.2.- Energía potencial gravitatoria

Es la energía que posee un cuerpo en virtud de su altura. Para el caso de los cuerpos situados sobre la superficie terrestre, coincide con el trabajo necesario para elevarlos a la altura en que se encuentran, puesto que el nivel del mar se considera como origen de potenciales (h=0).



Se calcula mediante:

$$\boxed{E_p = m \cdot g \cdot h}$$

El trabajo realizado al elevar un cuerpo de masa m desde la altura h_1 hasta la altura h_2, coincide con la diferencia entre la energía potencial que posee el cuerpo en la posición 2 y la energía potencial en la posición 1.

$$W = \Delta Ep = Ep_2 - Ep_1 = m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1 = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1) = m \cdot g \cdot \Delta h$$

El trabajo realizado por una fuerza al elevar un cuerpo desde una altura 1 hasta otra altura 2, coincide con la diferencia de energía potencial entre dichos puntos.

En resumen:

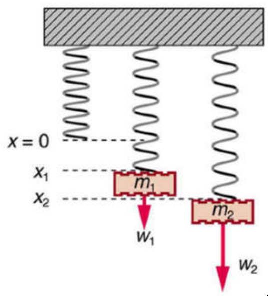
- El trabajo realizado para trasladar un cuerpo de A a B es igual a ΔEc
- El trabajo realizado para trasladar un cuerpo de A a B es igual a ΔEp si la fuerza es conservativa.

3.4.3.- Energía potencial elástica

Es evidente que, si estiramos un muelle o lo comprimimos con una fuerza F, realizamos un trabajo que permanece "almacenado" en el resorte en forma de energía, la cual se pone de manifiesto al soltarlo para que recupere su estado primitivo. Esta energía se denomina *potencial elástica* y se define como la energía que posee un cuerpo en virtud de su estado de tensión.

Para calcular su valor hemos de considerar que la fuerza aplicada es una ***fuerza variable***, relacionada con la deformación según la conocida ley de Hooke: $\vec{F} = -K \cdot \vec{x}$

La energía potencial a lo largo de un desplazamiento x vendrá dada por: $Ep = \frac{1}{2} K \cdot x^2$



El trabajo realizado por una fuerza que estira un resorte desde la posición X_1 a la posición X_2 viene dado por:

$$W_{1\to2} = \Delta Ep = Ep_2 - Ep_1 = \frac{1}{2} K \cdot x_2^2 - \frac{1}{2} K \cdot x_1^2 = \frac{1}{2} K \left(x_2^2 - x_1^2 \right)$$

Que coincide con la variación de energía potencial elástica entre ambas posiciones.

Ejemplo: ***Un muelle sujeto por su extremo superior soporta un cuerpo de masa 0,01 kg, estando ambos en reposo. Se observa que al aplicar una fuerza de 2N en el resorte se alarga 8cm y que al soltarlo inicia un movimiento vibratorio armónico. Deducir la energía de este movimiento y el periodo de vibración.***

Según la ley de Hooke, la constante elástica k del muelle vendrá dada por: $K = \frac{F}{x} = \frac{2N}{0,08m} = 25N/m$

La energía se calcula mediante la expresión: $E = \frac{1}{2}K{\cdot}x^2 = \frac{1}{2}25N/m{\cdot}(8{\cdot}10^{-2})^2m^2 = 8{\cdot}10^{-2}J$

Y el periodo de oscilación lo calculamos mediante: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{10^{-2}kg}{25N/m}} = 0,1256s$

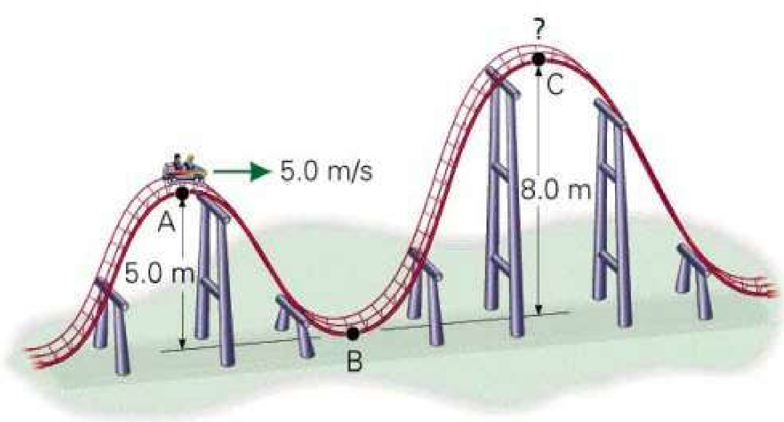
3.5.- Principio de conservación de la Energía mecánica

Se denomina energía mecánica de un cuerpo, E_M, a la suma de las energías cinética y la energía potencial gravitatoria asociadas a dicho en un mismo momento.

$$E_M = E_c + E_p = U + T$$

En cualquier proceso físico, normalmente existen dos estados, un estado inicial y otro final, pues bien, en ***<u>ausencia de fuerzas no conservativas</u>***, (rozamiento) no habrá disipación de energía y por tanto la energía del estado inicial será la misma que la del estado final, es decir:

$$\Delta E_M = 0 \Rightarrow E_{inicial} - E_{final} = 0 \Rightarrow E_{M_{inicial}} = E_{M_{final}}$$



Supongamos que nos encontramos en una montaña rusa en la que hemos marcado 3 puntos, A, B y C.

Debido al principio de conservación de energía, en cada uno de los puntos la energía mecánica será la misma, por tanto:

$$E_{M_A} = E_{M_B} = E_{M_C}$$

O lo que es lo mismo:

$$E_{C_A} + E_{P_A} = E_{C_B} + E_{P_B} = E_{C_C} + E_{P_C}$$

Conocida la velocidad y la altura en el punto A y en el punto B, podríamos calcular las velocidades en los puntos B y C.

Para ello, como la energía se conserva:

$$E_{M_A} = E_{M_B} \quad \leftrightarrow \quad E_{C_A} + E_{P_A} = E_{C_B} + E_{P_B} \quad \leftrightarrow \quad \frac{1}{2}m{\cdot}v_A^2 + m{\cdot}g{\cdot}h_A = \frac{1}{2}m{\cdot}v_B^2 + m{\cdot}g{\cdot}h_B$$

Despejamos la velocidad en el punto B:

$$\frac{1}{2}\cancel{m}{\cdot}v_A^2 + \cancel{m}{\cdot}g{\cdot}h_A - \cancel{m}{\cdot}g{\cdot}h_B = \frac{1}{2}\cancel{m}{\cdot}v_B^2 \quad \rightarrow \quad 2{\cdot}\left(\frac{1}{2}v_A^2 + g{\cdot}h_A - g{\cdot}h_B\right) = v_B^2 \quad \rightarrow \quad v_B^2 = v_A^2 + 2{\cdot}g{\cdot}h_A - 2{\cdot}g{\cdot}h_B$$

$$v_B = \sqrt{v_A^2 + 2{\cdot}g{\cdot}(h_A - h_B)} = \sqrt{\left(5m{\cdot}s^{-1}\right)^2 + 2{\cdot}9,81m{\cdot}s^{-2}{\cdot}(5m - 0)} = 11,1\ m{\cdot}s^{-1}$$

Y de forma similar podríamos calcular la velocidad en el punto C. (calcúlala si eres capaz)

Ejemplo: ***Desde una altura de 30 m se lanza verticalmente hacia abajo un proyectil con una velocidad de 100m/s. ¿Qué velocidad poseerá cuando se encuentre a 10m del suelo?***

Aplicando el principio general de conservación de energía: $E_{M_A} = E_{M_B}$

- ✓ En el punto A) $E_{M_A} = E_{P_A} + E_{c_A} = mgh_A + \frac{1}{2}mv_A^2$
- ✓ En el punto B) $E_{M_B} = E_{P_B} + E_{c_B} = mgh_B + \frac{1}{2}mv_B^2$

Como la energía se conserva, entonces $mgh_A + \frac{1}{2}mv_A^2 = mgh_B + \frac{1}{2}mv_B^2$

Y como nos piden calcular la velocidad en B, entonces:

$$v_B = \sqrt{v_A^2 + 2g(h_A - h_B)} = \sqrt{10000m^2/s^2 + 2\cdot g\cdot 20m} = 102\ m\cdot s^{-1}$$

Cuando en un proceso físico ***intervienen fuerzas no conservativas***, como por ejemplo el rozamiento, hay disipación de energía y por tanto, la energía inicial del sistema y la final no coinciden. En estos casos, la variación de energía coincide con el trabajo realizado por las fuerzas no conservativas:

$$\Delta E_M = W_{Roz} \Rightarrow EM_{final} - EM_{inicial} = W_{Roz}$$

Ejemplo: ***Un cuerpo de masa 10kg se sitúa en lo alto de un plano inclinado de 30° sobre la horizontal. La longitud del plano es 10 m y el coeficiente de rozamiento vale 0,2.***

a) ¿Con qué velocidad llega el cuerpo al final del plano? ¿Cuánto vale su energía cinética en ese instante?
b) ¿Cuánto valía la energía potencial del cuerpo al estar en lo alto del plano?
c) ¿Cuánto vale el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento?

a) La aceleración con que se desliza el cuerpo por el plano es:

$$a = g\cdot sen\alpha - \mu g\cos\alpha \quad \rightarrow \quad a = 10m\cdot s^{-2}\cdot sen30 - 0,2\cdot 10m\cdot s^{-2}\cdot \cos 30 = 3,27\ m\cdot s^{-2}$$

Y la velocidad con la que llega al final del plano es:

$$v = \sqrt{2\cdot a\cdot s} = \sqrt{2\cdot 2,37m\cdot s^{-2}\cdot 10m} = 8,09\ m\cdot s^{-1}$$

La energía cinética valdrá:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\cdot 10kg\cdot 8,09^2(m/s)^2 = 327,24\ J$$

b) La energía potencial del cuerpo en lo alto del plano será:

$$E_p = m\cdot g\cdot h = 10kg\cdot 10N\cdot kg^{-1}\cdot 5m = 500\ J$$

c) El trabajo de rozamiento será la diferencia entre la energía potencial gravitatoria en lo alto del plano y la cinética en el punto más bajo:

$$W_{Roz} = 500J - 327,24J = 172,76\ J$$

3.6.- Calor y Temperatura

Las ideas acerca de la naturaleza del calor han variado apreciablemente en los dos últimos siglos. La teoría del calórico o fluido tenue que situado en los poros o intersticios de la materia pasaba de los cuerpos calientes en los que supuestamente se hallaba en mayor cantidad a los cuerpos fríos, había ocupado un lugar destacado en la física desde la época de los filósofos griegos. Sin embargo, y habiendo alcanzado a finales del siglo XVIII su pleno apogeo, fue perdiendo credibilidad al no poder explicar los resultados de los experimentos que científicos tales como Benjamín Thomson (1753 1814) o Humphrey Davy (1778 1829) realizaron.

Una vieja idea tímidamente aceptada por sabios del siglo XVII como Galileo Galilei o Robert Boyle resurgió de nuevo. El propio Thompson (conde de Rumford), según sus propias palabras, aceptó la vuelta a aquellas «viejas doctrinas que sostienen que el calor no es otra cosa que un movimiento vibratorio de las partículas del cuerpo».

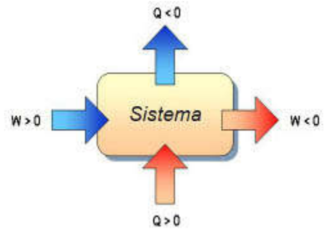
Las experiencias de Joule (1818 1889) y Mayer (1814 1878) sobre la conservación de la energía, apuntaban hacia el calor como una forma más de energía. El calor no sólo era capaz de aumentar la temperatura o modificar el estado físico de los cuerpos, sino que además podía moverlos y realizar un trabajo.

Las máquinas de vapor que tan espectacular desarrollo tuvieron a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX eran buenos muestra de ello. Desde entonces las nociones de calor y energía quedaron unidas y el progreso de la física permitió, a mediados del siglo pasado, encontrar una explicación detallada para la naturaleza de esa nueva forma de energía, que se pone de manifiesto en los fenómenos caloríficos.

3.6.1.- Concepto de Calor

Representa la cantidad de energía que un cuerpo transfiere a otro como consecuencia de una diferencia de temperatura entre ambos. El tipo de energía que se pone en juego en los fenómenos caloríficos se denomina energía térmica. El carácter energético del calor lleva consigo la posibilidad de transformarlo en trabajo mecánico. Sin embargo, la naturaleza impone ciertas limitaciones a este tipo de conversión, lo cual hace que sólo una fracción del calor disponible sea aprovechable en forma de trabajo útil.

Como hemos visto, el calor es otra forma de energía, por tanto, se mide en ***julios*** **[J]**. Aunque también se usa la ***caloría*** **[cal]**. Una caloría es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado a presión normal la temperatura de 1 gramo de agua desde 14,5° C a 15,5 °C .



La relación entre ambas es: 1 J = 4,18 cal y 1 cal = 0,239 J

Criterio de Signos: $\begin{cases} \text{Si } T_2 > T_1 \Rightarrow \Delta T > 0 \Rightarrow Q > 0 \text{ y el cuerpo absorbe calor} \\ \text{Si } T_2 < T_1 \Rightarrow \Delta T < 0 \Rightarrow Q < 0 \text{ y el cuerpo cede calor} \end{cases}$

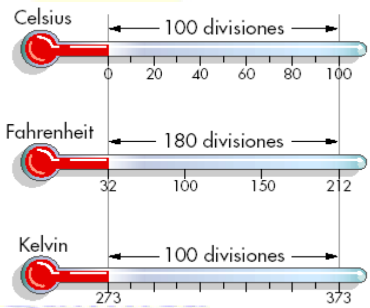
Calor que entra en el sistema, positivo y calor que sale, negativo.

3.6.2.- La Temperatura

La Temperatura, mide la concentración de energía y es aquella propiedad física que permite asegurar si dos o más sistemas están, o no, en equilibrio térmico (cuando dos cuerpos están a la misma temperatura), esto quiere decir que la temperatura es la magnitud física que mide cuan caliente o cuan frío se encuentra un cuerpo.

Temperatura es el promedio de la energía cinética de las moléculas de un cuerpo.

Existen tres escalas, o tres unidades, para medir la temperatura, la Escala Celsius (o centígrada), la Escala Kelvin y la escala Farenheit. En las escalas Celsius-Kelvin, 1°C es lo mismo que 1 K, la única diferencia es que el 0 en la escala Kelvin está a - 273 °C.



En la ***escala Celsius*** se asigna el valor 0 (0 °C) a la temperatura de congelación del agua y el valor 100 (100 °C) a la temperatura de ebullición del agua. El intervalo entre estas dos temperaturas se divide en 100 partes iguales, cada una de las cuales corresponde a 1 grado.

En la ***escala Kelvin*** se asignó el 0 a aquella temperatura a la cual las partículas no se mueven (temperatura más baja posible). Esta temperatura equivale a -273 °C de la escala Celsius.

Para cambiar de Celsuis a Kelvin y viceversa, tenemos que tener en cuenta que: **T (K) = T(°C) + 273**

En la ***escala Fahrenheit*** (utilizada mucho por los anglosajones), se asigna el valor 32 (32 °F) a la temperatura de congelación del agua y el valor 212 (323 °F) a la temperatura de ebullición del agua. El intervalo entre estas dos temperaturas se divide en 180 partes iguales, cada una de las cuales corresponde a 1 grado.

La forma de pasar de la escala centígrada a la Fahrenheit es:

$$\frac{°C}{100} = \frac{°F - 32}{180} \quad \rightarrow \quad \begin{cases} °C = \dfrac{100}{180}(°F - 32) \\ °F = \dfrac{180}{100}°C + 32 \end{cases} \quad \rightarrow \quad \begin{cases} °C = \dfrac{5}{9}(°F - 32) \\ °F = \dfrac{9}{5}°C + 32 \end{cases}$$

Por el contrario, si queremos pasa de Kelvin a Fahrenheit podemos hacerlo mediante:

$$\frac{K-273}{100}=\frac{°F-32}{180} \quad \rightarrow \quad \begin{cases} K-273=\frac{100}{180}(°F-32) \\ °F-32=\frac{180}{100}(K-273) \end{cases} \quad \rightarrow \quad \begin{cases} K=\frac{5}{9}(°F-32)+273 \\ °F=\frac{9}{5}(K-273)+32 \end{cases}$$

Ejercicio: Pasar cada una de las siguientes temperaturas a las otras dos: 70°F, 350K, 30°C

A partir de estas definiciones se deduce fácilmente la cantidad de calor Q, que se precisa para aumentar ΔT la temperatura de una masa m de agua es:

$$Q=m\cdot\Delta T$$

3.7.- Calor específico

3.7.1.- Capacidad calorífica de un cuerpo

Es la cantidad de calor que necesita un cuerpo para aumentar su temperatura en 1°C.

$$C=\frac{Q}{\Delta T}$$

La capacidad calorífica de un cuerpo, **C**, se mide en [cal / °C] y en el S.I. [J/K].

3.7.2.- Calor Específico

Se denomina ***calor específico*** (C_e) de una sustancia a la cantidad de calor que se debe suministrar a 1g de dicha sustancia para elevar su temperatura en 1 Kelvin.

$$C_e=\frac{C}{m}=\frac{Q}{m\cdot\Delta T}$$

Si despejamos Q, la relación entre la cantidad de calor que se comunica a un cuerpo y la temperatura que alcanza viene dado por:

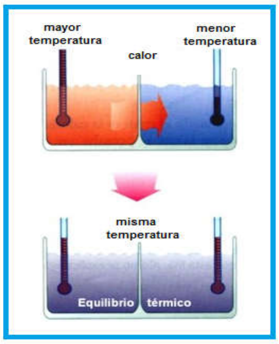
$$Q=C_e\cdot m\cdot\Delta T$$

El calor específico, $\boldsymbol{C_e}$, se mide en $J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}$ ó en $cal\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}$

Sustancia	Agua	Vapor de H_2O	Hielo	Aire	Alcohol etílico	Aceite	Al	Vidrio	Arena	Fe	Cu	Hg	Pb
C_e (J/kg·K)	4180	1920	2090	1000	2400	1670	878	812	800	460	375	140	125
C_e (cal/g·°C)													

3.7.3.- Medida del calor específico de una sustancia

Todos los métodos calorimétricos se fundan en dos principios fundamentales:



- Equilibrio Térmico:

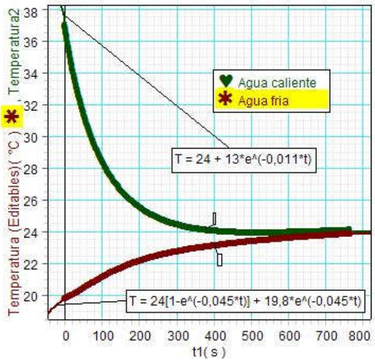
Cuando dos cuerpos se ponen en contacto, de forma que el sistema formado por ellos esté aislado del exterior, la cantidad de calor que pierde uno es igual a la cantidad de calor que gana el otro:

$$\boxed{Q_{perdido}=Q_{ganado}}$$

Principio de las transformaciones inversas:

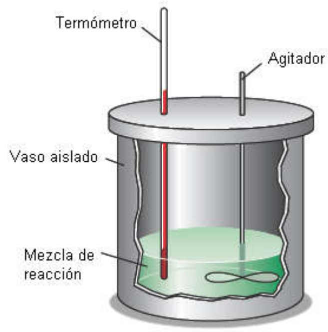
La cantidad de calor que hay que suministrar a un cuerpo para que aumente una temperatura determinada T es igual a la cantidad de calor que debería perder para disminuir la misma temperatura.

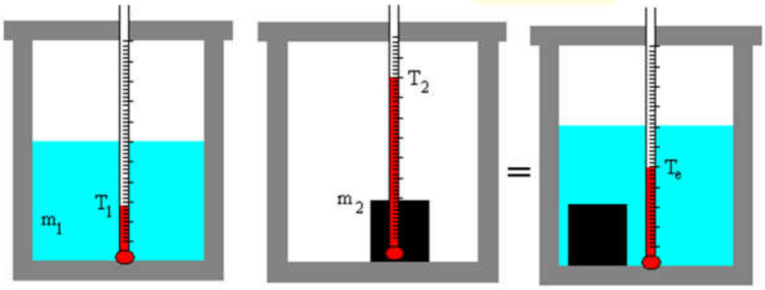
Si observamos la gráfica de la derecha, el calor que hay que "quitarle" al agua caliente, es el mismo que debemos suministrar al agua fría, para que, con el paso del tiempo, se alcance el equilibrio de temperaturas.



3.7.4.- Método de las Mezclas

El llamado método de las mezclas, utilizado en la determinación de calores específicos de sólidos, consiste en un calorímetro (recipiente aislado térmicamente, constituido por un vaso de doble pared, agitador y termómetro) donde se introduce una determinada cantidad de agua pura (m_1) a una temperatura conocida (T_1).





A parte, se calienta el cuerpo de masa (m_2), cuyo calor específico se pretende medir hasta que alcance una temperatura T_2, algo mayor que T_1 .

A continuación, se introduce el cuerpo en el calorímetro y se agita suavemente la mezcla hasta conseguir el equilibrio térmico (T_e).

En ese instante se cumplirá que: $Q_{\text{Cedido por el cuerpo}} = Q_{\text{Ganado por el agua}} + Q_{\text{Ganado por el calorímetro}}$

$$m_2 \cdot c_e \cdot (T_2 - T) = m_1(T - T_1) + m_c(T - T_1)$$

Donde m_c es el equivalente en agua del calorímetro.

Por tanto:

$$\boxed{c_e = \frac{(m_1 + m_c)\cdot(T - T_1)}{m_2 (T_2 - T)}}$$

***Ejemplo:* En un calorímetro que contiene 400 g de agua se introduce un trozo de metal de 50 g a 80°C. La temperatura inicial del agua es de 10°C y la de equilibrio de la mezcla 12°C. Calcular el calor específico del metal. Se supone que el calorímetro no absorbe calor. Dato: Calor específico del agua 1cal/g·°C**

Si aplicamos la expresión vista con anterioridad, obtenemos:

$$c = \frac{(m_1 + m_c)\cdot(T - T_1)}{m_2 (T_2 - T)} = \frac{(400+0)g\cdot(12-10)°C \cdot 1\frac{cal}{g \cdot °C}}{50 g\cdot(80-12)°C} = 0{,}235 \frac{cal}{g \cdot °C}$$

***Ejemplo:* En cierta cantidad de agua a 15 ºC se introduce un bloque de cobre de 2 kg a 500 ºC. Suponiendo que el sistema está perfectamente aislado y no hay disipación de energía, ¿cuántos litros de agua serán necesarios, si la temperatura en el equilibrio térmico que se quiere alcanzar es 20 ºC?**

Sabemos que, en un equilibrio térmico, la cantidad de calor cedido por una sustancia es igual al calor absorbido por la otra cambiado de signo, o que en un equilibrio térmico, la suma del calor cedido más el absorbido ha de ser nula, por tanto:

$$Q_{Abs_{Agua}} = m_{agua} \cdot C_{e_{agua}} \cdot \left(T_{eq} - T_{agua}\right) = m_{agua} \cdot 4180\ \mathrm{J{\cdot}Kg^{-1}{\cdot}K^{-1}} \cdot (20^\circ - 15^\circ)$$
$$Q_{Ced_{cobre}} = m_{cobre} \cdot C_{e_{cobre}} \cdot \left(T_{cobre} - T_{eq}\right) = 2Kg \cdot 383\ \mathrm{J{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}} \cdot (500^\circ - 20^\circ)$$

Igualando ambas expresiones, tenemos:

$$m_{agua} \cdot 4180\ \mathrm{J{\cdot}Kg^{-1}{\cdot}K^{-1}} \cdot (20^\circ - 15^\circ) = 2Kg \cdot 383\ \mathrm{J{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}} \cdot (500^\circ - 20^\circ)$$

Y despejando la masa de agua, obtenemos:

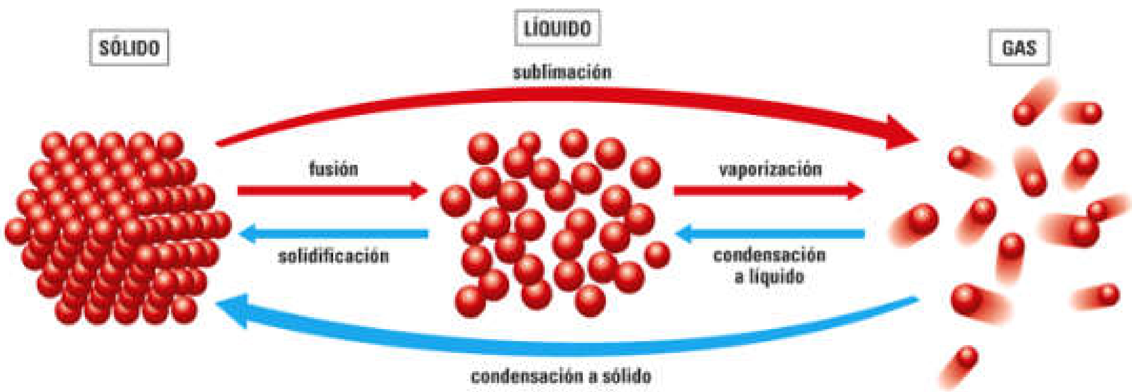
$$m_{agua} = \frac{2Kg \cdot 383\ \mathrm{J{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}} \cdot (480K)}{4180\ \mathrm{J{\cdot}Kg^{-1}{\cdot}K^{-1}} \cdot (5K)} = 17{,}59\ Kg$$

Por tanto, necesitaremos 17,59 kilos de agua, que equivalen a 17,59 litros de agua ya que su densidad es 1.

3.8.- Cambios de estado. Calor latente.

El cambio de nivel energético de una sustancia conlleva una serie de cambios físicos. Casi todas las sustancias aumentan de volumen al ganar calorías y se contraen al ceder calor.

Se denomina ***fase de una sustancia*** a su estado, que puede ser ***sólido, líquido o gaseoso***. Los cambios de fase en sustancias puras tienen lugar a niveles energéticos y presiones definidas.



Al transferir energía a un cuerpo mediante calor pueden suceder dos cosas:

- Si la temperatura del cuerpo no se corresponde con la temperatura de cambio de estado, se produce un incremento de la temperatura del cuerpo.
- Si la temperatura del cuerpo corresponde a la temperatura de cambio de estado, no se produce un aumento de temperatura, es decir, la energía suministrada no se emplea en aumentar la energía cinética de las partículas, sino que, en lugar del incremento de temperatura, se produce un cambio de estado.

La energía transferida se emplea en modificar la estructura interna de la sustancia.

Toda sustancia tiene dos temperaturas de cambio de estado: la temperatura de fusión, T_f, que corresponde al cambio de estado de sólido a líquido (o de líquido a sólido) y la temperatura de ebullición, T_e, que corresponde al cambio de estado de líquido a vapor (o de vapor a líquido) Por ejemplo, para el agua la temperatura de fusión vale 0 ºC y la temperatura de ebullición vale 100 ºC.

El calor que se absorbe o se cede por unidad de masa en un cambio de estado es una constante para cada sustancia y para cada cambio de estado que se conoce con el nombre de calor latente de cambio de estado, L. La cantidad de calor puesta en juego en un cambio de estado es:

$$Q = \pm\ m{\cdot}L$$

El signo "+" si se absorbe energía, por ejemplo al fundirse el hielo en agua líquida, y el signo "-"si se desprende energía, por ejemplo al condensarse el vapor de agua en agua líquida. La unidad para el calor latente en el SI es J/Kg.

Para cada sustancia existen dos calores latentes, uno para el cambio de estado de sólido a líquido, calor latente de fusión, L_f , y otro para el cambio de estado de líquido a vapor, calor latente de ebullición, L_e .

Sustancia	T_f (ºC)	T_e (ºC)	L_f (KJ/Kg)	L_e (KJ/Kg)
Agua	0	100	334,4	2257
Hierro	1540	2800	275	6291
Alcohol	- 117,3	78	108,9	840
Plomo	327		23	

Supongamos que tenemos un recipiente cerrado que contiene 500 gramos de hielo a la temperatura – 20 ºC. Veamos que sucede si calentamos dicho recipiente utilizando una fuente de calor cuyo suministro sea constante.

Al calentar el recipiente observamos que la temperatura aumenta desde los – 20 ºC iniciales hasta los 0 ºC, la temperatura de fusión del agua. Podemos calcular la energía que absorbe el hielo en esta primera etapa:

$$Q_1 = m{\cdot}c_e{\cdot}\Delta T = 0{,}5kg{\cdot}2.090J{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}{\cdot}\left(0-(-20)\right)K = 20.900J$$

Al alcanzar la temperatura de fusión del agua, los cubitos de hielo empiezan a fundirse y aparece el agua líquida. Se está produciendo el cambio de estado. Durante todo el tiempo que dura el cambio de estado la temperatura permanece constante. Podemos calcular la energía absorbida durante el cambio de estado:

$$Q_2 = m{\cdot}L_f = 0{,}5kg{\cdot}334KJ{\cdot}kg^{-1} = 167.200J$$

Cuando todo el hielo se transforma en agua líquida termina el cambio de estado. A partir de ese momento la temperatura vuelve a aumentar hasta alcanzar los 100 ºC, la temperatura de ebullición del agua. Podemos calcular la energía absorbida por el agua en la tercera etapa:

$$Q_3 = m{\cdot}c_e{\cdot}\Delta T = 0{,}5kg{\cdot}4.180J{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}{\cdot}\left(100-0\right)K = 209.000J$$

Al alcanzar los 100 ºC se produce el cambio de estado de agua líquida a vapor. Durante todo el tiempo que dura el cambio de estado la temperatura permanece constante. Podemos calcular la energía absorbida durante el cambio de estado:

$$Q_4 = m{\cdot}L_v = 0{,}5kg{\cdot}2.257KJ{\cdot}kg^{-1} = 1.128.500J$$

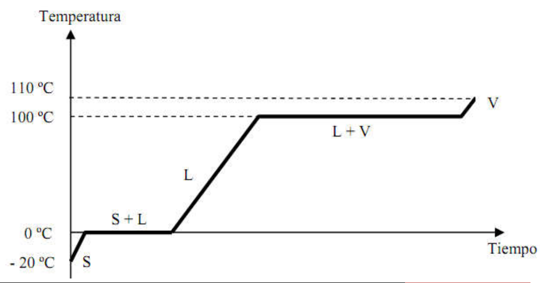
Al concluir el cambio de estado de líquido a vapor, si continuamos calentando el recipiente, la temperatura aumentará por encima de los 100 ºC. Supongamos que calentamos hasta que el termómetro marca 110 ºC. Podemos calcular la energía absorbida en la última etapa:

$$Q_3 = m{\cdot}c_e{\cdot}\Delta T = 0{,}5kg{\cdot}1.940J{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}{\cdot}\left(110-100\right)K = 9.700J$$

El Calor total será la suma de todos los calores de cada uno de los pasos.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 1535{,}6\ KJ$$

Podemos representar el proceso anterior en una gráfica temperatura - tiempo (teniendo presente que el tiempo que dura cada etapa es proporcional a la cantidad de energía absorbida)



3.9.- Cambios de tamaño. Dilatación.

Cuando un cuerpo recibe calor, aumenta la energía cinética de sus partículas y se mueven con más velocidad. Al moverse más rápidamente tienden a ocupar más espacio y por ello, aumenta el volumen del cuerpo (dilatación). Si, por el contrario, un cuerpo desprende calor, disminuye la energía cinética de las partículas y por tanto disminuirá el volumen del cuerpo (contracción).

La magnitud del aumento o disminución de tamaño dependen de la naturaleza del cuerpo, las dimensiones iniciales del cuerpo y la cantidad de calor recibido o variación de temperatura experimentada.

Se llama **dilatación térmica** al aumento en las dimensiones que experimenta un cuerpo material cuando se eleva su temperatura. Afecta a todos los estados de agregación de la materia.

3.9.1.- Dilatación en los sólidos

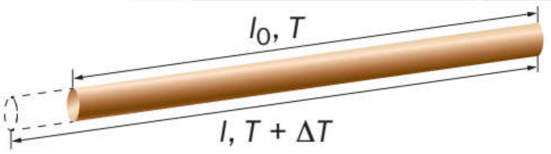
En los sólidos, la dilatación térmica es menos visible que en los líquidos y los gases, porque las fuerzas de cohesión son más intensas. Se clasifica en:

Coeficiente de dilatación lineal, a 20 °C, de algunos sólidos	
Líquido	**Coeficiente de dilatación (K⁻¹)**
Plomo	$2{,}9 \cdot 10^{-5}$
Aluminio	$2{,}4 \cdot 10^{-5}$
Cobre	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$
Oro	$1{,}4 \cdot 10^{-5}$
Acero inoxidable	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$
Vidrio ordinario	$0{,}9 \cdot 10^{-5}$
Vidrio *pyrex*	$0{,}3 \cdot 10^{-5}$

Dilatación Lineal:

Se refiere a la variación de longitud que tiene lugar en un cuerpo cuando una dimensión predomina sobre el resto, como sucede en un hilo, una barra o un alambre:

$$l = l_o \cdot (1 + \lambda \cdot \Delta T)$$

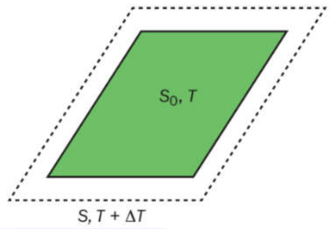


donde el coeficiente de dilatación lineal, λ, es un parámetro característico de cada material, que se mide en K^{-1} o $°C^{-1}$; l_0 es la longitud inicial; l, la final, y $\Delta T = T_f - T_o$, la variación de temperatura.

Dilatación Superficial:

Si una dimensión es mucho menor que las otras dos, como sucede en láminas y planchas, se mide la variación de su área:

$$S = S_o \cdot (1 + \sigma \cdot \Delta T)$$

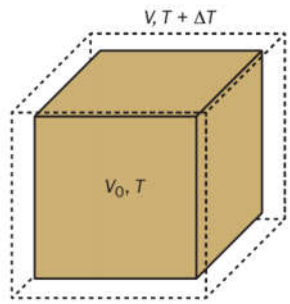


Análogamente a la expresión de la dilatación lineal, S y S_0 hacen referencia a las superficies final e inicial, respectivamente; DT, a la variación de temperatura, y q representa, en este caso, el coeficiente de dilatación superficial.

Dilatación Cúbica:

Cuando todas las dimensiones del cuerpo son similares, se estudia el aumento de volumen del cuerpo sólido, de modo que el volumen final viene dado por la expresión:

$$V = V_o \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$$



Los coeficientes de dilatación superficial y cúbica, σ, γ se calculan a partir del coeficiente de dilatación lineal λ .

$$\sigma = 2 \cdot \lambda \qquad \gamma = 3 \cdot \lambda$$

Ejemplo: ***Una esfera maciza de latón cuyo radio a 0 ºC es de 5 cm se calienta hasta los 150 ºC. Calcula su aumento de volumen sabiendo que el coeficiente de dilatación lineal del latón es $1{,}9\cdot 10^{-6} K^{-1}$.***

Sabemos que volumen final de la esfera viene dado por la expresión: $V = V_o\cdot(1+\gamma\cdot\Delta T)$
Además, el coeficiente de dilatación cúbica lo calculamos multiplicando por tres el de dilatación lineal.
Por tanto:

$$V = V_o\cdot(1+\gamma\cdot\Delta T) = \frac{4}{3}\pi\cdot R^3\cdot(1+\gamma\cdot\Delta T) = \frac{4}{3}\pi\cdot(5cm)^3\cdot(1+3\cdot 1{,}9\cdot 10^{-6}K^{-1}\cdot 150K) = 524{,}046cm^3$$

El volumen de la esfera es:

$$V = \frac{4}{3}\pi\cdot R^3 = \frac{4}{3}\pi\cdot(5cm)^3 = 523{,}5987cm^3$$

Por tanto, el aumento que experimenta es de:

$$\Delta V = V_f - V_o = 0{,}45\ cm^3$$

3.9.2.- Dilatación en los líquidos

La dilatación de los líquidos es similar a la dilatación cúbica de los sólidos. Si a es el coeficiente de dilatación del líquido, resulta:

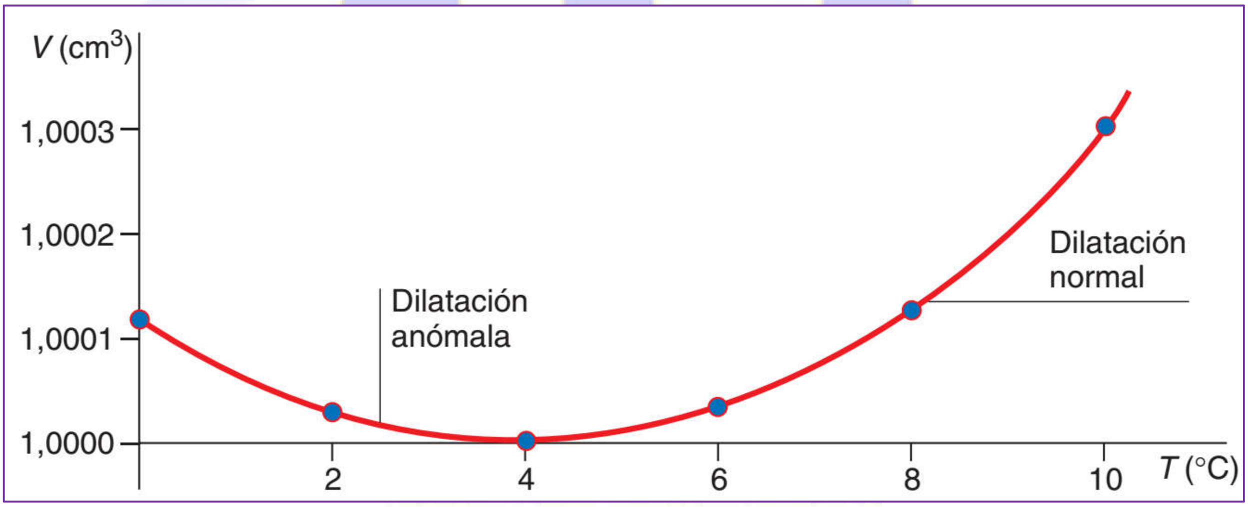
$$V = V_o\cdot(1+\alpha\cdot\Delta T)$$

Como podemos comprobar en la tabla de la derecha, la dilatación de los líquidos es muy superior a la de los sólidos. Es muy importante el caso del agua, que entre 0 °C y 4 °C muestra una dilatación anómala y su volumen disminuye con la temperatura.

La figura de debajo, muestra la variación del volumen de 1 g de agua a 1 atm de presión en función de la temperatura.

Coeficiente de dilatación, a 20 °C, de algunos líquidos

Líquido	Coeficiente de dilatación (K^{-1})
Agua	$2{,}1\cdot 10^{-4}$
Acetona	$14{,}6\cdot 10^{-4}$
Alcohol	$14{,}0\cdot 10^{-4}$
Benceno	$11{,}7\cdot 10^{-4}$
Glicerina	$5{,}2\cdot 10^{-4}$
Mercurio	$18{,}1\cdot 10^{-4}$



3.9.3.- Dilatación en los gases

El volumen de un gas varía notablemente tanto con la temperatura como con la presión. Para medir los cambios de volumen debidos a variaciones de la temperatura, mantenemos constante la presión:

$$V = V_o\cdot(1+\alpha_p\cdot\Delta T)$$

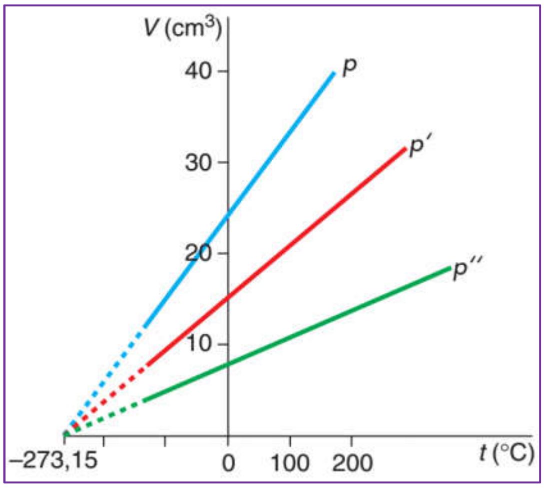
Aunque esta ecuación es similar a la de sólidos y líquidos, existe una diferencia básica: el coeficiente de dilatación a presión constante, a *p*, vale igual para todos los gases. Si V_0 es el volumen del gas a 0 °C, se cumple que:

$$\alpha_p = \frac{1}{273,15}\,°C^{-1}$$

Al representar el volumen de cualquier gas frente a la temperatura Celsius, salen líneas rectas que, extrapoladas a la región de bajas temperaturas, confluyen en el punto:

$$V = 0 \qquad \rightarrow \qquad T_c = -273,15\ °C$$

Esa temperatura, que corresponde al cero absoluto (0 K), es la mínima posible, ya que el volumen no puede ser negativo.



3.10.- Criterio de Signos y Sistemas termodinámicos