

MATERIAL 5 FÍSICA.

Calor y Temperatura I

Hemos estudiado el comportamiento de sistemas en reposo y en movimiento. Las magnitudes fundamentales de masa, longitud y tiempo se analizaron para describir el estado de un sistema determinado.

Considere por ejemplo, un bloque de 10 kg que se mueve con una velocidad constante de 20 m/s. Los parámetros masa, longitud y tiempo están presentes y son suficiente para describir el movimiento. Podemos hablar del peso del bloque, de su energía cinética o de su momentum lineal, pero una descripción más completa de un sistema requiere algo más que una simple descripción de esas cantidades. Esto se hace patente cuando nuestro bloque de 10 kg encuentra fuerza de fricción. Mientras que el bloque frena, la energía mecánica disminuye. El bloque y la superficie están más calientes, lo que implica que su temperatura se eleva. En esta guía se presenta el concepto de temperatura como la cuarta magnitud fundamental.

Temperatura

La temperatura es una magnitud fundamental y escalar que nos dice cuan caliente o frío es algo respecto de cierta referencia. Esta cantidad está asociada con el movimiento de las moléculas que componen dicha sustancia. Si estas se encuentran a mayor o menor velocidad promedio, será mayor o menor su temperatura respectivamente.

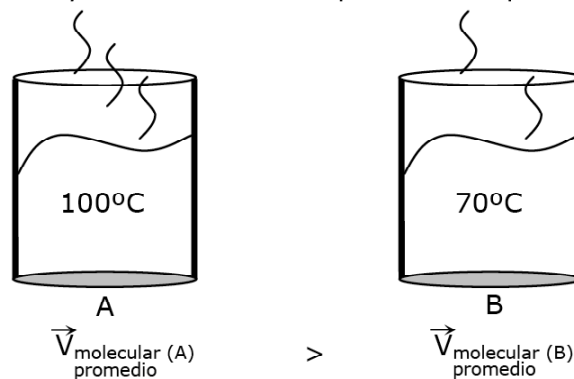


fig. 1

Calor

Suponga que tuviésemos dos cuerpos con distinta temperatura, uno en contacto con el otro y lejos de influencias externas (aislados). El cuerpo más caliente se iría enfriando, mientras que el más frío se iría calentando. La energía que se transfiere desde un objeto a otro debido a una diferencia de temperatura se llama calor. Cuando los cuerpos alcanzan la misma temperatura, el calor deja de fluir entre ellos y decimos que están en **equilibrio térmico**.

Termómetros

La comparación de las temperaturas de los cuerpos por medio del tacto sólo proporciona una idea cualitativa de dichas cantidades. Para que la temperatura pueda considerarse una cantidad física es necesario que podamos medirla, a fin de que se tenga un concepto cuantitativo de la misma.

Termómetros Líquidos

En nuestro estudio consideraremos el termómetro más común, el cual relaciona la temperatura con la altura de una columna de líquido en el interior de un tubo capilar de vidrio. En este termómetro, las variaciones en la temperatura producen dilataciones o contracciones del líquido, haciendo subir o bajar la columna. Así a cada altura de la columna podemos asignarle un número, el cual corresponde a la temperatura que determinó dicha altura.

El líquido que más se emplea en este tipo de termómetro es el mercurio debido a las siguientes características:

- sus puntos límites, bastante separados (-39°C y 357°C) determinan un amplio margen de temperaturas medibles;
- su dilatación es bastante regular, lo que favorece la precisión del instrumento;
- tiene baja capacidad calórica, es decir, con una pequeña cantidad de calor su temperatura se eleva apreciable y rápidamente;
- es fácil de obtener químicamente puro;
- no moja al vidrio, por lo cual no influye la capilaridad del tubo.

Termómetro Clínico. Está destinado a registrar la máxima temperatura del cuerpo humano, este objetivo se logra mediante un estrangulamiento del tubo capilar inmediatamente por encima del bulbo, el cual impide que el mercurio baje cuando la temperatura empieza a disminuir, luego de alcanzado su valor máximo. Una vez usado este termómetro es necesario hacer volver el mercurio al bulbo agitando con fuerza el tubo

Otros tipos de termómetros

Termómetros de Gas: Se basan en la variación de la presión y del volumen de los gases, ofrecen medidas de alta precisión en amplios intervalos de temperatura (-263°C a 1000°C).

Termómetros de Resistencia eléctrica: Ofrecen alta precisión, algunos usan semiconductores (germanio), son los más recomendados para medir temperaturas muy bajas ($0,2\text{ K}$ a 50 K).

Termómetros de Radiación (pirómetro óptico): Se basan en la medida de la energía irradiada por un cuerpo, la cual depende de la temperatura. La corriente eléctrica en el filamento se altera hasta que objeto y filamento aparecen igualmente brillantes.

Termómetros Bimetálicos: Se basan en el encurvamiento de láminas bimetálicas al ser calentadas. Se usan como termostatos (instrumentos destinados a regular la temperatura de un recinto).

Termómetros de cristal líquido: Se usan para medir diversas temperaturas, ya que en cada una de ellas su color se modifica, es decir, están basadas en los cambios de color (tiras para bebe).

Escalas termométricas

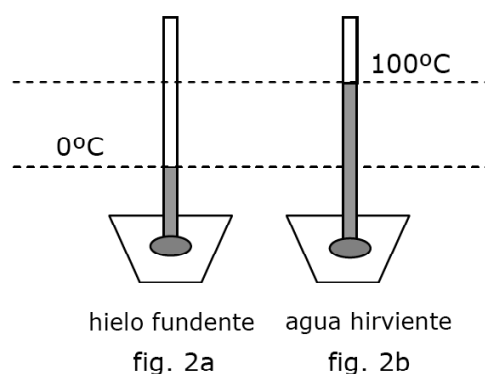
Escala Celsius

Para que podamos medir temperaturas es necesario graduar el termómetro, es decir, señalar las divisiones y asignarles números. Cuando procedemos de esta manera estamos construyendo una escala termométrica.

En la construcción de determinada escala termométrica se adoptan ciertas convenciones. Debido a que son arbitrarias a través de los años fueron surgiendo varias escalas termométricas en muchos países. Naturalmente, esta diversidad de escalas traía consigo una serie de inconvenientes para el trabajo científico. Para acabar con estas dificultades, los físicos sugirieron la adopción de una escala única, basada en las convenciones internacionales: la escala Celsius (anteriormente llamada centígrada), que en la actualidad ha sido adoptada en casi todos los países del mundo.

El conjunto de convenciones empleadas para graduar un termómetro en la escala Celsius es el siguiente:

1. Se introduce el termómetro en una mezcla de hielo y agua en equilibrio térmico (hielo fundente) a la presión de 1 atm. Se espera hasta que el termómetro entre en equilibrio térmico con la mezcla, momento en que se estabiliza la altura de la columna líquida. Se marca cero en el extremo de la columna (figura 2a). Así, podemos decir que la temperatura del hielo en el estado de fusión (a la presión de 1 atm) es cero grados Celsius, y se escribe 0°C .
2. Después, el termómetro se introduce en agua hirviente, o en ebullición a la presión de 1 atm. En el punto en que la columna líquida se estabiliza, se marca 100. Entonces podemos decir que la temperatura del agua hirviente (a la presión de 1 atm) es de 100 grados Celsius, y se escribe 100°C (figura 2b).
3. Se divide el intervalo entre 0°C y 100°C en 100 partes iguales, extendiendo la graduación tanto hacia arriba de 100°C , como debajo de 0°C . Cada intervalo entre dos divisiones sucesivas (el tamaño de 1°C) corresponde a una variación de temperatura que se representa por $\Delta(1^{\circ}\text{C})$.



Una vez realizadas estas operaciones, el termómetro estará listo para proporcionar en la escala Celsius, la temperatura de un cuerpo con el cual haya entrado en equilibrio térmico.

Escala Kelvin

Otra escala que se emplea universalmente, sobre todo en los medios científicos, fue la propuesta por el gran físico inglés Lord Kelvin (1824 – 1907), a la cual se le ha dado el nombre de escala de Kelvin o escala absoluta.

La idea de proponer esta escala surgió de las discusiones relacionadas con las temperaturas máximas y mínimas que puede alcanzar un cuerpo. Se comprobó que teóricamente no hay un límite superior para la temperatura que puede alcanzar un objeto. Pero se observa que existe un límite natural cuando se intenta bajar la temperatura. Los estudios realizados en los grandes laboratorios de diversos países, ponen de manifiesto que es imposible una temperatura inferior a $-273,16^{\circ}\text{C}$. Esta temperatura se denomina cero absoluto.

En realidad, el cero absoluto es una temperatura límite que no se puede alcanzar, y por ello sólo se han obtenido valores muy próximos a ella. Entonces

El límite inferior para la temperatura de un cuerpo es $-273,16^{\circ}\text{C}$. Esta temperatura recibe el nombre de cero absoluto.

Es importante mencionar que los grados de la escala Kelvin son del mismo tamaño que los de la escala Celsius.

De modo general, designando por T_K la temperatura Kelvin, y por T_C la temperatura Celsius correspondiente, es fácil concluir, si observamos la figura 3 que,

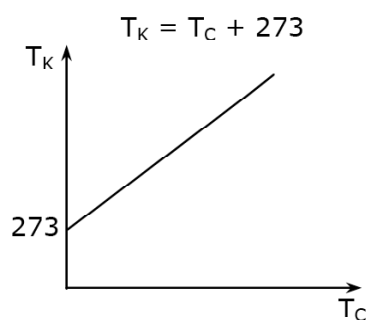
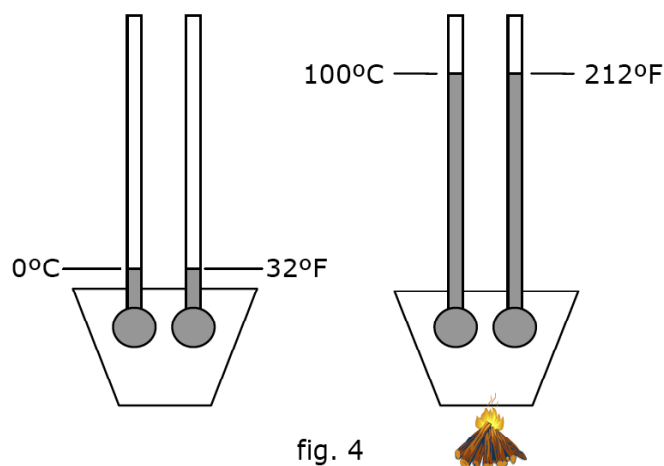


fig. 3

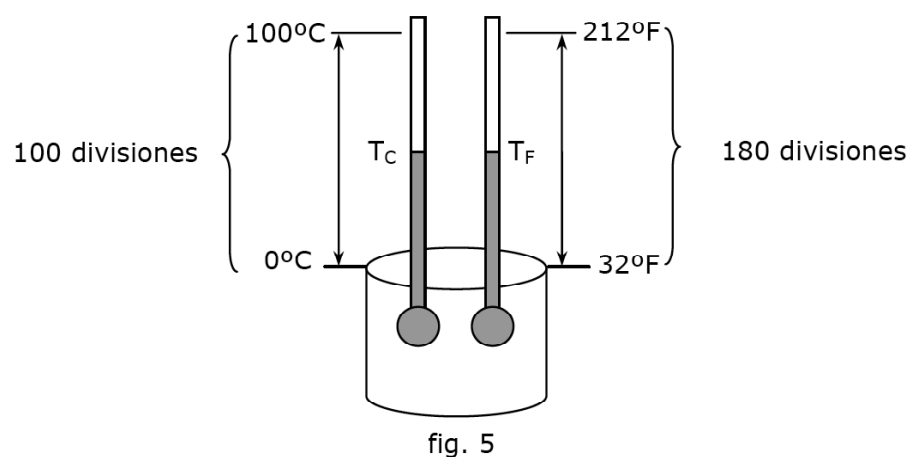
Nota: si observamos la pendiente de la recta en la figura 3 es 1, lo cual implica $\Delta^{\circ}\text{T}_C = \Delta\text{T}_K$. Además debes tener en cuenta que por efectos de cálculo se aproxima el cero absoluto a -273°C .

Escala Fahrenheit

Otra escala para medir la temperatura fue desarrollada en 1714 por Gabriel Daniel Fahrenheit. El desarrollo de esta escala se basó en la elección de ciertos puntos fijos. Fahrenheit escogió la temperatura de la solución del agua salada como su punto fijo inferior y le asignó el número y unidad 0 °F. Para el punto fijo superior eligió la temperatura del cuerpo humano. Por alguna razón inexplicable, el designó el número de la unidad 96 °F para la temperatura del cuerpo. El hecho de que la temperatura del cuerpo humano sea en realidad de 98,6 °F indica que se cometió un error experimental al establecer la escala. Si relacionamos la escala Fahrenheit con los puntos fijos aceptados universalmente para la escala Celsius, observemos que 0 y 100 °C corresponden a 32 y 212 °F respectivamente. Suponga que fabricamos dos termómetros sin graduar y los colocamos en una mezcla de hielo y agua, como lo indica la figura 4. Después de permitir que las columnas de mercurio se estabilicen, marcamos 0 °C en uno de los termómetros y 32 °F en el otro. A continuación, colocamos los dos termómetros directamente sobre el agua hirviendo, permitiendo que las columnas de mercurio se estabilicen en el punto de vapor.



En la figura 5 los símbolos T_C y T_F representan la misma temperatura (la temperatura del agua), pero en diferentes escalas. Resulta obvio que la diferencia entre T_C y 0 °C corresponde al mismo intervalo que la diferencia entre T_F y 32 °F.



El cociente del primero entre 100 divisiones debe ser igual al cociente del último entre 180 divisiones. Así tendremos que

$$\frac{T_C - 0}{100} = \frac{T_F - 32}{180}$$

Simplificando y despejando T_C , obtenemos

$$T_C = \frac{5}{9} (T_F - 32)$$

o despejando T_F

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32$$

En la figura 6 se muestra el comportamiento gráfico entre ambas escalas

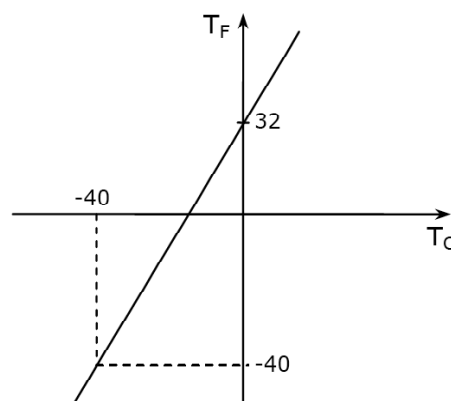


fig. 6

Nota: como la pendiente de la recta no es unitaria, implica que las variaciones de temperatura en la escala Celsius no son las mismas que en la escala Fahrenheit $\Delta(1^\circ\text{C}) \neq \Delta(1^\circ\text{F})$. Para encontrar las variaciones se usa

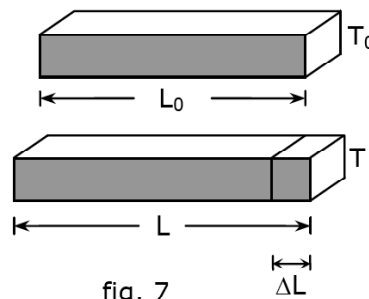
$$\frac{\Delta^\circ\text{TF}}{\Delta^\circ\text{TC}} = \frac{9}{5}$$

Dilatación

Un hecho muy conocido es que las dimensiones de los cuerpos aumentan cuando se eleva su temperatura. Salvo algunas excepciones, todos los cuerpos, independientemente de que sean sólidos, líquidos o gaseosos, se dilatan cuando aumenta su temperatura.

Dilatación lineal

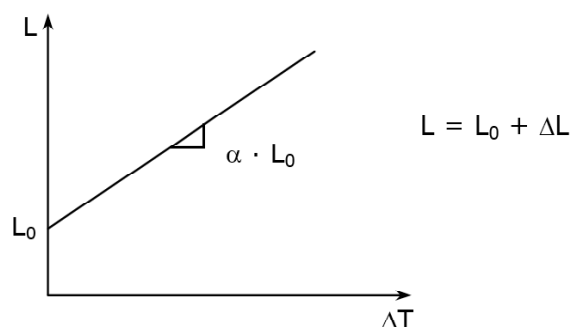
Al tomar una barra de cierta temperatura y calentarla, se producirá un aumento en todas su dimensiones lineales, o sea, aumentará su longitud, su altura, su ancho, o la dimensión de cualquier otra línea que imaginemos trazada en la barra. En un laboratorio podemos descubrir experimentalmente que factores influirán en la dilatación de cualquiera de esas líneas. Consideremos, por ejemplo, que L_0 es longitud inicial de una barra, a una temperatura T_0 , si elevamos la temperatura de la barra a T , su longitud se vuelve L . Entonces, una variación de temperatura $\Delta T = T - T_0$ produjo una dilatación $\Delta L = L - L_0$ en la longitud de la barra (figura 7).



Al hacer varias mediciones de ΔT y ΔL para las barras de diferente longitud (diversos valores de L_0), es posible concluir que la dilatación (ΔL) depende de la longitud inicial (L_0), del aumento de temperatura (ΔT) y del coeficiente de dilatación lineal (α).

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

Un comportamiento gráfico del largo total de la barra (L) en función de las variaciones de temperatura (ΔT), se muestra en la figura 8.



Coefficiente de dilatación lineal	
Sustancia	$\alpha(^{\circ}\text{C}^{-1})$
Aluminio	23×10^{-6}
Cobre	17×10^{-6}
Invar	$0,7 \times 10^{-6}$
Vidrio Común	9×10^{-6}
Cinc	25×10^{-6}
Vidrio Pyrex	$3,2 \times 10^{-6}$
Tungsteno	4×10^{-6}
Plomo	29×10^{-6}
Sílice	$0,4 \times 10^{-6}$
Acero	11×10^{-6}
Diamante	$0,9 \times 10^{-6}$

Si efectuamos experimentos con barras de distinto material, se comprueba que el valor de α es distinto. Esto se puede comprender recordando que las fuerzas que unen a los átomos y a las moléculas varían de una sustancia a otra, haciendo que se dilaten de distinta manera. La Tabla proporciona los coeficientes de dilatación lineal de algunas sustancias.

Para analizar el significado físico del coeficiente de dilatación lineal, veamos el cobre con $\alpha = 17 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Lo que significa que una barra de cobre de 1 m de longitud, aumenta 17×10^{-6} m cuando su temperatura se eleva en 1 $^{\circ}\text{C}$.

Dilatación superficial y volumétrica

En el aumento del área de un objeto producido por una variación de temperatura, se observan las mismas leyes de la dilatación lineal. Al considerar una superficie inicial A_0 y elevar su temperatura en ΔT , el área sufre una dilatación ΔA .

$$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta T$$

donde $\beta = 2 \cdot \alpha$, y se denomina coeficiente de dilatación superficial.

De manera equivalente se analiza la variación de volumen de un cuerpo que inicialmente posee un volumen V_0 y ante una variación de temperatura ΔT , su volumen aumentará en ΔV .

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

donde $\gamma = 3 \cdot \alpha$, y se denomina coeficiente de dilatación volumétrica.

Dilatación irregular del agua

El agua, es una sustancia que presenta una irregularidad en su dilatación. Cuando la temperatura del agua aumenta entre 0°C y 4°C , su volumen disminuye. Al hacer que su temperatura se eleve a más de 4°C , el agua se dilatará normalmente. El diagrama volumen v/s temperatura para el agua tiene, entonces, el aspecto que muestra la figura 9. Así una cierta masa de agua tendrá un volumen mínimo en 4°C , o sea, que a esta temperatura la densidad del agua es máxima.

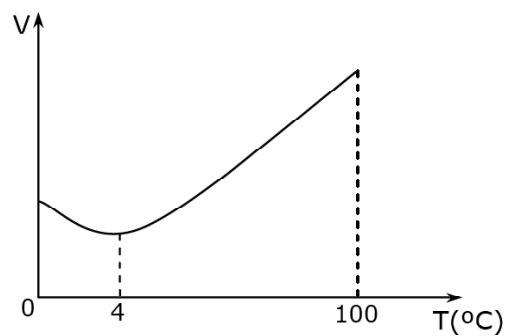


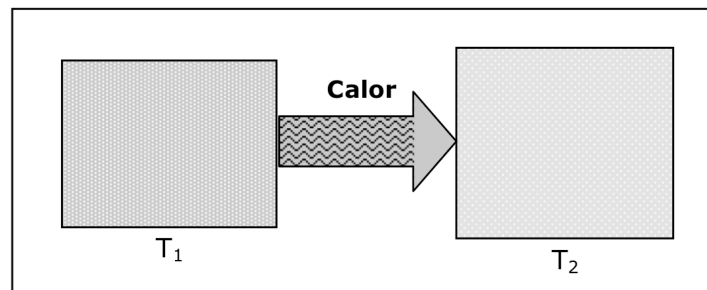
fig. 9

Calor y Temperatura II

Cuando dos sistemas a diferentes temperaturas se colocan juntos, finalmente alcanzarán una temperatura intermedia. A partir de esta observación, se puede decir con seguridad que el sistema que posee mayor temperatura ha cedido energía térmica al sistema de menor temperatura. La energía térmica perdida o ganada por los objetos se llama calor.

La idea del calor como una sustancia se debe descartar. No se trata de algo que el objeto posea, sino de algo que él mismo cede o absorbe. **El calor es energía en tránsito, que pasa desde un objeto de mayor temperatura a otro de menor temperatura.**

La unidad de energía del SI, el joule es, por lo tanto la unidad usada por los científicos para medir el calor, puesto que éste es una forma de energía. Sin embargo, hay tres antiguas unidades que aún se conservan. Estas primeras unidades se basaron en la energía térmica requerida para producir un cambio patrón (estándar). Son la caloría, la kilocaloría y la unidad británica (British thermal unit) o Btu.



$$T_1 > T_2$$

fig. 1

Ejemplo:

1. El concepto de calor queda mejor definido como
 - A) energía.
 - B) energía molecular caótica.
 - C) incremento de energía interna de un sistema.
 - D) energía que pasa entre dos cuerpos que se encuentran a distinta temperatura.
 - E) energía cinética y potencial de los átomos de los cuerpos.

Conceptos:

- Una **caloría** (cal) es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado Celsius.
- La **capacidad calórica (C)** de un cuerpo, es la relación del calor suministrado con respecto al correspondiente incremento de temperatura del cuerpo. También la podemos definir como la cantidad de calor necesario para elevar un grado la temperatura de un cuerpo.

A partir de esta definición, se observa que al agregar Q unidades de calor a una sustancia le producen un cambio de temperatura ΔT , por lo tanto:

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

- El **calor específico (c)** de un material, es la cantidad de calor necesario para elevar un grado la temperatura de un gramo de masa.

$$c = \frac{C}{m}$$

El calor específico del agua por definición es 1 cal/g°C y en la siguiente tabla se presentan los valores para algunas sustancias:

Sustancia	cal/ g °C
aceite	0,47
agua	1,00
alcohol	0,66
mercurio	0,033
cobre	0,093
hielo	0,55
madera	0,42
plata	0,056
vidrio	0,20
aluminio	0,22

De la definición de calor específico y capacidad calórica, se puede determinar la energía calórica Q transferida entre una sustancia de masa m y los alrededores para un cambio de temperatura, como:

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

Observar que cuando se le agrega calor a una sustancia, la temperatura aumenta y Q es positivo. Cuando se le quita calor a una sustancia, la temperatura disminuye y Q es negativo.

La unidad de calor en el sistema internacional es el Joule, pero la más utilizada por motivos históricos y didácticos es la caloría, cuya relación con la anterior es **$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$** (equivalente mecánico del calor).

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA CALÓRICA

Cuando dos cuerpos A y B de distintas temperaturas se ponen dentro de un calorímetro, entran en contacto térmico y al cabo de un tiempo se logra el equilibrio térmico. Considerando que el calor que uno cede lo absorbe el otro, se tiene:

$$Q_A + Q_B = 0$$

o bien

$$m_A \cdot c_A \cdot \Delta T_A = -m_B \cdot c_B \cdot \Delta T_B$$

Calorímetro: recipiente en cuyo interior ocurren los cambios de calor. El calorímetro está aislado térmicamente para evitar pérdidas de calor. Teóricamente, el calorímetro no debería interferir en los cambios de calor entre los cuerpos colocados en su interior. **La capacidad calórica del calorímetro será considerada nula en los cálculos, a menos que se especifique lo contrario.**

Ejemplo

2. Un recipiente de paredes aislantes y capacidad calórica despreciable contiene un litro de agua a temperatura T . Si se le agregan dos litros de agua a temperatura $\frac{T}{2}$, ¿cuál es la temperatura final después de establecido el equilibrio térmico?

- A) $\frac{1}{2} T$
- B) $\frac{2}{3} T$
- C) $\frac{3}{4} T$
- D) $\frac{4}{5} T$
- E) $\frac{5}{6} T$

Cambio de fase

Cuando una sustancia absorbe una cantidad de calor, la velocidad de sus moléculas aumenta y su temperatura se eleva. Dependiendo del calor específico de la sustancia, la elevación de temperatura es directamente proporcional a la cantidad de calor suministrado e inversamente proporcional a la masa de la sustancia. Sin embargo, cuando un sólido se funde o cuando un líquido hierve ocurre algo curioso. **Durante el cambio de fase la temperatura permanece constante** hasta que todo sólido se funde o hasta que todo líquido hierve.

El **calor latente de fusión** L_f de una sustancia, es el calor por unidad de masa necesario para cambiar la sustancia de la fase sólida a la líquida a su temperatura de fusión.

$$L_f = \frac{Q}{m}$$

$$Q = m \cdot L_f$$

El **calor de vaporización** L_v de una sustancia, es el calor por unidad de masa necesario para cambiar la sustancia de líquido a vapor a su temperatura de ebullición.

$$L_v = \frac{Q}{m}$$

$$Q = m \cdot L_v$$

En el gráfico se muestra el caso del agua, en condiciones normales:

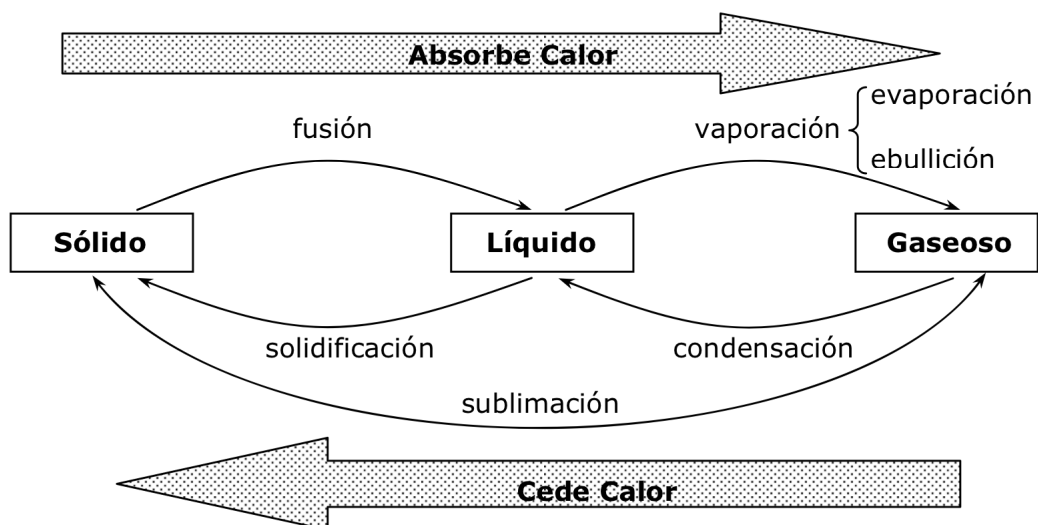
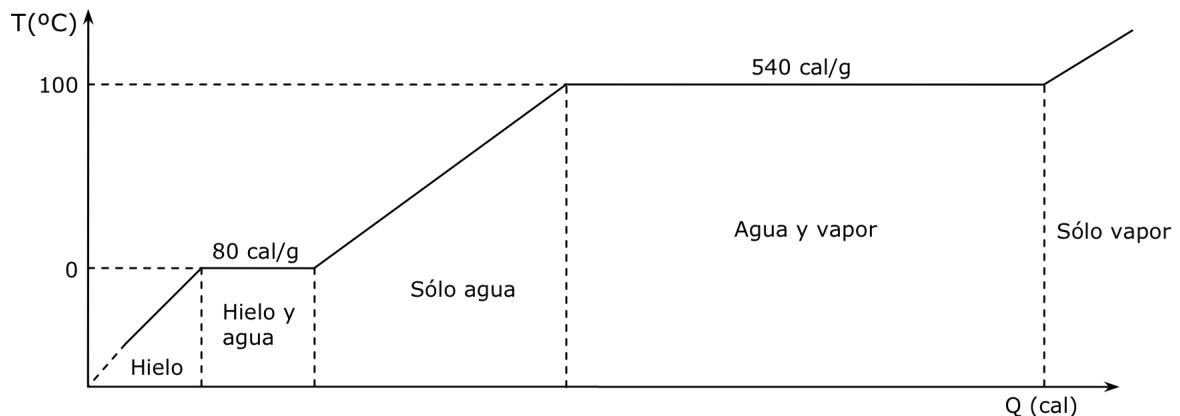


fig. 2

Transmisión del calor

Conducción

Suponga que una persona sostiene uno de los extremos de una barra metálica, y que el otro extremo se pone en contacto con una llama. Los átomos o moléculas del extremo calentado por la llama, adquieren una mayor energía de agitación. Parte de esta energía se transfiere a las partículas de la región más próximas a dicho extremo, y entonces la temperatura de esta región también aumenta. Este proceso continúa a lo largo de la barra, y después de cierto tiempo, la persona que sostiene el otro extremo percibirá una elevación de temperatura en ese lugar.

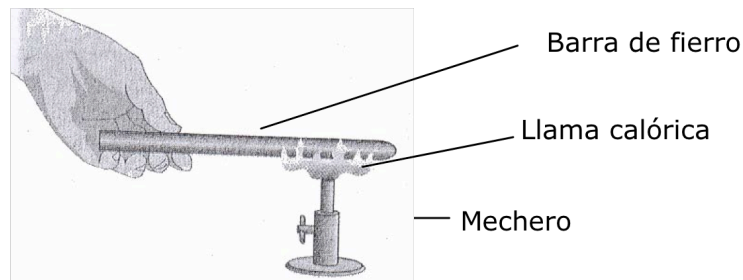


fig. 3

Por tanto, hubo una transmisión de calor a lo largo de la barra, que continuará mientras exista una diferencia de temperatura entre ambos extremos. Observemos que esta transmisión se debe a la agitación de los átomos de la barra, transferida sucesivamente de uno a otro átomo, sin que estas partículas sufran ninguna traslación en el interior del cuerpo. Este proceso de transmisión del calor se denomina **conducción térmica**.

La mayor parte del calor que se transfiere a través de los cuerpos **sólidos**, es transmitida de un punto a otro por conducción.

Dependiendo de la constitución atómica de una sustancia, la agitación térmica podrá transmitirse de uno a otro con mayor o menor facilidad, haciendo que tal sustancia sea buena o mala conductora del calor. Así, por ejemplo, los metales son *conductores térmicos*, mientras que otras sustancias, como, corcho, porcelana, madera, aire, hielo, lana, papel, etc., son aislantes térmicos, es decir, malos conductores de calor. Esta propiedad está relacionada con la **conductividad térmica** de los materiales.

Radiación

Es el proceso mediante el cual el calor se transfiere por medio de ondas electromagnéticas. La fuente más evidente de energía radiante es nuestro Sol. Ni la conducción ni la convección pueden intervenir en el proceso de transferencia que hace llegar su energía térmica a la Tierra. Sin embargo, cuando entra en juego un medio material, la transferencia de calor que se puede atribuir a la radiación generalmente es pequeña, en comparación con la cantidad que se transfiere por conducción y convección.

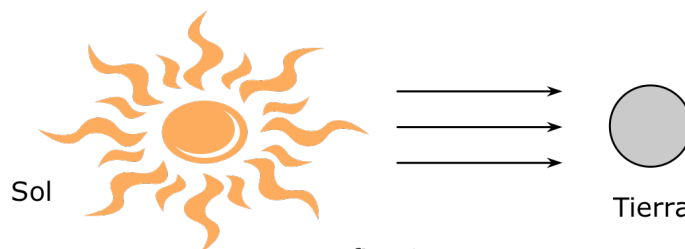
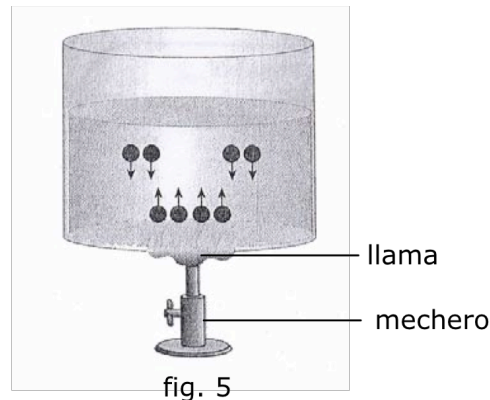


fig. 4

Convección

Cuando un recipiente con agua es colocado sobre un mechero, la capa de agua del fondo recibe calor por conducción. Por consiguiente, el volumen de esta capa aumenta, y por tanto su densidad disminuye, haciendo que se desplace hacia la parte superior del recipiente para ser reemplazada por agua más fría y más densa, proveniente de tal región superior. El proceso continúa, con una circulación continua de masas de agua fría hacia abajo, movimientos que se denominan corrientes de convección. Así el calor que se transmite por conducción a las capas inferiores, se va distribuyendo por convección a toda la masa del líquido, mediante el movimiento de traslación del propio líquido. La mayor parte del calor que se transmite a través de los fluidos y gases es por convección térmica.



Ejemplos:

3. Si el calor de fusión del hielo es 80 calorías, ¿cuál es la temperatura final de 1 gramo de hielo a 0 °C que absorbe 100 calorías?

A) 0 °C
B) 2 °C
C) 4 °C
D) 20 °C
E) 100 °C

4. Respecto de la radiación del calor, podemos afirmar que

A) sólo ocurre en los sólidos.
B) sólo ocurre en los líquidos.
C) sólo ocurre en los gases a baja presión.
D) sólo ocurre en el vacío.
E) no necesita medio material para ocurrir.