

## Objetivos

En esta quincena aprenderás a:

- Diferenciar conceptos como calor, temperatura y energía térmica.
- Explicar cómo se transmite el calor.
- Explicar cómo se mide la temperatura.
- Comprender efectos del calor como la dilatación de los cuerpos y los cambios de estado.
- Medir el calor transmitido entre dos cuerpos.
- Calcular conversiones de energía mecánica en calor y viceversa.

### Antes de empezar

1. Aclarando conceptos ..... pág. 148  
Energía térmica y temperatura  
Energía térmica y calor  
Calor y temperatura  
Equilibrio térmico
2. Transmisión y efectos del calor ..... pág. 155  
Cómo se transmite el calor  
La dilatación de los cuerpos  
Los cambios de estado
3. El termómetro y la medida del calor . p. 162  
Una escala de temperatura  
Temperatura absoluta  
Calor específico  
Buscando el equilibrio  
Calor de cambio de estado
4. Equivalencia entre calor y energía . pág. 170  
La experiencia de Joule  
Fricción y calor  
Máquinas y calor

### Ejercicios para practicar

### Para saber más

### Resumen

### Autoevaluación

### Actividades para enviar al tutor

[www.yoquieroaprobar.es](http://www.yoquieroaprobar.es)

### Recuerda

Antes de empezar, conviene que repases algunos conceptos aprendidos en la quincena anterior:

- ¿Qué es la energía térmica?
- ¿Qué es la energía radiante?
- ¿Qué es el calor?
- ¿Qué es una caloría?

Si entiendes bien esos conceptos, podrás contestar correctamente estas preguntas:

### ¿Existe el frío?

Elige la respuesta a cada pregunta



- ¿Por qué ciertos objetos están fríos al tacto?
- ¿Qué ocurre en un cuerpo cuando se enfría?
- ¿Qué es una frigoría?

Si has reflexionado bien sobre estas preguntas te habrás dado cuenta de que:

- El frío no existe. Un cuerpo parece frío cuando la energía térmica de sus partículas es baja.
- Cuando entramos en contacto con un cuerpo con partículas de baja energía térmica, le cedemos energía propia. De ahí la sensación de frío.
- La frigoría no es más que la pérdida de una caloría.

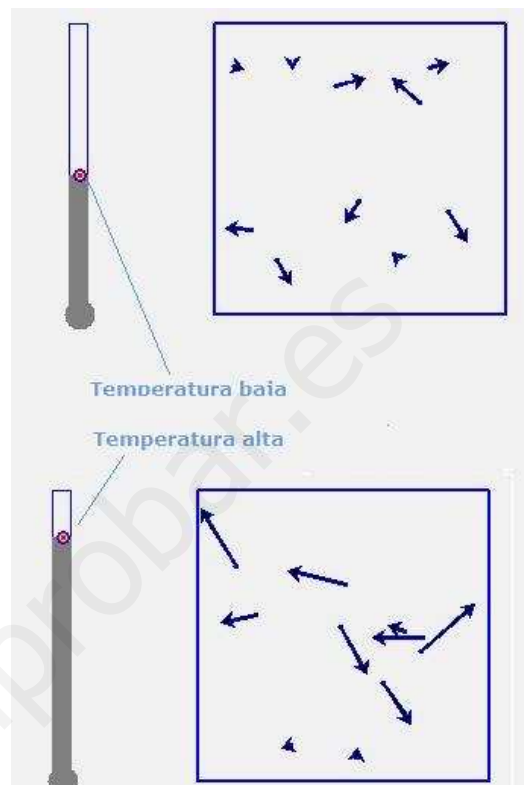
## 1. Aclarando conceptos

### Temperatura y energía térmica

Ya sabemos que la energía térmica se debe al movimiento de las partículas que forman la materia y que la temperatura es una propiedad, medida por los termómetros, que permite diferenciar cuerpos calientes y fríos. ¿Qué relación hay entre estas magnitudes?

Fijémonos en la escena de la derecha y tratemos de contestarnos las siguientes preguntas: ¿Tienen todas las partículas del gas la misma energía? ¿Qué ocurre después de subir o bajar la temperatura (arrastrando el punto rojo) en las partículas del gas? Reflexionando sacarás las siguientes conclusiones:

- **A una temperatura determinada las partículas de un cuerpo tienen diferentes energías (se mueven a diferentes velocidades).**
- **Cuando la temperatura asciende, el conjunto de las partículas se mueven más rápido (tienen más energía), aunque algunas pueden seguir siendo muy lentas.**
- **Cuando la temperatura desciende, el conjunto de las partículas se mueve más lentamente (tienen menos energía), aunque algunas se muevan algo más rápidamente.**
- **Estas ideas son ciertas independientemente del número de partículas.**



En la escena observamos un gas encerrado en un recipiente y un termómetro que nos marca su temperatura. Cada partícula del gas va acompañada de su vector velocidad correspondiente. Cuando la velocidad es pequeña, los vectores velocidad adquieren la forma de letras "v" indicando la dirección del movimiento.

Obviamente, si la temperatura, y por lo tanto la velocidad media de las partículas, es alta, los choques de las partículas con las paredes son más violentos y el gas ejercerá más presión. Aunque no podamos medir directamente la velocidad de las partículas, su presión y la temperatura son sus indicadores macroscópicos.

### EJERCICIOS RESUELTOS

Cuestiones rápidas sobre energía térmica y temperatura

1. ¿Qué energía térmica es mayor: la de una piscina con agua a 20 °C o la de un vaso de agua a 25 °C?

- a) La de la piscina.
- b) La del vaso de agua.
- c) Ambas por igual.
- d) No contienen energía térmica, sino calor.

2. ¿Qué energía térmica media es mayor: la de una piscina con agua a 20°C o la de un vaso de agua a 25°C?

- a) La de la piscina.
- b) La del vaso de agua.
- c) Ambas por igual.
- d) Todas las partículas tienen la misma energía.

3. Completa la siguiente frase: Cuando se calienta un gas

- a) Aumenta su temperatura, pero no su energía térmica.
- b) Aumenta su energía térmica, pero no su temperatura.
- c) Aumentan tanto la temperatura como la energía térmica.
- d) El producto de su energía térmica por su temperatura se mantiene constante.

(Para que nos sea útil como aprendizaje, no debemos leer la solución antes de intentar contestar el test)

-----Solución-----

- 1. (a)
- 2. (b)
- 3. (c)

# Calor y energía

## Calor y energía térmica

Cuando un cuerpo aumenta su energía térmica se está calentando, es decir recibiendo calor. Cuando un cuerpo disminuye su energía térmica se está enfriando, es decir, perdiendo calor. De esta forma, el calor no es más que una forma de denominar a los aumentos y pérdidas de energía térmica.

El calor puede provenir de una conversión de una energía en otra. En la escena de la derecha el calor proviene de la energía química (por combustión). A medida que pasa el tiempo la energía producida por el mechero es absorbida como calor, invirtiéndose en aumentar la energía térmica del gas y, por tanto, su energía térmica media que se reflejará en un aumento de la temperatura observable.

En esta escena utilizamos unidades arbitrarias de calor y energía media porque, dado el gran número de partículas que componen el gas, la energía por partícula es tan pequeña que no resulta interesante medirla en unidades del S.I. Aún así, podemos concluir que:

**El calor es la variación de la energía térmica de un cuerpo.**

Por lo tanto, el calor no es una magnitud independiente que se pueda "almacenar" en los cuerpos. La magnitud que aumenta o disminuye en un cuerpo es su energía térmica y estas variaciones se reflejarán en la variación de la temperatura.

**Más adelante veremos una excepción, un caso en que la absorción de energía en forma de calor no produce una variación de temperatura,** aunque sí se traduzca en una variación de la energía interna de un cuerpo.

Otro aspecto interesante que debemos señalar es la dificultad de medir la energía térmica media de las partículas de un cuerpo de forma directa. Para poder medirla de alguna forma necesitamos recurrir a alguna propiedad macroscópica relacionada con ella, como la longitud de la columna de mercurio de un termómetro.



En la escena, un gas se calienta por la acción de un mechero. A medida que pasa el tiempo, el mechero habrá producido más energía que se absorberá por el gas en forma de calor, aumentando su energía térmica media, es decir, su temperatura.

### EJERCICIOS RESUELTOS

Cuestiones rápidas sobre energía térmica y calor

1. A igualdad de temperatura, al comparar el agua de una piscina y el de un depósito
  - a) la piscina almacena más calor que el depósito.
  - b) la piscina almacena más energía térmica que el depósito.
2. Cuando un cuerpo cede calor
  - a) absorbe frío en su lugar.
  - b) su energía térmica disminuye.
3. Si dos cuerpos de la misma naturaleza y masa poseen la misma temperatura
  - a) los dos almacenan la misma cantidad de calor.
  - b) los dos almacenan la misma cantidad de energía térmica.
4. Respecto a la energía térmica de un cuerpo podemos decir que
  - a) el calor es idéntico, ya que se trata de dos conceptos sinónimos.
  - b) el calor es una variación de esa energía térmica.

(Para que nos sea útil como aprendizaje, no debemos leer la solución antes de intentar contestar el test)

-----Solución-----

1. (b)
2. (b)
3. (b)
4. (b)

# Calor y energía

## Calor y temperatura

Aunque en un apartado posterior estudiaremos con algún detalle las escalas termométricas, ya estamos lo suficientemente familiarizados con el termómetro como para poder entender su uso como instrumento de medida del calor ganado o perdido por un cuerpo.

En la escena de la derecha calentamos un recipiente con una cantidad medida de agua. Si registramos la temperatura en diferentes momentos, podemos obtener una **curva de calentamiento** como la que observamos en la parte inferior.

En la gráfica resulta evidente que en el tramo de temperaturas observado, la temperatura varía proporcionalmente con el tiempo. Por lo tanto, suponiendo que la fuente de calor ha actuado de forma similar todo el tiempo, podremos decir que el calor absorbido por el agua es proporcional a la variación de su temperatura.

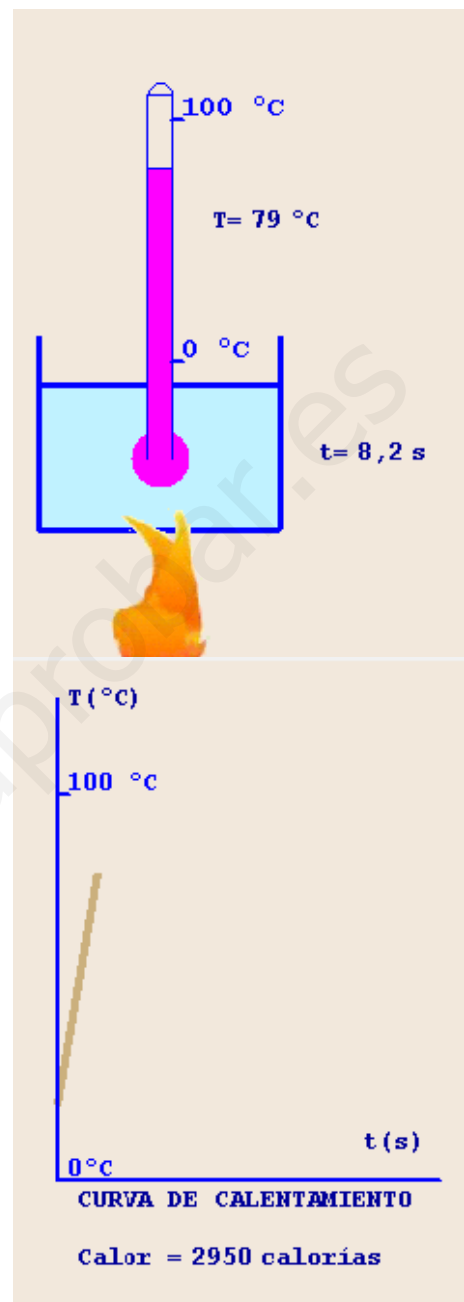
De esta experiencia podemos extraer una definición de la unidad de calor:

**La caloría es el calor que hay que suministrar a 1g de agua para que aumente 1 °C su temperatura.**

En realidad, la definición oficial describe la caloría como: *la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua destilada de 14,5° a 15,5 ° a nivel del mar (una atmósfera de presión).*

En esta definición se tiene en cuenta que el ascenso de la temperatura con el tiempo no es exactamente igual en todos los tramos de temperatura y que depende de factores como la pureza del agua (por eso debe usarse agua destilada) o la presión del aire.

Conviene que sepamos que la caloría de la que se habla en la alimentación es en realidad la kilocaloría. Si nos dicen que cierta fruta nos proporciona una caloría, en realidad hay que entender que con ella obtenemos 1000 calorías.





## Equilibrio térmico

Los dos líquidos de la escena tienen diferentes temperaturas como podemos observar por el diferente nivel de los termómetros. Entre ambos líquidos se producirá un intercambio de energía (**calor**), que pasará del más caliente al más frío hasta que las temperaturas se igualen. Una vez que se haya producido esta igualación podremos decir que el sistema ha alcanzado el **equilibrio térmico**.

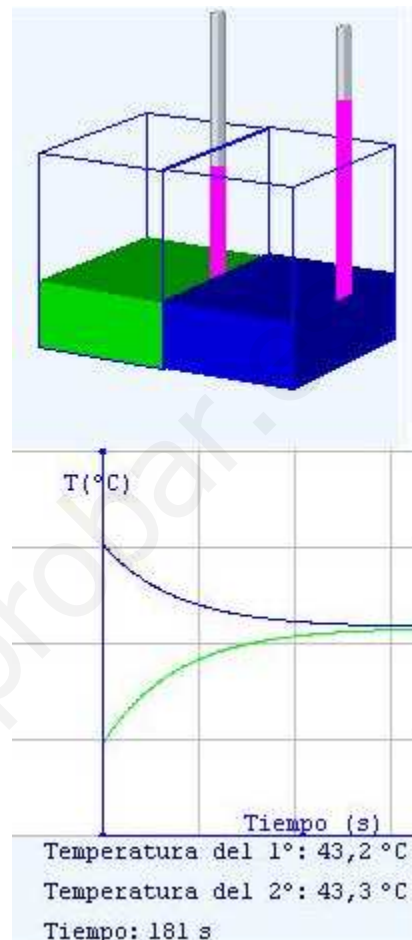
Si trazáramos las respectivas curvas de calentamiento y enfriamiento podríamos comprobar que la temperatura a la que se produce el equilibrio no es necesariamente la media aritmética de las dos temperaturas iniciales. Interviene una propiedad de la naturaleza de los cuerpos (**el calor específico**) de la que hablaremos más adelante.

Si repitiéramos la experiencia varias veces, cambiando masas y temperaturas iniciales de los líquidos, veríamos que se producen cambios en el punto de equilibrio y en el tiempo que tarda en alcanzarse; pero, sin ninguna excepción, el equilibrio se produce finalmente.

También podemos observar otra particularidad interesante, la variación de la temperatura en las dos sustancias es mayor al principio, cuando la diferencia entre las temperaturas es mayor, haciéndose muy lenta al final, cuando las dos temperaturas son similares. Podemos concluir que **el intercambio de calor por unidad de tiempo es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de los cuerpos**.

Esta tendencia de los cuerpos al equilibrio es en realidad la base de la medida de temperaturas. Medir la temperatura de un enfermo, por ejemplo, significa lograr que el termómetro alcance el equilibrio térmico con el cuerpo del paciente.

Por otro lado, aunque la proximidad de los cuerpos facilita mucho la posibilidad del equilibrio, la tendencia a alcanzarlo se produce aún a grandes distancias.



Para facilitar la distinción entre los líquidos, el más frío se ha dibujado en color verde y el más caliente en color azul. También se ha respetado el mismo criterio de color en las gráficas. La temperatura inicial de los líquidos era  $20$  y  $80^\circ\text{C}$  respectivamente.

Obsérvese que aún al final de la observación no se había alcanzado el equilibrio perfecto. Cuando la diferencia de temperaturas es pequeña, el intercambio de calor disminuye tanto que el completo equilibrio puede tardar mucho en lograrse.

## EJERCICIOS RESUELTOS

### Repasando los conceptos básicos

(Hay que rellenar los huecos del siguiente texto)

La energía (1)\_\_\_\_\_ de un cuerpo depende del grado de agitación de las partículas que lo componen. La energía de cada partícula puede ser muy diferente, pero el valor (2)\_\_\_\_\_ de esta energía se corresponde con la (3)\_\_\_\_\_ que marcan los (4)\_\_\_\_\_ .

El (5)\_\_\_\_\_ es la forma en que se gana o se pierde energía térmica. La unidad de calor que llamamos (6)\_\_\_\_\_ es la cantidad de energía que hay que dar a (7)\_\_\_\_\_ de agua para que su (8)\_\_\_\_\_ aumente un grado.

Cuando dos cuerpos tienen diferente (9)\_\_\_\_\_, pasará energía del más caliente al más frío hasta que ambos alcancen el (10)\_\_\_\_\_.

### Palabras que se pueden utilizar

calor caloría equilibrio medio temperatura temperatura temperatura térmica termómetros un gramo

(Para que nos sea útil como aprendizaje, no debemos leer la solución antes de intentar contestar el test)

-----Solución-----

Repasando los conceptos básicos

La energía térmica de un cuerpo depende del grado de agitación de las partículas que lo componen. La energía de cada partícula puede ser muy diferente, pero el valor medio de esta energía se corresponde con la temperatura que marcan los termómetros .

El calor es la forma en que se gana o se pierde energía térmica. La unidad de calor que llamamos caloría es la cantidad de energía que hay que dar a un gramo de agua para que su temperatura aumente un grado.

Cuando dos cuerpos tienen diferente temperatura, pasará energía del más caliente al más frío hasta que ambos alcancen el equilibrio.

## 2. Transmisión y efectos del calor

### Cómo se transmite el calor

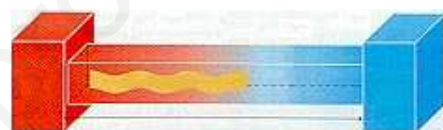
El calor puede propagarse de tres formas: **conducción**, **convección** y **radiación**. En muchos casos los tres medios obran simultáneamente; pero cuando se trata de cuerpos sólidos en contacto predomina la conducción, si se trata de fluidos en contacto predomina la convección y, si se trata de cuerpos distantes entre sí, predomina la radiación.

En el caso de la **conducción**, no todos los cuerpos se comportan igual; los metales son buenos conductores y la lana o la madera transmiten muy mal el calor, por lo que se usan como aislantes. Por eso, cuando tocamos una superficie metálica y otra de madera, ambas a temperatura ambiente, la superficie metálica parece más fría. Como nuestro cuerpo está más caliente, transmitimos continuamente calor que se reparte por todo el metal. Sin embargo, como la madera es mala conductora, en cuanto la tocamos basta con que la superficie en contacto con nuestra mano se equilibre con ella, aunque el resto de la madera continúe aún fría.

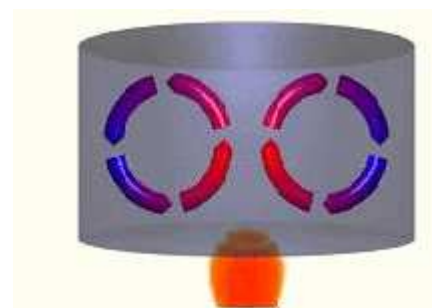
La **convección** es responsable de fenómenos atmosféricos como las tormentas, que se producen cuando existe mucha diferencia de temperatura entre capas inferiores y superiores de la atmósfera. El ascenso del aire húmedo y caliente arrastra el vapor de agua que se condensa al llegar a zonas más frías. También es la convección responsable de las corrientes marinas, que tienden a mezclar el agua caliente de las zonas ecuatoriales con el agua fría de las zonas polares. Cuando calentamos un puchero con agua, la superficie de la olla y el agua en contacto con ella se calientan por conducción directa del calor, pero el agua del interior se calienta sobre todo por convección.

En cuanto a la **radiación**, no tenemos más que acercar las manos a una bombilla (no un tubo fluorescente, basado en otro principio) para comprender el papel calorífico de su emisión. Hagamos constar que la energía radiante se transmite por el vacío, haciendo posible que nos llegue luz y calor del Sol. Todos los cuerpos emiten energía radiante, aunque los cuerpos fríos lo hacen de forma imperceptible, tanto por su baja intensidad de emisión como porque la emisión es de tipo infrarrojo, invisible a nuestros ojos. Las llamadas gafas de visión nocturna son sensibles a este tipo de radiación, haciendo posible ver a seres vivos en un ambiente totalmente oscuro.

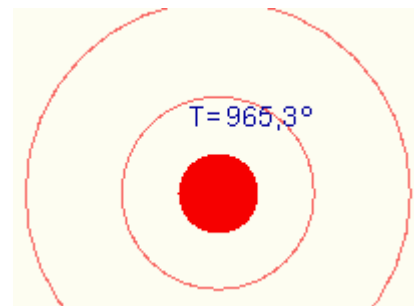
Podríamos preguntarnos ¿si el Sol nos transmite calor por radiación, no tendría que calentarse la Tierra hasta que alcanzara la misma temperatura del Sol?. En realidad esto no ocurre por la propia emisión de radiación por nuestro planeta. Recibimos la misma cantidad de energía solar que emitimos nosotros al espacio, manteniéndose así la temperatura terrestre aproximadamente constante. En el último siglo, la acumulación de los llamados gases de efecto invernadero hace de la Tierra un emisor de energía ligeramente menos eficaz, por lo que la temperatura terrestre tiende a elevarse paulatinamente. En el epígrafe "Para saber más", al final de la quincena, explicamos más detenidamente este problema.



En la **conducción**, el calor fluye de la zona más caliente a la más fría por intercambio de energía entre las partículas en contacto.



En la **convección**, el fluido caliente tiende a mezclarse continuamente con el frío en forma de corrientes de material.



En la **radiación**, los cuerpos emiten parte de su energía térmica como ondas electromagnéticas. Esta emisión se hace normalmente en ondas infrarrojas, invisibles; pero cuando la temperatura es alta, se llega a emitir también radiación visible (el hierro al rojo, por ejemplo).

## EJERCICIOS RESUELTOS

**¿Cómo se transmite la mayoría del calor en este caso?**

1. El agua de la piscina se enfría durante la noche.

- a) Por conducción
- b) Por radiación
- c) Por convección

2. Mientras funciona el aire acondicionado.

- a) Por conducción
- b) Por convección
- c) Por radiación

3. Al calentar la comida en el microondas.

- a) Por convección
- b) Por radiación
- c) Por conducción

4. Dentro de una nube de tormenta

- a) Por radiación
- b) Por convección
- c) Por contacto

5. El calor que recibimos del Sol

- a) Por convección
- b) Por radiación
- c) Por conducción

6. El calor que recibe una sartén de un fogón eléctrico.

- a) Por convección
- b) Por conducción
- c) Por radiación

-----Solución-----

1. (b) 2. (b) 3. (b) 4. (b) 5. (b) 6. (b)

## La dilatación de los cuerpos (I): Los cuerpos sólidos

Variar la temperatura de un cuerpo sólido es lo mismo que alterar la energía de sus partículas, de modo que sus vibraciones se hacen más grandes (si la temperatura aumenta) o más pequeñas (si la temperatura desciende), produciendo variaciones de tamaño. La dilatación puede afectar a su longitud inicial  $L_0$ , a su superficie inicial  $S_0$ , o a su volumen inicial  $V_0$ . En todos los casos la variación es proporcional a la magnitud inicial y al incremento de temperatura  $\Delta T$ . Estas son las ecuaciones correspondientes:

$$\begin{aligned} L &= L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \\ S &= S_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T) \\ V &= V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T) \end{aligned}$$

Los **coeficientes de dilatación lineal ( $\alpha$ )**, **superficial ( $\beta$ )** y **cúbica ( $\gamma$ )** dependen de la naturaleza del objeto. Se pueden definir como **la variación por unidad de la magnitud correspondiente (longitud, superficie o volumen) cuando la temperatura varía un grado**. Sus unidades son  $^{\circ}\text{C}^{-1}$  en los tres casos. Así, por ejemplo,  $\alpha$  expresa lo que aumenta o disminuye un metro de longitud de una sustancia cuando sube o baja un grado la temperatura.

Estos coeficientes no son independientes entre sí. De modo aproximado se puede afirmar que, para un mismo cuerpo:

$\beta = 2\alpha$  mientras que  $\gamma = 3\alpha$ . De esta forma, conociendo el coeficiente de dilatación lineal para una sustancia, podemos determinar automáticamente los coeficientes de dilatación superficial y cúbica.

Como observamos en la tabla de la derecha, los coeficientes de dilatación son en general bastante bajos, haciendo falta considerables variaciones de temperatura para que las alteraciones de tamaños se perciban fácilmente. Por ejemplo, una viga de hormigón de 10 m de longitud aumentaría 1 mm su longitud con un aumento de temperatura de 10  $^{\circ}\text{C}$ .

El carácter lineal de la dilatación de muchos cuerpos sólidos (y también de muchos líquidos) hace de la dilatación de las sustancias una excelente propiedad termométrica, es decir podemos comparar las diferentes temperaturas entre cuerpos iguales a partir de una comparación de sus tamaños.

No todos los materiales se comportan de esta forma tan lineal. Si calentamos un trozo de madera se dilatará y si la enfriamos posteriormente se contraerá. Sin embargo, difícilmente volverá a tener el mismo tamaño del principio, aunque la temperatura sí que haya vuelto a su nivel inicial.

Material	$\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
Hormigón	$\sim 1,0 \times 10^{-5}$
acero	$\sim 12 \times 10^{-6}$
Hierro	$\sim 12 \times 10^{-4}$
Plata	$2,0 \times 10^{-5}$
Oro	$1,5 \times 10^{-5}$
Invar	$0,04 \times 10^{-5}$
Plomo	$3,0 \times 10^{-5}$
Zinc	$2,6 \times 10^{-5}$
Aluminio	$2,4 \times 10^{-5}$
Latón	$1,8 \times 10^{-5}$
Cobre	$1,7 \times 10^{-5}$
Vidrio	$\sim 0,7 \times 10^{-5}$
Cuarzo	$0,04 \times 10^{-5}$
Hielo	$5,1 \times 10^{-5}$

concreto 10 acero 11.5 hierro 11.7

En la tabla se registran los coeficientes de dilatación lineal de algunas sustancias. Es fácil percibir que este coeficiente es bastante diferente entre unas y otras, Notemos, por ejemplo como el hierro es capaz de dilatarse 3000 veces más que el cuarzo.

Estas diferencias son las responsables de que, en lugares con cambios extremos en las temperaturas, se produzcan desajustes entre piezas del mobiliario hechas con materiales diferentes (por ejemplo marcos y vidrios de las ventanas).

También hay que tener en cuenta este coeficiente a la hora de diseñar algunos instrumentos de precisión. Un telescopio con óptica de cuarzo se dilatará unas 18 veces menos que otro con lentes de vidrio ordinario y será por tanto mucho más preciso para la observación astronómica ya que se alterará muy poco durante las bajadas nocturnas de temperatura.

## EJERCICIOS RESUELTOS

1.- Determinar el coeficiente de dilatación de un cuerpo, sabiendo que su longitud inicial es de 1 m, pero que se reduce a 0,99902 m cuando su temperatura pasa de 30 °C a 10°C.

Solución:

Despejando el coeficiente a partir de la ecuación:  $L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$

obtenemos:  $\alpha = \frac{L - L_0}{L_0 \cdot \Delta T} = \mathbf{0,000048^\circ\text{C}^{-1}}$

Este coeficiente de dilatación es parecido al del hielo, aunque con seguridad nuestra sustancia no podía ser hielo. ¿Adivina el lector por qué?

2.- Si un cuerpo tiene un coeficiente de dilatación  $\alpha = 1,31 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , siendo su longitud 1m a la temperatura de 12°C, determina su longitud a la temperatura de 54°C.

Solución:

El incremento de temperatura es:  $\Delta T = 54 - 12 = 43^\circ\text{C}$ .

Sustituyendo estos valores en la ecuación:  $L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$

Obtenemos:  $L = \mathbf{1,0056 \text{ m}}$

Hagamos notar que en este problema hemos usado un cuerpo de un coeficiente de dilatación elevado. Aún así, su dilatación es menor de 6 mm, difícil de detectar a simple vista.

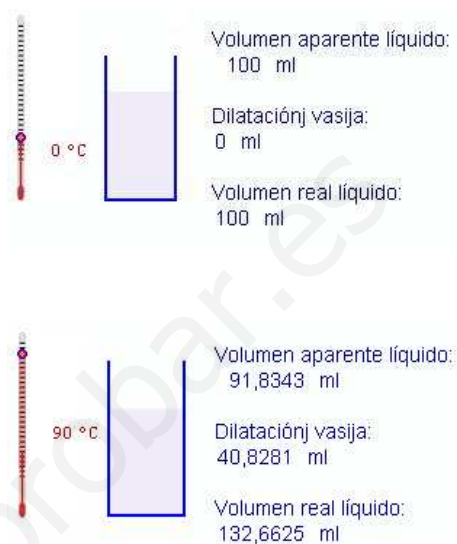
## La dilatación de los cuerpos (II): Fluidos

**En los líquidos y gases sólo tiene sentido hablar de la dilatación cúbica, puesto que carecen de forma propia y se adaptan a la vasija.**

En el caso de los líquidos es preciso que tengamos en cuenta la dilatación del recipiente. El líquido experimentará una dilatación aparente que será igual a la dilatación real menos la del recipiente. Si utilizamos un material con un coeficiente de dilatación mucho más bajo que el del líquido, podremos despreciar la dilatación de la vasija. En caso contrario hay que tenerlo muy en cuenta como ilustramos en la imagen de la derecha.

Es conveniente señalar el fenómeno de la dilatación anómala del agua. Esta sustancia tiene su máxima densidad a 4°C de temperatura. Si enfriamos el agua por debajo de esa temperatura, e incluso la congelamos, su volumen aumenta en vez de disminuir. Una vez que está solidificada se recupera la normalidad, es decir el hielo a -10°C presenta mayor volumen que el hielo a -30°C. Por encima de los 4 °C, el agua también se dilata normalmente. Gracias a esta rareza del agua, las profundidades de los mares se encuentran a 4°C (la presión obliga al agua a buscar su temperatura de máxima densidad). También los témpanos de hielo flotan en el agua debido a su dilatación anómala.

Respecto a los gases, su carácter compresible hace que pueda no existir dilatación al aumentar la temperatura. Para colocarnos en una situación comparable a la de líquidos y sólidos debemos mantener el gas a presión constante al subir o bajar la temperatura. El ejemplo típico sería un gas encerrado en un recipiente cilíndrico con un émbolo móvil que pueda ascender o descender según el volumen del gas. En un apartado posterior, al hablar de la temperatura absoluta, volveremos a recordar este proceso a presión constante. En estas circunstancias, todos los gases tienen un coeficiente de dilatación cúbica de aproximadamente  $1/273^{\circ}\text{C}^{-1}$ .



Entre las dos imágenes la temperatura ha subido 90°C. Mirando por el nivel de la probeta, parece que el volumen del líquido ha disminuido. En realidad lo que ha ocurrido es que el vidrio de la probeta tenía un coeficiente de dilatación mayor que el líquido (suceso no muy común). No es que éste, se haya contraído, sino que el recipiente se ha dilatado más. Teniendo en cuenta esta dilatación del recipiente vemos que el líquido, en realidad, se ha dilatado más de 32 ml.

Por afán didáctico hemos exagerado la dilatación de los dos materiales (el sólido y el líquido), pero las consecuencias teóricas son las mismas que si hubiéramos dado valores más realistas a ambos coeficientes.

# Calor y energía

## Los cambios de estado

Los témpanos se funden lentamente sin que su temperatura rebase los  $0^{\circ}\text{C}$  aunque el agua en que flota esté más caliente. Estamos ante un **cambio de estado por fusión**. Un caso similar de conservación de la temperatura se presenta cuando hierve el agua (**ebullición**), o cuando un copo de nieve se transforma en vapor de agua (**sublimación**), o en todos los cambios contrarios a los citados (**solidificación, condensación, sublimación inversa**).

Hay una importante norma general que se cumple en todos los cambios de estado: **Durante los cambios de estado el calor recibido o perdido no se emplea en variar la temperatura sino en alterar la estructura interna del cuerpo.** La temperatura a la que se produce un cambio de estado depende de factores como la presión exterior o la pureza de la sustancia implicada. En las llamadas "ollas a presión" se supera ampliamente la presión atmosférica, con lo que la temperatura de ebullición es sensiblemente mayor a los  $100^{\circ}\text{C}$ , permitiendo que los alimentos se cocinen antes. Otro caso totalmente diferente es el de las medidas en previsión de heladas. En tales casos se vierte sal que, al disolverse en el agua, hace bajar su punto de fusión.

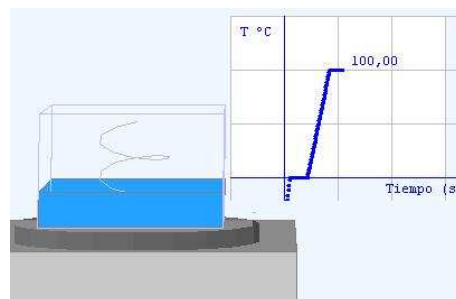
La mayoría de las sustancias tienen puntos de fusión y ebullición determinados, que se convierten en propiedades características de las sustancias. Así por ejemplo, en la destilación de mezclas de alcoholes se pueden identificar cada uno de ellos por las diferentes temperaturas a las que entran en ebullición.

Hay que señalar que pueden existir cambios de estado sin alcanzar la temperatura correspondiente. Tal es el caso de la evaporación del agua líquida que puede producirse a cualquier temperatura, del mismo modo que la condensación del vapor de agua también puede producirse a cualquier temperatura. En estos casos podemos decir que existe un proceso de disolución del agua en la atmósfera con un límite de solubilidad. Mientras no se alcance ese límite, el agua se evaporará hasta que la atmósfera se sature de humedad. Del mismo modo, si el aire está sobresaturado de humedad, se producirá la condensación a cualquier temperatura.



Témpano flotando en el lago Grey (Patagonia chilena).

El témpano alcanza unos 10 m sobre la superficie y cerca de 100 de profundidad en el agua en que flota. A pesar de la temperatura primaveral, el témpano tardaría meses en fundirse totalmente. Obsérvese el color azul típico del hielo que ha estado sometido a grandes presiones y tiene poco aire disuelto en su interior.



En este dibujo vemos la curva de calentamiento de lo que inicialmente fue un bloque de hielo. Los dos tramos horizontales en la gráfica corresponden a los intervalos de tiempo en que el hielo está fundiéndose (a  $0^{\circ}\text{C}$ ) y en que el agua está hirviendo (a  $100^{\circ}\text{C}$ ).



## EJERCICIOS RESUELTOS

### Repasando ideas sobre los cambios de estado

Completa las siguientes frases

El cambio de estado de líquido a sólido se denomina

El cambio de estado de gas a líquido se denomina

El cambio de estado de sólido a gas se denomina

Cuando agua a en estado líquido y temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  recibe energía ¿cómo varía su temperatura?

Cuando agua a en estado gaseoso y temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  recibe energía ¿cómo varía su temperatura?

(Trata de contestar antes de leer la solución)

-----Solución-----

El cambio de estado de líquido a sólido se denomina solidificación.

El cambio de estado de gas a líquido se denomina condensación.

El cambio de estado de sólido a gas se denomina sublimación.

Cuando agua en estado líquido y temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  recibe energía, su temperatura se mantiene constante.

Cuando agua a en estado gaseoso y temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  recibe energía, su temperatura aumenta.

## 3. El termómetro y la medida del calor

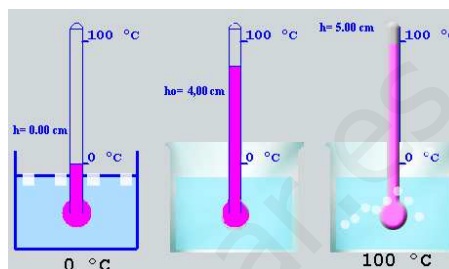
### Una escala de temperatura

Cuando hemos hablado de temperatura, se ha utilizado automáticamente la escala con la que estamos más familiarizados, la escala Celsius o centígrada. Aunque suponemos que el lector ya la conoce, en la escena adjunta podemos ver cómo se gradúa un termómetro en esta escala, basándonos en la constancia de la temperatura a lo largo de los cambios de estado.

Además de la Celsius, existen otras escalas. En la escena Réaumur el punto cero es también el de fusión del hielo pero el de ebullición del agua se marca como  $80^{\circ}\text{R}$ , en lugar de ser el punto 100, de modo que para pasar de la escala Celsius a la Réaumur podríamos aplicar la siguiente ecuación:  $T_{\text{R}} = 0,8 \cdot T_{\text{C}}$  donde  $T_{\text{R}}$  es la temperatura Réaumur y  $T_{\text{C}}$  es la temperatura Celsius. La escala Réaumur, utilizada en otros tiempos en Francia y Alemania, ha sido reemplazada en estos países por la escala Celsius, aunque aún se emplea ocasionalmente en la industria del almíbar y los caramelos.

En la escala Fahrenheit (de uso muy extendido en los países anglosajones), el punto cero se determina por el equilibrio entre una mezcla de agua, hielo y cloruro amónico y el punto  $96^{\circ}\text{F}$  como el correspondiente a la temperatura habitual del cuerpo humano. Para convertir una temperatura Celsius a Fahrenheit aplicaremos:  $T_{\text{F}} = 9/5 \cdot T_{\text{C}} + 32$ .

En estas escalas la elección del punto cero es arbitraria: el punto de congelación del agua en las escalas Celsius y de Réaumur y el de equilibrio de sal, agua y cloruro amónico en el caso de la Fahrenheit. Podríamos preguntarnos cómo establecer un punto cero con mayor significado físico. En el apartado siguiente veremos cómo lograrlo.



En la escena vemos tres termómetros iguales, sumergidos en diferentes recipientes.

En el primero hay cubitos de hielo en fusión, mientras que en el tercero hay agua hirviendo.

Estos recipientes nos sirven para establecer las marcas de  $0^{\circ}\text{C}$  y  $100^{\circ}\text{C}$  respectivamente, que en nuestro caso van a estar separadas 5 cm.

Como la dilatación de muchas sustancias, el mercurio por ejemplo, es prácticamente lineal con la temperatura, podemos establecer que cada grado equivale a una altura de  $5/100 \text{ cm} = 0,5 \text{ mm}$  y podemos establecer la equivalencia entre la altura del mercurio y la temperatura.

Podemos extrapolar los resultados, por encima de los  $100^{\circ}\text{C}$  y por debajo de los  $0^{\circ}\text{C}$  mientras las propiedades de dilatación de la sustancia termométrica sean estables. Un termómetro de mercurio puede ser útil desde  $-38^{\circ}\text{C}$  hasta  $356^{\circ}\text{C}$ .

## EJERCICIOS RESUELTOS

Completar la siguiente tabla de valores, convirtiendo la temperatura a las escalas en que falta su valor.

TEMPERATURA CELSIUS	TEMPERATURA RÉAUMUR	TEMPERATURA FAHRENHEIT
50 °C		
	50 °R	
		50 °F

Solución: Aplicando las ecuaciones de conversión obtendremos:

TEMPERATURA CELSIUS	TEMPERATURA RÉAUMUR	TEMPERATURA FAHRENHEIT
50 °C	50 °R	122 °F
62,5 °C	50 °R	144,5 °F
10 °C	8 °R	50 °F

# Calor y energía

## Temperatura absoluta

Pensemos por un momento esta pregunta: ¿Si un cuerpo tiene una temperatura de 2 °C, sus partículas tendrán el doble de energía media que las de un cuerpo a 1 °C? En modo alguno es tal cosa cierta. Para establecer una correspondencia real entre temperatura y energía media de agitación de las partículas hay que establecer el cero de la temperatura en el cero de energía media. Este es el **cero absoluto** y cuando empezamos a contar desde ese punto obtenemos una **escala absoluta**.

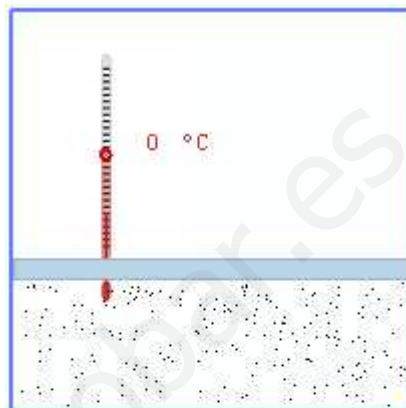
La forma más sencilla de buscar este punto es a partir del coeficiente de dilatación de los gases. Recordemos que, a presión constante, el coeficiente de dilatación cúbica de los gases ideales era:  $\gamma = 1/273 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Según eso, si un gas ocupa cierto volumen a 0°C, su volumen será cero al alcanzar la temperatura el valor de -273 °C (el valor exacto es en realidad -273,15 °C, sin embargo, en los ejercicios admitiremos su aproximación al número entero).

En los gases reales no se puede producir nunca esta situación porque, sus partículas componentes tienen un tamaño no puntual que impediría alcanzar el volumen cero. En la práctica cualquier gas se licúa al acercarse a temperaturas tan bajas. No obstante, el valor de **-273,15°C sigue siendo el límite inferior de la temperatura, es el cero absoluto**.

Hay una escala absoluta correspondiente a la Celsius; se trata de la escala **Kelvin**, cuya unidad (K) es la adoptada por el S.I. Siempre se cumple que:

$$T_k(\text{absoluta}) = T_c(\text{Celsius}) + 273$$

Existe también una escala absoluta correspondiente a la escala Fahrenheit, se trata de la escala Rankine. En esta escala  $T_R = 9/5 \cdot T_C + 491,67$ . No obstante, en los ejercicios usaremos como temperatura únicamente la escala Kelvin.



Suponemos el gas ideal encerrado en un recipiente tapado por un émbolo móvil. En su exterior actúa sólo la presión atmosférica, así que, a medida que la temperatura desciende, la presión se mantendrá constante y el volumen irá descendiendo paulatinamente, de forma que, al alcanzar el cero absoluto, el volumen del gas ideal sería nulo.

## Calor específico

No todas las sustancias aumentan su temperatura igualmente al recibir la misma cantidad de calor. En la imagen adjunta vemos dos curvas de calentamiento de alcohol y agua que permiten ver claramente esta diferencia.

Llamamos **capacidad calorífica** de un cuerpo a la cantidad de calor que hay que darle para que su temperatura ascienda 1°C (se mide en cal/°C).

La capacidad depende tanto de la sustancia de que se trate, como de su masa. Por ello definimos el **calor específico** de un cuerpo como la capacidad calorífica de 1 g de ese cuerpo (se mide en cal/g°C).

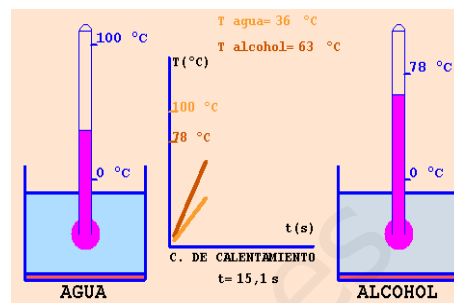
El calor específico sólo depende de la naturaleza del cuerpo. Llamando  $c$  a esta nueva magnitud, el calor  $Q$  que absorbe una masa  $m$  de un cuerpo cuando la temperatura pasa de un valor inicial  $T_0$  a otro valor  $T_f$  cumple esta condición:

$$Q = m \cdot c \cdot (T_f - T_0)$$

Así vemos que el calor absorbido ( $Q > 0$ ) o emitido ( $Q < 0$ ) por un cuerpo, depende de la masa del cuerpo, de la variación de la temperatura y de la naturaleza del cuerpo (a través del calor específico  $c$ ). El signo del calor viene dado por los valores de las temperaturas inicial y final.

El calor específico de una sustancia se determina con un aparato conocido como calorímetro, cuyo funcionamiento mostramos en la imagen de la derecha.

Una advertencia importante: En realidad, ni el calor específico de una sustancia es totalmente constante ni las curvas de calentamiento son absolutamente lineales. Sin embargo, en los ejercicios admitiremos que las sustancias con que trabajamos están en un intervalo de temperaturas en que la variación de su calor específico es despreciable.




En la escena superior vemos lo que ocurre al calentar agua y alcohol en iguales condiciones. Observamos que la temperatura del alcohol y el agua se van separando. Tienen diferente **calor específico**.

**EL CALORÍMETRO**

Es en realidad un termo dotado de termómetro que usamos para medir el calor específico de líquidos. Sólo necesitamos saber el **equivalente en agua** del aparato, es decir, qué masa de agua absorbería tanto calor como él al calentarse. Supondremos que es 100 g.

Termómetro



Termo

Calor empleado en el calorímetro:  
 $100 \cdot (20 - 17) = 384$  calorías  
 El líquido absorbe:  $Q = 2000 - 384 = 1615$   
 Y su calor específico será:  
 $c = \frac{Q}{m \cdot (T_f - T_0)} = \frac{1615}{600 \cdot (20 - 17)} = 0,70 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$

En la imagen superior se ilustra el uso de un calorímetro. Suponemos que en su interior hay 600g de una sustancia cuya temperatura asciende de 17°C a 20°C al recibir 1615 calorías. Observemos cómo se tiene en cuenta el calor absorbido por el mismo calorímetro.

# Calor y energía

## Buscando el equilibrio

Ya quedó establecido que la Naturaleza busca el equilibrio térmico. Entre dos cuerpos a diferente de temperatura pasa calor del más caliente al más frío hasta que se igualan las temperaturas.

La temperatura de equilibrio se verá afectada por el calor específico de las sustancias que intervienen. En la imagen adjunta se ve la diferencia entre dos casos aparentemente iguales. En los dos existe la misma cantidad de cada sustancia partiendo de la misma temperatura inicial (20°C el líquido verde y 80°C el cuerpo azul).

Sin embargo, en el primer caso la sustancia verde tiene un calor específico muy bajo, mientras en el segundo es la sustancia azul la que se encuentra en ese caso.

Si realizamos diversos experimentos con diferentes sustancias, masas y temperaturas, se llega a estas conclusiones:

- En todos los casos, la velocidad de transferencia de calor es mayor cuanto mayor es la diferencia de temperaturas. A medida que las temperaturas se aproximan, la transferencia de calor es más lenta.

- Si las masas y los calores específicos de las sustancias son iguales, la temperatura de equilibrio es el punto medio entre las dos temperaturas iniciales.

- Si los calores específicos son iguales y las masas son diferentes, la temperatura de equilibrio se desplaza hacia la temperatura de la sustancia de mayor masa.

- Si las masas son iguales y los calores específicos son diferentes, la temperatura de equilibrio se desplaza hacia la temperatura de la sustancia con mayor calor específico.

$m_1 \cdot c_1 \cdot (T_e - T_1) = - m_2 \cdot c_2 \cdot (T_e - T_2)$  donde  $T_e$  es la temperatura de equilibrio.

- Si tanto masa como calor específico son diferentes la situación es más compleja. Podemos comprobar que se respeta esta ecuación:



### EJERCICIOS RESUELTOS

Mezclamos 800 g de un líquido A de 0,80 cal/g°C de calor específico y temperatura inicial de 72°C con 600 g de agua a 57°C. ¿Cuánto vale la temperatura de equilibrio?

Solución.

Dado que la temperatura del líquido A es mayor que la del agua, su temperatura deberá descender, cediendo una cantidad de calor:

$Q = m \cdot c \cdot (T_e - T_{1A}) = 800 \cdot 0,80 \cdot (T_e - 72)$  Como la temperatura de equilibrio  $T_e$  será menor que la temperatura inicial, este calor será negativo.

Por otro lado, el agua absorberá un calor:  $Q' = 600 \cdot 1 \cdot (T_e - 57)$  (recordemos que el calor específico del agua es 1 cal/g°C). Este calor será positivo, pues la  $T_e$  será mayor que la temperatura inicial del agua.

Si no hay pérdidas al medio ambiente, se debe cumplir que  $Q' = -Q$  así que:

$600 \cdot 1 \cdot (T_e - 57) = 800 \cdot 0,80 \cdot (T_e - 72)$  de donde, despejando la temperatura de equilibrio:

$$T_e = 64,74^\circ\text{C}$$

Como vemos, este tipo de ejercicios se reduce a resolver la ecuación:

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (T_e - T_1) = - m_2 \cdot c_2 \cdot (T_e - T_2) \quad (1)$$

Este mismo tipo de planteamiento también puede emplearse para calcular el calor específico de un cuerpo, si se conoce el de otro. En ese caso se medirán en primer lugar las masas y temperaturas iniciales de los dos cuerpos, mediremos al final la temperatura de equilibrio y, a partir de la ecuación (1) podremos despejar el valor del calor específico buscado. Ese ha sido el planteamiento al explicar el funcionamiento del calorímetro, aunque en ese caso se tuvo en cuenta la pérdida de calor debida a la absorción por el propio aparato.

# Calor y energía

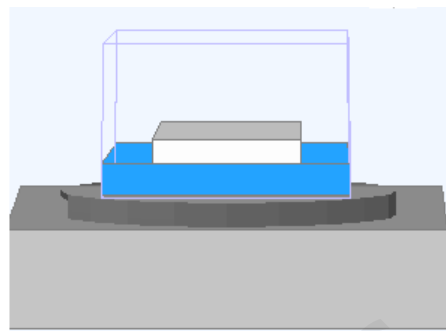
## Calor de cambio de estado

Sabemos que cuando un cuerpo se calienta hasta alcanzar su punto de fusión, el calor que reciba en adelante se emplea en cambiar de estado, no en aumentar su temperatura. Llamamos **calor latente de fusión** al calor que hay que dar a cada unidad de masa de una sustancia para que se funda, una vez alcanzada la temperatura adecuada. Tradicionalmente se mide en calorías por gramo (cal/g), aunque la unidad del SI sea J/kg.

Del mismo modo, llamamos **calor latente de ebullición** al calor que hay que dar a cada unidad de masa de una sustancia para que se evapore, una vez alcanzada la temperatura de ebullición. Se utilizan las mismas unidades que en el caso anterior.

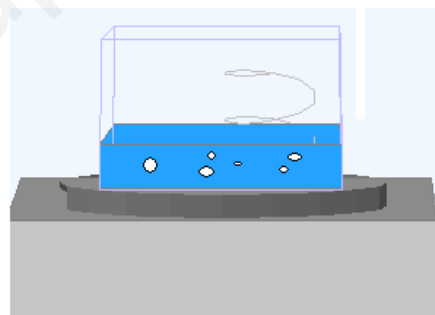
Es fácil encontrar tablas con los calores latentes de fusión y ebullición, aunque no es tan corriente encontrar el calor latente de sublimación. Veamos, a partir del ejemplo del agua, cómo podríamos determinarlo. El calor de fusión del agua es de 80 cal/g, su calor específico es 1 cal/g°C y su calor de ebullición es de 540 cal/g. Si disponemos de 1 g de hielo a 0 °C deberemos comunicarle 80 calorías, para elevarlo hasta 100 °C necesitaríamos 100 calorías más y, finalmente, con otras 540 calorías se evaporaría. Así pues, el calor de sublimación del hielo a 0°C es de 720 cal/g.

Es preciso realizar una advertencia: en la mayoría de las sustancias el punto de fusión y de solidificación coincide, pero no siempre es así. Del mismo modo, no en todos los casos es exactamente igual el calor de fusión y el de solidificación. Por simplicidad, en todos los ejercicios que realicemos en este nivel nos referiremos a casos en que cada punto de cambio de estado es igual en ambas direcciones, al igual que el calor latente de un cambio de estado y su inverso.



En la imagen superior, un bloque de hielo, dentro de un recipiente, se está fundiendo con el calor de un hornillo.

Mientras avanza la fusión, la temperatura del hielo permanece constante. Toda la energía se emplea en romper la estructura cristalina del sólido, liberando a las moléculas de agua de su posición rígida en la red.



Si después de la fusión seguimos calentando el agua hasta llegar a la ebullición, nuevamente la temperatura deja de crecer. Ahora las moléculas se están liberando de la atracción entre ellas que las confina al volumen del líquido para pasar al estado gaseoso. Mientras tanto, la temperatura del agua vuelve a permanecer constante.



### EJERCICIOS RESUELTOS

Un cuerpo de 700 g de masa tiene un calor específico de 0,9 cal/g°C y una temperatura inicial de 74°C.

Empleando un horno eléctrico logramos que en 5 minutos alcance los 135°C y empiece la ebullición que dura 9 minutos. Determinemos el calor latente de ebullición de ese cuerpo.

Solución

Para elevar la temperatura hasta el punto de ebullición ha hecho falta un calor de:

$$Q_1 = 900 \cdot 0,9 \cdot (135 - 74) = 38430 \text{ cal}$$

Así sabemos que el horno suministra cada minuto:  $38430/5 = 7686 \text{ cal/min}$

Como la ebullición ha durado 9 minutos, el calor que se habrá empleado en ese proceso es:

$$Q_2 = 7686 \cdot 9 = 69174 \text{ cal}$$

Sí que el calor latente de ebullición (por cada gramo) será:

$$c_{\text{eb}} = 69174/700 = 98,8 \text{ cal/g}$$

En esta solución hemos supuesto que no hay pérdidas del horno durante el proceso de ebullición ni durante el calentamiento de la sustancia. Esta es una situación ideal. En la práctica hay que tener en cuenta el equivalente en agua del recipiente, de forma parecida a como se hizo con el calorímetro para calcular el calor específico. Además el recipiente debería mantenerse a presión constante (para no alterar el punto de ebullición) y cerrado de forma que se impidiera la evaporación del líquido antes de llegar al punto de ebullición. Debemos entender que los ejercicios que realizamos en esta unidad son simplificaciones de procesos reales más complejos, con la intención de que adquiramos conceptos claros.

## 4. Equivalencia entre calor y energía

### La experiencia de Joule

Hasta ahora hemos utilizado la caloría para medir las transferencias de energía térmica. ¿A qué valor corresponde esta unidad en energía mecánica? Joule diseñó el complicado aparato que vemos a la derecha para medir este valor con este plan: Al caer la pesa, su energía potencial va disminuyendo transmitiéndose al agua mediante el movimiento de las palas. El agua la acumula como energía térmica, lo que se traduce en un aumento de la temperatura.

De esta forma, la energía potencial perdida por la pesa se convertirá en calor:

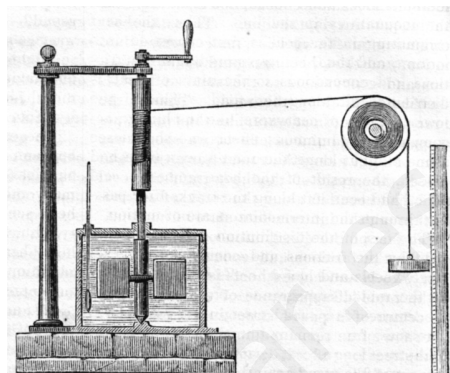
$$\text{masa(pesa)} \cdot g \cdot h = \text{masa(agua)} \cdot (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}) \cdot K$$

Donde el factor K es el número de julios que tiene una caloría (**equivalente mecánico del calor**) y que se puede calcular con facilidad al conocer todos los restantes datos. Invitamos al lector a que calcule este equivalente para diversos valores de la masa de la pesa y la cantidad de agua. Siempre obtendremos el valor **K = 4,18 cal/J**.

$$1 \text{ caloría} = 4,18 \text{ julios}$$

Esta conversión permitía refinar los cálculos necesarios para las máquinas que se iban desarrollando en plena era industrial, además de ser fundamental para justificar el principio de conservación de la energía, del que ya hemos hablado en la quincena anterior.

A partir de este momento se pudo estudiar la eficacia con que las máquinas térmicas convertían el calor obtenido de un combustible en trabajo útil. De forma inversa, la relación de Joule también dio pie para medir el efecto enfriador de los aparatos frigoríficos, que convierten calor en otra forma de energía, robando energía térmica a los cuerpos que deseamos enfriar.



Montaje de Joule según *Harper's New Monthly Magazine*, No. 231, agosto, 1869.

La manivela permite elevar la pesa hasta la altura deseada, que podemos medir por la regla de la derecha.

El sistema de rotor con palas es el que transmite la energía mecánica de la pesa al agua, transformándose en aumento de su energía térmica, es decir en calor. La transferencia de energía se mide por el termómetro que mide la temperatura del agua. El montaje debe ser muy preciso y extremadamente bien lubricado, para impedir que haya pérdidas apreciables de energía por rozamiento en el hilo y los rotores. Además la pesa debe bajar lentamente, para que también sea despreciable la energía cinética adquirida por la polea. Con posterioridad al experimento de Joule se han intentado otros procedimientos para medir conversión de energía en calor, por ejemplo a partir de energía eléctrica. En todos los casos se ha podido verificar la certeza del factor de conversión de Joule.

### EJERCICIOS RESUELTOS

1.- Una máquina de Joule se emplea para calentar 500 g de agua que poseen una temperatura inicial de 20°C. La pesa debe caer desde una altura de 2 m. ¿Cuánto debe valer su masa para que la temperatura del agua sea finalmente de 21°C?

Solución

El agua ha recibido una cantidad de calor:  $Q = 500 \cdot 1 \cdot (21-20) = 500$  calorías que equivalen a:

$$500 \cdot 4,18 = 2090 \text{ J}$$

Esta energía se ha extraído de la energía potencial de la pesa:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = m \cdot 9,8 \cdot 2 = 19,6 \cdot m = 2090 \text{ J} \text{ De forma que la masa de la pesa:}$$

$$m = 2090 / 19,6 = \mathbf{106,63 \text{ kg}}$$

Como vemos, hace falta una masa considerable en la pesa para que se produzca una subida apreciable en la temperatura del agua. Si utilizamos una masa mucho más pequeña de agua, las pérdidas de calor por transmisión a otras partes de la máquina no serían despreciables.

2.- Un trineo de 200 kg de masa desciende, partiendo del reposo, por una pendiente de hielo de 80 m de desnivel. Al alcanzar el llano, su velocidad es de 11,11 m/s. Calculemos las calorías que se han producido.

Solución.

$$\text{La energía del trineo en la parte superior es: } E_p = m \cdot g \cdot h = 156800 \text{ J}$$

$$\text{La energía cinética al pie de la pendiente es: } E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = 12357,37 \text{ J}$$

La energía perdida (convertida en calor) es:  $Q = 144442,63 \text{ J} = 34555,65 \text{ cal}$  donde hemos aplicado el factor de conversión de Joule ( $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ ).

Observamos que es posible extraer notables cantidades de calor a partir de una fuente fría como el trineo deslizando sobre el hielo. Fue este hecho de la conversión del trabajo de fricción en calor el factor decisivo para abandonar la idea del calor como un fluido que se almacenaba en los cuerpos calientes.

# Calor y energía

## Fricción y calor

En el experimento de Joule la energía mecánica de la pesa era convertida en calor debido a la resistencia del agua.

Del mismo modo, el rozamiento de un cuerpo con el suelo le resta energía cinética para convertirla en calor. En la escena adjunta, la fricción del aire puede frenar progresivamente el movimiento de caída de un cuerpo.

En general, las fricciones entre cuerpos, ya sea debida al rozamiento entre superficies o a la oposición de los fluidos al movimiento de objetos en su interior, son formas comunes de convertir energía mecánica en calor, aunque no las únicas (en los circuitos eléctricos, la resistencia juega el mismo papel).



## EJERCICIOS RESUELTOS

Debido a la resistencia del aire, un cuerpo de 100 kg de masa en caída libre y vertical hacia la Tierra, no puede alcanzar más de 150 m/s de velocidad. Calculemos la cantidad de calorías que se disipan cada segundo.

Solución

Si la caída es vertical, cada segundo se descienden 150 m y, por tanto, se pierde una energía potencial:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 100 \cdot 9,8 \cdot 150 = 147.000 \text{ J}$$

Esa es la energía convertida en calor y que producirá:

$$Q = 35.167,46 \text{ cal cada segundo.}$$

Debido a este calor, la temperatura del cuerpo se elevará hasta la incandescencia en poco tiempo convirtiéndose en una estrella fugaz o un bólido. La mayoría de los cuerpos que caen de esta forma se volatilizan en la atmósfera. Sólo los más grandes y consistentes alcanzan la superficie terrestre (los meteoritos).

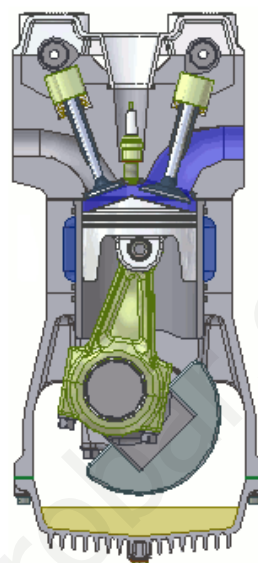
## Máquinas y calor

En la quincena anterior ya aprendimos que, si bien toda la energía mecánica de un cuerpo se puede convertir en calor, no es posible convertir el calor íntegramente en energía mecánica.

Aún así, gran parte de las máquinas de nuestra sociedad actual actúan convirtiendo parte del calor que se obtiene de una reacción química (la combustión) en energía mecánica. A la derecha vemos un motor de cuatro tiempos: Admisión de combustible, compresión, combustión, expansión y escape de gases quemados.

El rendimiento cualquier máquina térmica viene limitado por la temperatura absoluta  $T_1$  a la que absorbe calor y la temperatura absoluta  $T_2$  de los gases de escape. En el mundo real no podemos alcanzar el rendimiento del caso ideal:

$$\text{Rendimiento} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$



### EJERCICIOS RESUELTOS

Un motor consume 7 litros cada hora de un combustible que produce 15.000.000 cal por cada litro. La potencia útil del motor es de 11667 w. ¿Qué rendimiento tiene el motor?

Solución

Como cada hora se consumen 7 litros de combustible, en ese tiempo se producen:

$$Q = 7 \cdot 15.000.000 = 105.000.000 \text{ cal}$$

Y en julios, corresponden a: 438.900.000 J

De ellos cada segundo se habrá producido:  $438.900.000 / 3600 = 121916,66 \text{ J}$

Comparando con la potencia útil sacamos el rendimiento:

$$R = 11667 / 121916,66 = 0,4 \text{ equivalente al } \mathbf{40\%}$$

Aunque este rendimiento no parezca muy alto, la mayoría de las máquinas térmicas poseen rendimientos sensiblemente más bajos, del orden del 20-30%, a pesar de las continuas mejoras técnicas. El aprovechamiento de la energía térmica no es de los más eficientes.



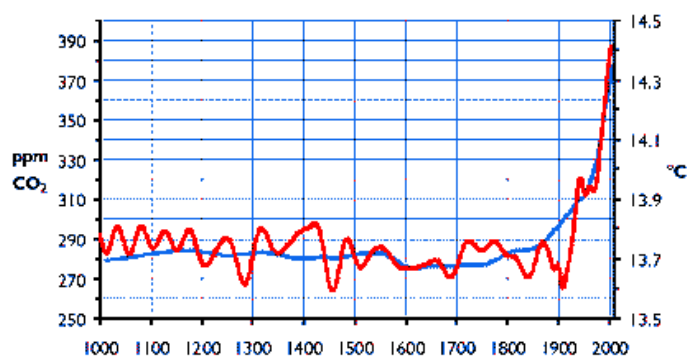
## Para practicar

1. En un termómetro leemos una temperatura de 300 K. ¿A qué equivale este valor en la escala Celsius y en la escala Fahrenheit?
2. El hombre está cómodo hasta la temperatura de 30°C. Si en un termómetro leemos que la temperatura es de 90°F, ¿nos sentiremos cómodos?
3. Un cuerpo tiene 200 g de masa y una temperatura de 19°C. Absorbiendo 4407 cal, alcanza los 50°C. ¿Cuál es su calor específico?
4. Cuando mezclamos 208 g de un líquido a 25°C con 205 g de agua a 69°C. La temperatura de equilibrio resulta ser 51,9°C. ¿Qué calor específico tiene el líquido?
5. Una sustancia de masa 344 g y un calor específico de 0,1 cal/g°C está a la temperatura de 2°C. Calcula el calor necesario para que su temperatura alcance los 13°C.
6. Un sólido de 516 g de masa y 0,1 cal/g°C de calor específico se calienta desde los 35°C hasta que se ha fundido totalmente a la temperatura de 86°C.
7. Mezclamos 584 g de una sustancia de calor específico 0,54 cal/g°C, a la temperatura de 77°C, con 451 g de otra sustancia, de calor específico 0,36 cal/g°C y 55°C de temperatura. Determina la temperatura de equilibrio de la mezcla.
8. Mezclamos 552 g de una sustancia líquida de calor específico 0,13 cal/g°C y 17°C de temperatura con 106,65 g de la misma sustancia pero en estado sólido a la temperatura de fusión del cuerpo (6°C) Sabiendo que el calor de fusión es de 50 cal/g, calcular la cantidad de sólido en el momento del equilibrio.
9. Una grúa debe subir un peso de 1300 kg a 44 m de altura. Su motor, del 11% de rendimiento, utiliza un combustible que produce 632476 cal por cada litro. ¿Cuántos litros de combustible ha consumido?
10. Un motor tiene una potencia de 70 kw y un rendimiento del 55%. Determina cuánto calor cede al ambiente en cada hora de trabajo.
11. Un hornillo tarda 10 minutos en fundir totalmente un bloque de 0,75 kg de hielo a 0°C. ¿Cuánto calor cede el hornillo cada segundo? (calor de fusión del hielo 80cal/g)
12. Lanzamos un bloque de madera de 2 kg de masa sobre una superficie metálica. La velocidad inicial del bloque es de 10 m/s y tarda 10 s en detenerse por el rozamiento. ¿Cuánto calor (en calorías) se produce por el rozamiento cada segundo?
13. Con cierto mechero logramos subir la temperatura de 100 g de agua desde 46°C hasta la temperatura de ebullición en 3 minutos ¿Cuánto tiempo tardará en hervir todo el agua?
14. Un cuerpo tiene 1000 g de masa y una temperatura de 20°C. Recibe 83600 J de energía para alcanzar los 40°C. ¿Cuál es su calor específico?
15. Una máquina funciona tomando calor a 327 °C, pero sus gases de escape salen a 27 °C. ¿Cuánta energía se pierde al producir un trabajo útil de 1000 J?



## Para saber más

### El calentamiento global



La inquietante gráfica superior representa la temperatura media de la superficie terrestre (en rojo) y la presencia de dióxido de carbono en la atmósfera a lo largo del último milenio. (en azul). Es innegable la tendencia durante el último siglo a crecer ambas magnitudes. Si continúa el proceso, pueden producirse efectos nocivos para el equilibrio ecológico y para el sostenimiento de nuestra sociedad actual. Para comprender este fenómeno debemos preguntarnos:

→ ¿A qué se debe que la Tierra tenga una temperatura media determinada?

→ ¿Qué es el efecto invernadero?

→ ¿Por qué aumenta el dióxido de carbono en la atmósfera?

#### ¿A qué se debe que la Tierra tenga una temperatura media determinada?

Todos los cuerpos emiten energía radiante por estar a cierta temperatura. El Sol, con una superficie a 6000 K emite un gran caudal de energía. Como todos los cuerpos tienden al equilibrio térmico, la Tierra, al recibir la energía radiada por el Sol, adquiere la suficiente temperatura para emitir tanta energía como recibe. Ahora bien la energía que emitimos, depende de la temperatura y de un coeficiente propio de cada cuerpo (Ley de Stephan-Boltzman). Esta ley se expresa así:  $E = s \cdot T^4$  donde T es la temperatura absoluta y s es el coeficiente propio del cuerpo emisor.

#### ¿Qué es el efecto invernadero?

Consiste en que la presencia de ciertos gases como el dióxido de carbono en la atmósfera dificulta la emisión de radiación infrarroja, disminuyendo de hecho la constante de emisión de radiación de la Tierra. Para mantener el equilibrio con la radiación proveniente del Sol, el planeta aumenta su temperatura. En el último siglo parece haberlo hecho en cerca de 1°C, pero el proceso se va acelerando, a medida que aumenta el dióxido de carbono atmosférico como vemos en el gráfico inicial.

Más datos en la dirección:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_invernadero](http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_invernadero)

#### ¿Por qué aumenta el dióxido de carbono?

El consumo de combustibles fósiles produce enormes cantidades de dióxido de carbono que potencia el efecto invernadero. Una organización internacional, el **IPPC**, trata de analizar a fondo el problema y proponer soluciones globales. Podemos consultar esta dirección:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Países\\_por\\_emisiones\\_de\\_dióxido\\_de\\_carbono](http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Países_por_emisiones_de_dióxido_de_carbono)



## Recuerda lo más importante

### La energía térmica

Es una forma de energía interna de los cuerpos debida a la agitación de las partículas que los componen.

### La temperatura

Es la magnitud que nos permite distinguir entre cuerpos calientes y fríos. Es una función de la energía térmica media de las partículas que componen un cuerpo.

### El calor

Las variaciones de la energía térmica de los cuerpos se denominan calor. Cuando un cuerpo absorbe calor (variación positiva) aumenta su energía térmica. Cuando el cuerpo emite calor (variación negativa) disminuye su energía térmica.

### El equilibrio térmico

Cuando dos cuerpos próximos poseen diferente temperatura, intercambian calor hasta que sus temperaturas se igualan.

### Transmisión del calor

El calor se puede transmitir mediante: conducción (intercambio directo de energía por choque de partículas), convección (mezcla de partículas de diferentes temperaturas), radiación (propagación mediante ondas)

### Efectos del calor

- **La dilatación de los cuerpos:** Al variar la temperatura, los cuerpos se alteran sus dimensiones, generalmente de acuerdo con la expresión:  $L = L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$  donde  $\alpha$ , coeficiente de dilatación lineal, depende de la naturaleza del cuerpo. También existe dilatación superficial (coeficiente  $\beta = 2 \cdot \alpha$ ) y cúbica (con coeficiente  $\gamma = 3 \cdot \alpha$ ). Un caso de dilatación anómala lo ofrece el agua, que tiene su volumen mínimo a 4°C de temperatura.

- **El cambio de estado.** A determinadas temperaturas (puntos de cambio de estado), el calor recibido por una sustancia se emplea en variar su estructura interna, cambiando de estado sin variar su temperatura. Estos puntos dependen de condiciones externas como la presión atmosférica.

### Las escalas termométricas

La escala más utilizada es la Celsius en la que damos el valor 0°C al punto de fusión del hielo y el 100°C al de ebullición del agua.

En la escala absoluta Kelvin el origen es el cero absoluto, la temperatura más baja posible, cuyo valor es -273°C. De esta forma la temperatura absoluta es:

$$T \text{ kelvin} = T \text{ celsius} + 273$$

La escala Kelvin es la adoptada en el Sistema Internacional de Unidades.

Otras escalas son la Fahrenheit y la Réaumur.

**Midiendo el calor** Llamamos caloría al calor necesario para que 1 g de agua aumente 1°C su temperatura. Llamamos calor específico de una sustancia al calor necesario para que 1 g de dicha sustancia aumente 1°C su temperatura. El calor que gana o pierde un cuerpo de masa  $m$  y calor específico  $c$ , si la temperatura pasa de  $T_1$  a  $T_2$  es:

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1).$$

Llamamos **calor latente de cambio de estado** al calor necesario para que 1 g de una sustancia pase de un estado a otro cuando se encuentra a la temperatura apropiada.

### Equivalente mecánico del calor

Joule demostró que **1 cal = 4,18 J**. La energía mecánica de un cuerpo se puede transformar íntegramente en calor de acuerdo con esa ley. Un vehículo para esta transformación es en muchos casos la fuerza de fricción que se opone al movimiento de un cuerpo sobre o en el seno de otro.

### Las máquinas térmicas

En ellas se transforma calor en trabajo mecánico. Es imposible el rendimiento del 100%.



## Autoevaluación



1. Cuatro termómetros marcan respectivamente: 1) 86K, 2) 220 °C, 3) 224 °F, 4) 39 °R. ¿En cuál es mayor la temperatura?
2. ¿Qué cantidad de calor hay que darle a 500 g de agua para que pase de 17 a 70 °C.
3. Cierta gas está a 14 °C de temperatura. Si se duplica la energía de sus moléculas, calcula cuál será su nueva temperatura en grados centígrados.
4. Comunicando 5000 cal a cierto cuerpo de 500 g de masa su temperatura aumenta 18 °C. Determina su calor específico.
5. ¿Qué cantidad de calor hay que comunicarle a 500 g de hielo a 0 °C para convertirlo en agua líquida a 14 °C? (calor de fusión del hielo: 80 cal/g).
6. Para hervir totalmente 550 g de agua a 100 °C necesitamos 290.000 cal. Determina el calor latente de ebullición del agua.
7. Un objeto metálico de forma cúbica aumente su volumen un 7% cuando su temperatura aumenta 70 °C. Determina su coeficiente de dilatación lineal.
8. Mezclamos 800 g de un líquido de 0,31 cal/g°C de calor específico y 78 °C de temperatura con 200 g de agua a 12 °C. ¿Cuál es la temperatura de equilibrio?
9. 120 g de hielo a 0 °C se mezclan con 46 g de agua líquida a 48 °C. Determina cuánto hielo queda sin fundir al alcanzar el equilibrio.
10. En una máquina el combustible produce 110.000 cal a la temperatura de 807 °C. Los gases de escape salen de la máquina a 265 °C. Determinar el máximo de trabajo útil que se ha podido producir.

## Soluciones de los ejercicios para practicar

1. 27°C, 80,6°F
2. No porque  $90\text{ °F} = 32,2\text{ °C}$
3. 0,7 cal/g°C
4. 0,62 cal/g°C
5. 378,4 cal
6. 89835,6 cal
7. 69,44 °C
8. 90g de sólido
9. 1,9 l
10.  $4,93 \cdot 10^7$  cal
11. 100 cal
12. 2,39 cal
13. 30 minutos
14. 1 cal/g°C
15. 1000 J

### Soluciones AUTOEVALUACIÓN

1. 2
2. 26.500 cal
3. 301 °C
4. 0,53 cal/g°C
5. 47.000 cal
6. 540 cal/g
7.  $0,00033\text{ °C}^{-1}$
8. 48,77 °C
9. 92,4 g
10. 308.320 J

No olvides enviar las actividades al tutor ►

## ACTIVIDADES DE ESO

Nombre y apellidos del alumno:	Curso: 4º
Quincena nº: 7	Materia: Física y Química
Fecha:	Profesor de la materia:

- 1.-** Un bloque de hielo de 100 g se calienta desde  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Su calor específico es  $0,8\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$  y su calor de fusión es  $80\text{ cal/g}$ .
- ¿Qué calor se necesita para llevarlo a los  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
  - ¿Qué calor se necesita para fundirlo?
  - ¿Y para subir después la temperatura a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
- 2.-** Un gas se encuentra a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , si aumentamos su temperatura hasta que la energía de sus partículas aumente un  $50\%$ , ¿Cuál es su temperatura final?:
- En la escala Kelvin
  - En la escala Celsius
- 3.-** Un cuerpo de forma cúbica tiene una arista de  $20\text{ cm}$ . Si al elevar la temperatura  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la arista se ha dilatado un  $5\%$
- ¿Cuánto vale su coeficiente de dilatación lineal?
  - ¿Y su coeficiente de dilatación cúbica?
  - ¿Cuánto vale su volumen al final?
- 4.-** En un termo perfecto introducimos  $200\text{ g}$  de cierto líquido a la temperatura de  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $100\text{ g}$  de agua a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La temperatura de equilibrio se produce a los  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- ¿Valor del calor específico del líquido?
  - ¿Valor del calor que ha cedido al agua?