

Unidad 1 1

La sensación de calor o de frío está estrechamente relacionada con nuestra vida cotidiana. En el siglo XVIII los físicos consideraban erróneamente, que el calor era un fluido invisible sin sabor, olor ni peso; lo llamaban calórico y de él sólo conocían sus efectos: cuanto más caliente estaba un cuerpo, más fluido o calórico tenía. Cuando el calórico fluía en una sustancia, ésta se expandía debido a que ocupaba un lugar en el espacio, y cuando el calórico salía, la sustancia se enfriaba y se contraía. Finalmente, consideraron que el calórico no podía ser creado ni destruido, razón por la cual no era posible formarlo a partir de alguna cosa ni podía ser sustituido por otra.

A finales del siglo XVIII Benjamín Thompson descubrió, al barrenar un cañón, que la fricción produce calor. Más adelante, Joule demostró que cuando se proporciona energía, ya sea por fricción, corriente eléctrica, radiación o cualquier otro medio, para producir trabajo mecánico, éste puede ser transformado en una cantidad equivalente de calor. Con estas investigaciones se desechó la Teoría del Calórico para explicar qué era el calor. Actualmente, **se interpreta al calor como una energía en tránsito que fluye de cuerpos a mayor temperatura a los de menor temperatura.**

Cuando tocamos un cuerpo lo podemos sentir caliente o frío según la temperatura que tenga, así como de su capacidad para conducir calor. Es por ello que, si tocamos un cuerpo que sea un buen conductor del calor como lo es el metal, lo sentiremos aparentemente más frío, que si tocamos un trozo de madera que se encuentra a la misma temperatura que el metal, pero es un mal conductor de calor. Nuestro organismo no detecta la temperatura, sino pérdidas o ganancias de calor. Si sentimos que un cuerpo está muy frío es porque nuestro organismo le está transmitiendo mucho calor.

La temperatura es una magnitud física que indica qué tan caliente o fría está una sustancia y se mide con un termómetro.

Al suministrarle calor a una sustancia no sólo se eleva la temperatura, también se producen alteraciones en varias de sus propiedades físicas. Por tanto, al variar la temperatura, las sustancias se dilatan o se contraen, su resistencia eléctrica cambia y si se trata de un gas, su presión varía.

La temperatura es una de las magnitudes físicas o parámetros que contribuyen a describir el estado de un sistema. Al conocer su valor y el de otros parámetros, tales como la presión o el volumen, se puede tener una información valiosa para predecir los cambios que se producirán en un sistema cuando interactúa con otro.

Diferencia entre calor y temperatura

La temperatura y el calor están muy ligados, pero no son lo mismo. Cuando tocamos un cuerpo lo podemos sentir caliente o frío según la temperatura que tenga, así como de su capacidad para conducir el calor. Es por ello que, si coloca sobre una mesa un bloque de madera y una placa de metal, al tocar la placa de metal la siente más fría porque conduce mejor el calor de su cuerpo que la madera, no obstante, los dos tienen la misma temperatura (FIGURA 11.1). La magnitud física que indica qué tan caliente o fría es una sustancia respecto a un cuerpo que se toma como base o patrón es la temperatura. Cuando se suministra calor a una sustancia, no sólo se eleva su temperatura, sintiéndose más caliente, también se producen alteraciones en varias de sus propiedades físicas. Por tanto, al variar la temperatura, las sustancias se dilatan o se contraen, su resistencia eléctrica cambia y si se trata de un gas, su presión varía.

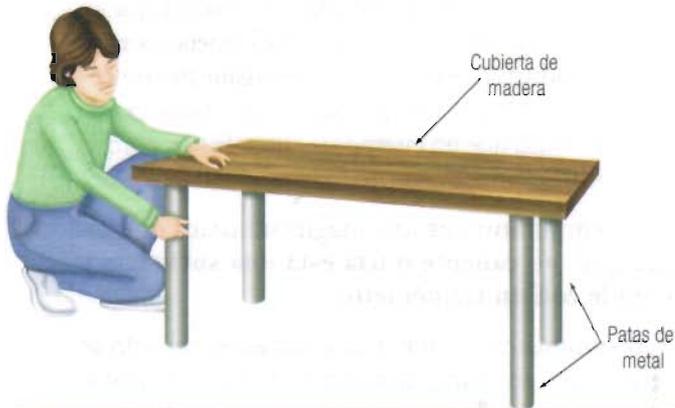


Fig. 11.1 Al tocar con la mano un metal se siente, aparentemente, más frío que si se toca un trozo de madera, debido a que el metal conduce mejor el calor de nuestro cuerpo.

La temperatura de un cuerpo o un sistema es una propiedad intensiva, ya que no depende de la cantidad de materia ni de su naturaleza, sino del ambiente en el que se encuentren. Por tanto, una piedra, un trozo de metal o de madera, etc., que se localizan en un mismo lugar, por ejemplo, en una habitación, tendrán la misma temperatura (FIGURA 11.2).

Sin embargo, la temperatura sí depende del estado de agitación o movimiento desordenado de las moléculas, o sea, del valor de la energía cinética media o promedio de las moléculas del cuerpo o del sistema. Por ello, se considera que sus moléculas no tendrían energía cinética traslacional a la temperatura denominada **cero absoluto** y que corresponde a cero Kelvin o -273 °C .

Es muy importante recordar que nuestro organismo no detecta la temperatura, sino pérdidas o ganancias de calor. Cuando sentimos que un cuerpo está muy frío es

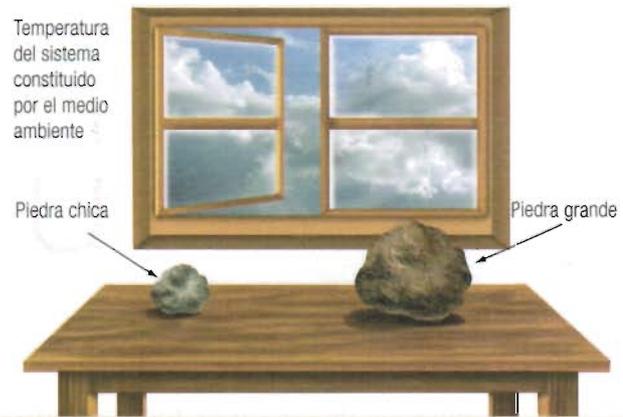


Fig. 11.2 La temperatura de los cuerpos no depende de la cantidad de materia sino del lugar en que se encuentren, ya que la temperatura que alcancen será la misma que tenga el medio donde se ubiquen.

porque nuestro organismo le está transfiriendo mucho calor; sin embargo, otra persona que esté a menor temperatura, puede sentirlo sólo frío al transferirle una menor cantidad de calor.

Se denomina **calor** a la transferencia de energía de una parte a otra de un cuerpo o entre distintos cuerpos que se encuentran a diferente temperatura. El calor es energía en tránsito y siempre fluye de cuerpos de mayor temperatura a los de menor temperatura (FIGURA 11.3). El calor no fluye desde un cuerpo de temperatura menor a otro de temperatura mayor a menos que se realice un trabajo, tal es el caso del refrigerador que revisaremos más adelante. Actualmente, los físicos señalan que un cuerpo no posee calor, sino que tiene energía interna, de tal manera que el calor es la energía calorífica que se transfiere de los cuerpos que están a mayor temperatura a los de menor temperatura, hasta que los cuerpos tienen la misma temperatura. Después de que la transferencia de calor a un cuerpo o sustancia cesa, ya no se le denomina calor y se interpreta como la energía interna del cuerpo o sustancia de la que se trate.

La energía interna de un cuerpo o sustancia se define como la suma de las energías cinética y potencial de todas las moléculas individuales que lo constituyen. Al suministrar calor a un cuerpo o sustancia, se provoca un aumento en la energía de agitación de sus moléculas, se produce entonces un incremento en la energía interna y, por consiguiente, un aumento en la temperatura.

El calor es la magnitud física o parámetro que describe las interacciones de un sistema con otro, dado que corresponde a la cantidad de energía que se transfiere de un sistema a otro.

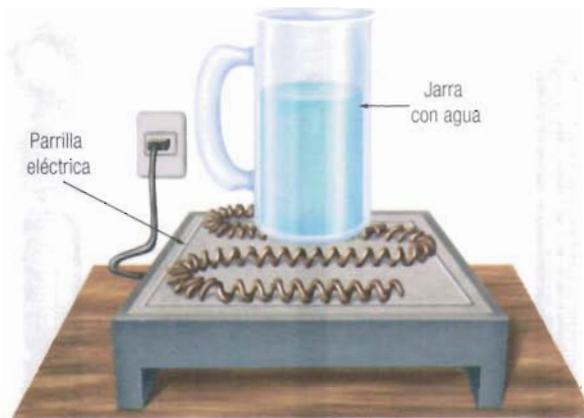


Fig. 11.3 El calor es energía en tránsito y fluye de los cuerpos con mayor temperatura a los de menor temperatura, hasta que igualen sus valores.

En conclusión: Todo cuerpo o sistema, debido a su temperatura, tiene la capacidad de transferir energía a otro cuerpo o sistema que esté a temperatura más baja. No olvide que el medio ambiente es un sistema intercambiador de calor muy importante en nuestras actividades cotidianas, no sólo por el calor que cede a nuestro cuerpo en un día soleado sino el que nuestro cuerpo, como sistema, le cede al ambiente en un día frío; y si no usamos ropa gruesa que nos permita conservar parte del calor de nuestro cuerpo, podemos sufrir las consecuencias de una disminución de la temperatura normal llamada **hipotermia** (FIGURA 11.4).

Potencial térmico y energía calorífica

Si colocamos un cuerpo caliente junto a uno frío notaremos que al transcurrir el tiempo el primero se enfría y el segundo se calienta.

Cuando un cuerpo se encuentra demasiado caliente su temperatura o **potencial térmico** es alto, esto le permite ceder calor o **energía calorífica** a otro cuerpo de menor temperatura que se encuentre cercano a él, de esta manera ambos tendrán igual potencial térmico. Lo mismo sucede cuando se conectan dos tanques con agua, uno lleno y otro semivacío, el lleno le pasará agua al otro hasta que igualen su contenido (FIGURA 11.5).



Fig. 11.4 La hipotermia se presenta cuando la temperatura corporal disminuye considerablemente. Puede provocar que se pierda la conciencia e incluso la vida; por ello, los alpinistas usan ropa especial.

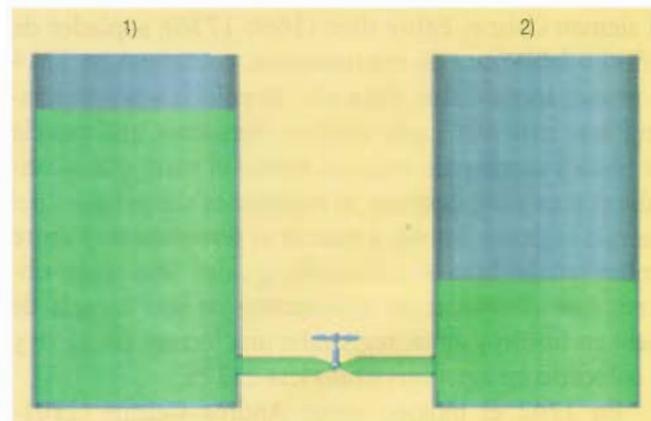


Fig. 11.5 Analogía hidráulica: el tanque 1) dejará pasar el agua al tanque 2) hasta que tengan el mismo nivel.

2 Medida de la temperatura

Para medir la temperatura se utiliza el **termómetro**. Su funcionamiento se basa en el hecho que se presenta cuando se ponen en contacto dos cuerpos que están a distinta temperatura, después de cierto tiempo alcanzan la misma temperatura, es decir, están en **equilibrio térmico**.

El fenómeno de la dilatación de los fluidos se utiliza en la construcción de los termómetros. Existen diferen-

tes tipos de **termómetros** y el más común es el de mercurio (FIGURA 11.6). Dicho instrumento consiste en un tubo capilar que lleva en la parte inferior un bulbo con mercurio, el cual al calentarse se dilata de manera directamente proporcional al aumento de la temperatura, por lo que el ascenso que experimenta el nivel del mercurio por el tubo capilar es el mismo cada vez que se incrementa

en un grado su temperatura. De igual modo, el mercurio se contrae en la misma proporción cada vez que desciende un grado su temperatura. La escala de un termómetro de mercurio puede ser de $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $357\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cuando se requiere medir temperaturas menores de $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta de $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$ se utiliza el **termómetro de alcohol**. Para temperaturas aún menores, se usa el **termómetro de tolueno** o de **éteres de petróleo**.

Cuando se necesita medir temperaturas altas se emplean los termómetros de resistencia. Su funcionamiento se basa en el hecho de que la resistencia eléctrica de un conductor metálico aumenta de manera directamente proporcional al aumento de su temperatura.

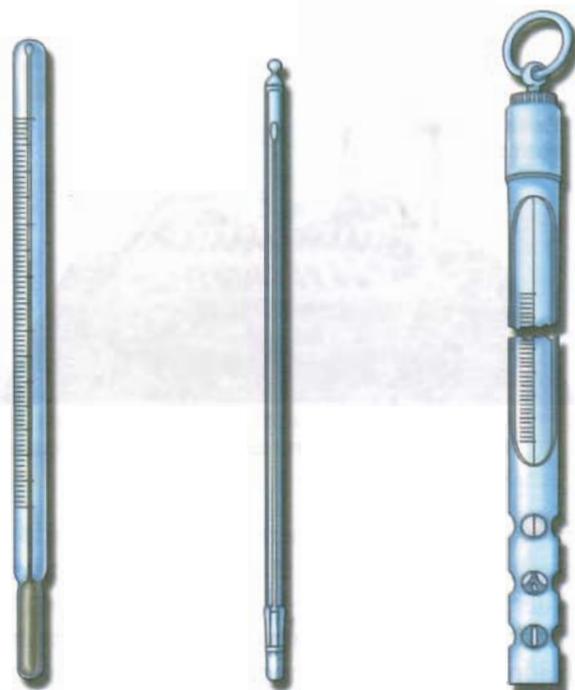


Fig. 11.6 La dilatación regular del mercurio se utiliza para la construcción de termómetros.

3 Diferentes escalas termométricas: Celsius, Kelvin y Fahrenheit

El alemán Gabriel **Fahrenheit** (1686-1736), soplador de vidrio y fabricante de instrumentos, construyó en 1714 el primer termómetro. Para ello, lo colocó a la temperatura más baja que pudo obtener, mediante una mezcla de **hielo y cloruro de amonio**, marcó el nivel que alcanzaba el mercurio; después, al registrar **la temperatura del cuerpo humano**, volvió a marcar el termómetro y entre ambas señales hizo **96 divisiones iguales**. Más tarde, observó que al colocar su termómetro en una mezcla de hielo en fusión y agua, registraba una lectura de **$32\text{ }^{\circ}\text{F}$** y al colocarlo en agua hirviendo leía **$212\text{ }^{\circ}\text{F}$** .

En 1742 el biólogo sueco Andrés **Celsius** (1701-1744) basó su escala en el **punto de fusión del hielo** ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) y en el punto de ebullición del agua ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) a la presión de una atmósfera, o sea, 760 mm de Hg, es decir, dividió su escala en 100 partes iguales cada una de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Años después el inglés William **Kelvin** (1824-1907) propuso una nueva escala de temperatura, en la cual el cero corresponde a lo que tal vez sea la menor temperatura posible llamada **cero absoluto**, en esta temperatura la **energía cinética de las moléculas es cero**. El tamaño de un grado de la escala Kelvin es igual al de un grado Celsius y el valor de cero grados en la escala de Celsius **equivale a 273 K** , tal como se muestra en la **FIGURA 11.7**. Cuando la temperatura se da en Kelvin se dice que es

absoluta y ésta es la escala aceptada por el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Existe un límite mínimo de temperatura: $0\text{ K} = -273\text{ }^{\circ}\text{C} = -460\text{ }^{\circ}\text{F}$, pero **no hay límite máximo de ella**, pues en forma experimental se obtienen en los laboratorios temperaturas de **miles de grados**, mientras que en una explosión atómica se alcanzan temperaturas de **millones de grados**. Se supone que la temperatura en el interior del Sol alcanza los **mil millones de grados**.

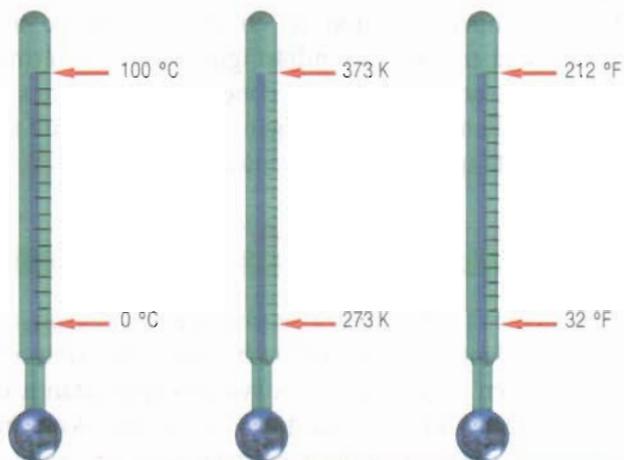


Fig. 11.7 Comparación de las escalas Celsius, Kelvin y Fahrenheit, para el punto de fusión y ebullición del agua. En el SI se usa la escala Kelvin para medir la temperatura.

Conversión de temperaturas de una escala a otra

Aunque la escala Kelvin es la usada por el SI para medir temperaturas, aún se emplea la escala Celsius o centígrada y la escala Fahrenheit, por tanto, es conveniente manejar sus equivalencias de acuerdo con las siguientes expresiones:

1. Para convertir de grados Celsius a Kelvin:

$$K = ^\circ C + 273$$

2. Para convertir de Kelvin a grados Celsius:

$$^\circ C = K - 273$$

3. Para convertir de grados Celsius a grados Fahrenheit:

$$^\circ F = 1.8 ^\circ C + 32$$

4. Para convertir de grados Fahrenheit a grados Celsius:

$$^\circ C = \frac{^\circ F - 32}{1.8}$$

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Conversión de temperaturas de una escala a otra

1. Convertir 100 °C a K.

Solución:

$$K = 100 ^\circ C + 273 = 373 K$$

2. Convertir 273 K a °C.

Solución:

$$^\circ C = 273 K - 273 = 0 ^\circ C$$

3. Convertir 0 °C a °F.

Solución:

$$^\circ F = 1.8 \times 0 ^\circ C + 32 = 32 ^\circ F$$

4. Convertir 212 °F a °C.

Solución:

$$^\circ C = \frac{212 ^\circ F - 32}{1.8} = 100 ^\circ C$$

EJERCICIOS PROPUESTOS

Convertir:

Respuesta:

1. 50 °C a K

323 K

2. 120 °C a K

393 K

3. 380 K a °C

107 °C

4. 210 K a °C

-63 °C

Convertir:

Respuesta:

5. 60 °C a °F

140 °F

6. 98 °C a °F

208.4 °F

7. 50 °F a °C

10 °C

8. 130 °F a °C

54.4 °C

4 Dilatación de los cuerpos

Los cambios de temperatura afectan el tamaño de los cuerpos, pues la mayoría de ellos **se dilatan al calentarse y se contraen si se enfrían**. El agua y el hule manifiestan un comportamiento contrario. Los gases se dilatan mucho más que los líquidos y éstos más que los sólidos.

En los gases y líquidos **las partículas chocan unas contra otras en forma continua**; pero si se calientan, cho-

carán violentamente rebotando a mayores distancias y provocarán la **dilatación**. En los sólidos **las partículas vibran alrededor de posiciones fijas**; sin embargo, al calentarse aumentan su movimiento y se alejan de sus centros de vibración dando como resultado la dilatación. Por el contrario, al bajar la temperatura las partículas vibran menos y el sólido se contrae (**FIGURA 11.8**).



Fig. 11.8 Para evitar que la dilatación levante las vías férreas siempre se deja un espacio libre entre los rieles.

| Cuadro 11.1 COEFICIENTES DE DILATACIÓN LINEAL | |
|---|---------------------------------|
| Sustancia | α ($1/^\circ\text{C}$) |
| Hierro | 11.7×10^{-6} |
| Aluminio | 22.4×10^{-6} |
| Cobre | 16.7×10^{-6} |
| Plata | 18.3×10^{-6} |
| Plomo | 27.3×10^{-6} |
| Níquel | 12.5×10^{-6} |
| Acero | 11.5×10^{-6} |
| Zinc | 35.4×10^{-6} |
| Vidrio | 7.3×10^{-6} |

Dilatación lineal y su coeficiente de dilatación

Una barra de cualquier metal al ser calentada **sufre un aumento en sus tres dimensiones**: largo, ancho y alto, por lo que su **dilatación es cúbica**. Sin embargo, en los cuerpos sólidos, como alambres, varillas o barras, lo más importante **es el aumento de longitud** que experimentan al elevarse la temperatura, es decir, su **dilatación lineal**.

Coeficiente de dilatación lineal

Es el incremento de longitud que presenta una varilla de determinada sustancia, con un largo inicial de un metro, cuando su temperatura se eleva un grado Celsius. Por ejemplo: una varilla de aluminio de un metro de longitud aumenta 0.0000224 metros (22.4×10^{-6} m) al elevar su temperatura 1. $^\circ\text{C}$. A este incremento se le llama **coeficiente de dilatación lineal** y se representa con la letra griega alfa (α).

Algunos coeficientes de dilatación lineal de diferentes sustancias se dan en el **CUADRO 11.1**.

Para calcular el coeficiente de dilatación lineal se emplea la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{L_f - L_0}{L_0(T_f - T_0)}$$

donde: α = coeficiente de dilatación lineal en $1/^\circ\text{C}$ o en $^\circ\text{C}^{-1}$

L_f = longitud final medida en metros (m)

L_0 = longitud inicial expresada en metros (m)

T_f = temperatura final medida en grados Celsius ($^\circ\text{C}$)

T_0 = temperatura inicial expresada en grados Celsius ($^\circ\text{C}$)

Si conocemos el coeficiente de dilatación lineal de una sustancia y queremos calcular la longitud final que tendrá un cuerpo al variar su temperatura, despejamos la longitud final de la ecuación anterior:

$$L_f = L_0 [1 + \alpha (T_f - T_0)]$$

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Dilatación lineal

1. A una temperatura de 15°C una varilla de hierro tiene una longitud de 5 m. ¿Cuál será su longitud al aumentar la temperatura a 25°C ?

Solución:

Datos

$$\alpha_{\text{Fe}} = 11.7 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Fórmula

$$L_f = L_0 [1 + \alpha (T_f - T_0)]$$

$$L_0 = 5 \text{ m}$$

$$T_0 = 15^\circ\text{C}$$

$$T_f = 25^\circ\text{C}$$

$$L_f = ?$$

Sustitución y resultado

$$L_t = 5 \text{ m} [1 + 0.0000117 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} (25 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ }^\circ\text{C})]$$

$$= 5.000585 \text{ m}$$

Su dilatación es igual a:

$$L_t - L_0 = 5.000585 \text{ m} - 5 \text{ m}$$

$$= 0.000585 \text{ m}$$

2. ¿Cuál es la longitud de un cable de cobre al disminuir la temperatura a 14 °C, si con una temperatura de 42 °C mide 416 m?

Solución:**Datos**

$$L_t = ?$$

Fórmula

$$L_t = L_0 [1 + \alpha (T_f - T_0)]$$

$$T_f = 14 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 42 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L_0 = 416 \text{ m}$$

$$\alpha_{\text{Cu}} = 16.7 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Sustitución y resultado

$$L_t = 416 \text{ m} [1 + 0.0000167 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} (14 \text{ }^\circ\text{C} - 42 \text{ }^\circ\text{C})]$$

$$= 415.80547 \text{ m}$$

Se contrajo 0.19453 m, es decir,

$$L_t - L_0 = 415.80547 \text{ m} - 416 \text{ m}$$

$$= -0.19453 \text{ m}$$

El signo (-) indica una disminución en la longitud.

EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Un puente de acero de 100 m de largo a 8 °C, aumenta su temperatura a 24 °C. ¿Cuánto medirá su longitud?

Respuesta:

$$L_t = 100.0184 \text{ m}$$

2. ¿Cuál es la longitud de un riel de hierro de 50 m a 40 °C, si desciende la temperatura a 6 °C? ¿Cuánto se contrajo?

Respuestas:

$$L_t = 49.980011 \text{ m}$$

Se contrajo 0.01998 m

Consideraciones prácticas sobre la dilatación

Como la temperatura ambiente cambia en forma continua durante el día, cuando se construyen vías de ferrocarril, puentes de acero, estructuras de concreto armado, y en general cualquier estructura rígida, se deben dejar huecos o espacios libres que permitan a los materiales dilatarse libremente para evitar rupturas o deformaciones que pongan en peligro la estabilidad de lo construido. Por ello, se instalan en lugares convenientes las llamadas juntas de dilatación, articulaciones móviles que absorben las variaciones de longitud. En los puentes se usan rodillos en los cuales se apoya su estructura para que al dilatarse no se produzcan daños por rompimientos estructurales resultado de los cambios de temperatura y de la dilatación no controlada. También en la fabricación de piezas para maquinaria, sobre todo en las móviles, se debe considerar la dilatación con el objetivo de evitar desgastes prematuros o rompimientos de partes.

Dilatación de área y coeficiente de dilatación de área**Dilatación de área**

Cuando un área o superficie se dilata, lo hace incrementando sus dimensiones en la misma proporción. Por ejemplo, una lámina metálica aumenta su largo y ancho,

lo que significa un incremento de área. La dilatación de área se diferencia de la dilatación lineal porque implica un incremento de área.

Coficiente de dilatación de área

Es el incremento de área que experimenta un cuerpo de determinada sustancia, de área igual a la unidad, al elevarse su temperatura un grado centígrado. Este coeficiente se representa con la letra griega gamma (γ). El coeficiente de dilatación de área se usa para los sólidos. Si se conoce el coeficiente de dilatación lineal de un sólido, su coeficiente de dilatación de área será dos veces mayor:

$$\gamma = 2 \alpha$$

Por ejemplo: el coeficiente de dilatación lineal del acero es $34.5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, por tanto, su coeficiente de dilatación de área es:

$$\gamma = 2 \alpha = 2 \times 34.5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$= 69 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

En el CUADRO 11.2 se dan algunos valores de coeficiente de dilatación de área para diferentes sólidos.

Al conocer el coeficiente de dilatación de área de un cuerpo sólido se puede calcular el área final que tendrá al variar su temperatura con la siguiente expresión:

$$A_f = A_0 [1 + \gamma (T_f - T_0)]$$

donde: A_f = área final determinada en m^2

A_0 = área inicial expresada en m^2

γ = coeficiente de dilatación de área determinada en $1/^\circ C$ o $^\circ C^{-1}$

T_f = temperatura final medida en grados centígrados ($^\circ C$)

T_0 = temperatura inicial medida en grados centígrados ($^\circ C$)

Cuadro 11.2 COEFICIENTES DE DILATACIÓN DE ÁREA

| Sustancia | γ ($^\circ C^{-1}$) |
|-----------|------------------------------|
| Hierro | 23.4×10^{-6} |
| Aluminio | 44.8×10^{-6} |
| Cobre | 33.4×10^{-6} |
| Plata | 36.6×10^{-6} |
| Plomo | 54.6×10^{-6} |
| Níquel | 25.0×10^{-6} |
| Acero | 23.0×10^{-6} |
| Vidrio | 14.6×10^{-6} |

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Dilatación de área

1. A una temperatura de $17^\circ C$ una ventana de vidrio tiene un área de $1.6 m^2$. ¿Cuál será su área final al aumentar su temperatura a $32^\circ C$?

Solución:

Datos

$$\gamma_{\text{vidrio}} = 14.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ C^{-1}$$

$$A_0 = 1.6 m^2$$

$$T_0 = 17^\circ C$$

$$T_f = 32^\circ C$$

$$A_f = ?$$

Fórmula

$$A_f = A_0 [1 + \gamma (T_f - T_0)]$$

Sustitución y resultado

$$A_f = 1.6 m^2 [1 + 14.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ C^{-1} (32^\circ C - 17^\circ C)]$$

$$A_f = 1.6 m^2 (1 + 219 \times 10^{-6})$$

$$= 1.6 m^2 \times 1.000219$$

$$= 1.6003504 m^2$$

2. A una temperatura de $23^\circ C$ una puerta de aluminio mide $2 m$ de largo y $0.9 m$ de ancho. ¿Cuál será su área final al disminuir su temperatura a $12^\circ C$?

Solución:

Datos

$$\gamma_{Al} = 44.8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ C^{-1}$$

$$A_0 = \ell \cdot \ell = 2 m \times 0.9 m = 1.8 m^2$$

$$T_0 = 23^\circ C$$

$$T_f = 12^\circ C$$

$$A_f = ?$$

Fórmulas

$$A = \ell \cdot \ell$$

$$A_f = A_0 [1 + \gamma (T_f - T_0)]$$

Sustitución y resultado

$$A_f = 1.8 m^2 [1 + 44.8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ C^{-1} (12^\circ C - 23^\circ C)]$$

$$A_f = 1.8 m^2 (1 - 0.0004928) = 1.79911296 m^2$$

EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Una lámina de acero tiene un área de $2 m^2$ a una temperatura de $8^\circ C$. ¿Cuál será su área final al elevarse su temperatura a $38^\circ C$?

Respuesta:

$$A_f = 2.00138 m^2$$

2. A una temperatura de $33.5^\circ C$ un portón de hierro tiene un área de $10 m^2$. ¿Cuál será su área final al disminuir su temperatura a $9^\circ C$?

Respuesta:

$$A_f = 9.994267 m^2$$

Dilatación cúbica y su coeficiente de dilatación

Dilatación cúbica

Implica el aumento en las dimensiones de un cuerpo: largo, ancho y alto, lo que significa un incremento de volumen. La dilatación cúbica se diferencia de la dilatación lineal porque además implica un incremento de volumen.

Coeficiente de dilatación cúbica

Es el incremento de volumen que experimenta un cuerpo de determinada sustancia, de volumen igual a la unidad, al elevar su temperatura un grado Celsius. Este coeficiente se representa con la letra griega beta (β). Por lo general, el coeficiente de dilatación cúbica se emplea para los líquidos. Sin embargo, si se conoce el coeficiente de dilatación lineal de un sólido, su coeficiente de dilatación cúbica será tres veces mayor:

$$\beta = 3\alpha$$

Por ejemplo, el coeficiente de dilatación lineal del hierro es $11.7 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, por tanto, su coeficiente de dilatación cúbica es:

$$\begin{aligned}\beta &= 3\alpha = 3 \times 11.7 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \\ &= 35.1 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}\end{aligned}$$

En el CUADRO 11.3 se dan algunos valores de coeficientes de dilatación cúbica para diferentes sustancias.

Al conocer el coeficiente de dilatación cúbica de una sustancia se puede calcular el volumen que tendrá al variar su temperatura con la siguiente expresión:

$$V_f = V_0 [1 + \beta (T_f - T_0)]$$

donde: V_f = volumen final determinado en metros cúbicos (m^3)

V_0 = volumen inicial expresado en metros cúbicos (m^3)

β = coeficiente de dilatación cúbica determinado en $1/^\circ\text{C}$ o $^\circ\text{C}^{-1}$

T_f = temperatura final medida en grados Celsius ($^\circ\text{C}$)

T_0 = temperatura inicial medida en grados Celsius ($^\circ\text{C}$)

Notas: 1. En el caso de sólidos huecos la dilatación cúbica se calcula considerando al sólido como si estuviera lleno del mismo material, es decir, como si fuera macizo.

2. Para la dilatación cúbica de los líquidos debemos tomar en cuenta que cuando se ponen a calentar, también se calienta el recipiente que los contiene, el cual al dilatarse aumenta su capacidad. Por ello, el aumento real del volumen del líquido, será igual al incremento de volumen del recipiente más el aumento del volumen del líquido en el recipiente graduado.

3. El coeficiente de dilatación cúbica es igual para todos los gases. Es decir, cualquier gas, al ser sometido a una presión constante, por cada grado Celsius que cambie su temperatura variará $1/273$ el volumen que ocupaba a 0°C .

$$\beta = \frac{1}{273} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \text{ para cualquier gas}$$

En otras palabras, si tomamos 273 litros de cualquier gas, por ejemplo, oxígeno a 0°C , y sin cambiar la presión (proceso isobárico), lo calentamos 1°C , el nuevo volumen será de 274 litros. Un incremento de 2°C lo aumentará a 275 litros. Si lo calentamos 3°C el gas ocupará un volumen de 276 litros y así sucesivamente.

Cuadro 11.3 COEFICIENTES DE DILATACIÓN CÚBICA

| Sustancia | β ($^\circ\text{C}^{-1}$) |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Hierro | 35.1×10^{-6} |
| Aluminio | 67.2×10^{-6} |
| Cobre | 50.1×10^{-6} |
| Acero | 34.5×10^{-6} |
| Vidrio | 21.9×10^{-6} |
| Mercurio | 182×10^{-6} |
| Glicerina | 485×10^{-6} |
| Alcohol etílico | 746×10^{-6} |
| Petróleo | 895×10^{-6} |
| Gases a 0°C | $1/273$ |

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Dilatación cúbica

1. Una barra de aluminio de 0.01 m^3 a 16°C se calienta a 44°C . Calcular:

- ¿Cuál será el volumen final?
- ¿Cuál fue su dilatación cúbica?

Solución:

Datos

$$\begin{aligned}\beta &= 67.2 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \\ V_0 &= 0.01 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Fórmulas

$$\begin{aligned}\text{a) } V_f &= V_0 [1 + \beta(T_f - T_0)] \\ \text{b) } \Delta V &= V_f - V_0\end{aligned}$$

$$T_0 = 16\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_f = 44\text{ }^\circ\text{C}$$

a) $V_f = ?$

b) $\Delta V = ?$

Sustitución y resultados

a) $V_f = 0.01\text{ m}^3 [1 + 0.0000672\text{ }^\circ\text{C}^{-1} (44\text{ }^\circ\text{C} - 16\text{ }^\circ\text{C})]$
 $= 0.0100188\text{ m}^3$

b) $\Delta V = V_f - V_0 = 0.0100188\text{ m}^3 - 0.01\text{ m}^3$
 $= 0.0000188\text{ m}^3$
 $= 1.88 \times 10^{-5}\text{ m}^3$

2. Una esfera hueca de acero a $24\text{ }^\circ\text{C}$ tiene un volumen de 0.2 m^3 . Calcular:

- a) ¿Qué volumen final tendrá a $-4\text{ }^\circ\text{C}$ en m^3 y en litros?
 b) ¿Cuánto disminuyó su volumen en litros?

Solución:

| Datos | Fórmulas |
|--|--|
| $\beta = 34.5 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ | a) $V_f = V_0 [1 + \beta (T_f - T_0)]$ |
| $V_0 = 0.2\text{ m}^3$ | b) $\Delta V = V_f - V_0$ |
| $T_0 = 24\text{ }^\circ\text{C}$ | |
| $T_f = -4\text{ }^\circ\text{C}$ | |
| a) $V_f = ?$ | |
| b) $\Delta V = ?$ | |

Sustitución y resultados

a) $V_f = 0.2\text{ m}^3 [1 + 0.0000345\text{ }^\circ\text{C}^{-1} (-4\text{ }^\circ\text{C} - 24\text{ }^\circ\text{C})]$
 $= 0.1998068\text{ m}^3$

Conversión de unidades

$$0.1998068\text{ m}^3 \times \frac{1\text{ 000 } \ell}{1\text{ m}^3}$$

$$V_f = 199.8068\text{ } \ell$$

b) $0.2\text{ m}^3 \times \frac{1\text{ 000 } \ell}{1\text{ m}^3} = 200\text{ } \ell$
 $\Delta V = 199.8068\text{ } \ell - 200\text{ } \ell = -0.1932\text{ } \ell$

3. ¿Cuál será el volumen final de 2 litros de alcohol etílico si sufre un calentamiento de $18\text{ }^\circ\text{C}$ a $45\text{ }^\circ\text{C}$? Diga también cuánto varió su volumen en litros y en cm^3 .

Solución:

| Datos | Fórmulas |
|---|-------------------------------------|
| $\beta = 746 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ | $V_f = V_0 [1 + \beta (T_f - T_0)]$ |
| $V_f = ?$ | $\Delta V = V_f - V_0$ |
| $V_0 = 2\text{ } \ell$ | |
| $T_0 = 18\text{ }^\circ\text{C}$ | |
| ΔV en litros y $\text{cm}^3 = ?$ | |
| $T_f = 45\text{ }^\circ\text{C}$ | |

Sustitución y resultado

$$V_f = 2\text{ } \ell [1 + 0.000746\text{ }^\circ\text{C}^{-1} (45\text{ }^\circ\text{C} - 18\text{ }^\circ\text{C})]$$

$$= 2.040284\text{ } \ell$$

$$\Delta V = 2.040284\text{ } \ell - 2\text{ } \ell = 0.040284\text{ } \ell$$

Conversión de unidades

$$0.040284\text{ } \ell \times \frac{1\text{ 000 cm}^3}{1\text{ } \ell}$$

$$\Delta V = 40.284\text{ cm}^3$$

4. A una temperatura de $15\text{ }^\circ\text{C}$ un matraz de vidrio con capacidad de 1 litro se llena de mercurio y se calientan ambos a $80\text{ }^\circ\text{C}$. Calcular:

- a) ¿Cuál es la dilatación cúbica del matraz?
 b) ¿Cuál es la dilatación cúbica del mercurio?
 c) ¿Cuánto mercurio se derramará en litros y en cm^3 ?

Solución:

| Datos | Fórmulas |
|--|-------------------------------------|
| $\beta_{\text{vidrio}} = 21.9 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ | $\Delta V = V_f - V_0$ |
| $\beta_{\text{Hg}} = 182 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ | $V_f = V_0 [1 + \beta (T_f - T_0)]$ |
| $V_0 = 1\text{ } \ell$ | |
| $T_0 = 15\text{ }^\circ\text{C}$ | |
| $T_f = 80\text{ }^\circ\text{C}$ | |
| a) $\Delta V_{\text{matraz}} = ?$ | |
| b) $\Delta V_{\text{Hg}} = ?$ | |
| c) Hg derramado = ? | |

Sustitución y resultados

a) Dilatación cúbica del matraz
 $V_f = 1\text{ } \ell [1 + 0.0000219\text{ }^\circ\text{C}^{-1} (80\text{ }^\circ\text{C} - 15\text{ }^\circ\text{C})]$
 $= 1.0014235\text{ } \ell$
 $\Delta V = 1.0014235\text{ } \ell - 1\text{ } \ell = 0.0014235\text{ } \ell$

b) Dilatación cúbica del mercurio
 $V_f = 1\text{ } \ell [1 + 0.000182\text{ }^\circ\text{C}^{-1} (80\text{ }^\circ\text{C} - 15\text{ }^\circ\text{C})]$
 $= 1.01183\text{ } \ell$
 $\Delta V = 1.01183\text{ } \ell - 1\text{ } \ell = 0.01183\text{ } \ell$

c) Mercurio derramado en ℓ y cm^3 . Puesto que el vidrio se dilató $0.0014235\text{ } \ell$ y el mercurio $0.01183\text{ } \ell$, la diferencia entre los dos volúmenes equivaldrá al mercurio derramado:

$$0.01183\text{ } \ell - 0.0014235\text{ } \ell = 0.0104065\text{ } \ell$$

Conversión de unidades

$$0.0104065\text{ } \ell \times \frac{1\text{ 000 cm}^3}{1\text{ } \ell} = 10.4065\text{ cm}^3$$

5. A una temperatura de 0 °C un gas ocupa un volumen de 330 litros, si se incrementa su temperatura a 50 °C calcular:

- a) ¿Cuál será su volumen final si su presión permanece constante?
- b) ¿Cuál fue su dilatación cúbica?

Solución:

Datos

$$\beta = \frac{1}{273} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Fórmulas

$$a) V_f = V_0 [1 + \beta (T_f - T_0)]$$

$$T_0 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_0 = 300 \text{ } \ell$$

$$V_f = ?$$

$$b) \Delta V = V_f - V_0$$

Sustitución y resultados

$$a) V_f = 330 \text{ } \ell [1 + \frac{1}{273} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} (50 \text{ } ^\circ\text{C} - 0 \text{ } ^\circ\text{C})] = 390.44 \text{ } \ell$$

$$b) \Delta V = V_f - V_0 = 390.44 \text{ } \ell - 330 \text{ } \ell = 60.44 \text{ } \ell$$

EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Un tubo de cobre tiene un volumen de 0.009 m³ a 10 °C y se calienta a 200 °C. Calcular:

- a) ¿Cuál es su volumen final?
- b) ¿Cuál es su dilatación cúbica en m³ y en litros?

Respuestas:

$$a) V_f = 0.0090856 \text{ } \text{m}^3 = 9.0856 \times 10^{-3} \text{ } \text{m}^3$$

$$b) \Delta V = 0.0000856 \text{ } \text{m}^3 = 0.0856 \text{ } \ell$$

2. Una barra de aluminio tiene un volumen de 500 cm³ a 90 °C. Calcular:

- a) ¿Cuál será su volumen a 20 °C?
- b) ¿Cuánto disminuyó su volumen?

Respuestas:

$$a) V_f = 497.648 \text{ } \text{cm}^3$$

$$b) \Delta V = 2.352 \text{ } \text{cm}^3$$

3. Calcular el volumen final de 5.5 litros de glicerina si se calienta de 4 °C a 25 °C. Determine también la variación de su volumen en cm³.

Respuestas:

$$a) V_f = 5.5560175 \text{ } \ell$$

$$b) \Delta V = 56.0175 \text{ } \text{cm}^3$$

4. Un tanque de hierro de 200 litros de capacidad a 10 °C, se llena totalmente de petróleo, si se incrementa la temperatura de ambos hasta 38 °C, calcular:

- a) ¿Cuál es la dilatación cúbica del tanque?
- b) ¿Cuál es la dilatación cúbica del petróleo?
- c) ¿Cuánto petróleo se derramará en litros y en cm³?

Respuestas:

$$a) 0.19656 \text{ } \ell$$

$$b) 5.012 \text{ } \ell$$

$$c) 4.81544 \text{ } \ell = 4 \text{ } 815.44 \text{ } \text{cm}^3$$

5. Un gas a presión constante y a 0 °C ocupa un volumen de 25 litros. Si su temperatura se incrementa a 18 °C, calcular:

- a) ¿Cuál es su volumen final?
- b) ¿Cuál fue su dilatación cúbica?

Respuestas:

$$a) V_f = 26.65 \text{ } \ell$$

$$b) \Delta V = 1.65 \text{ } \ell$$

Dilatación irregular del agua

Por regla general, un cuerpo se dilata cuando aumenta su temperatura. Sin embargo, hay algunas sustancias que en lugar de dilatarse se contraen, tal es el caso del agua: un gramo de agua a 0 °C ocupa un volumen de 1.00012 cm³, si se calienta, en lugar de dilatarse se contrae, por lo que a la temperatura de 4 °C el agua tiene su volumen mínimo de 1.00000 cm³ y alcanza su densidad máxima, si se sigue calentando comienza a aumentar su volumen.

Durante el invierno los peces y otras especies acuáticas conservan la vida gracias a esa dilatación irregular.

A principios de la estación la superficie de los lagos y estanques se enfría; al llegar el agua a 4 °C aumenta su densidad, razón por la cual se va al fondo y es sustituida por otra más caliente estableciéndose así una recirculación hasta que toda el agua tiene una temperatura de 4 °C. Si la temperatura continúa bajando, se enfría la superficie, entonces se forma una capa de hielo flotante cuya densidad es menor a la del agua. Ello evita el enfriamiento del resto del agua, con lo cual la vida sigue su curso a una temperatura mínima de 4 °C.

5 Formas de propagación del calor

Si dos cuerpos se ponen en contacto y no manifiestan tendencia a calentarse o enfriarse es porque su temperatura y, por tanto, la energía cinética media de sus moléculas es igual, pero cuando diversas partes de un mismo cuerpo, o varios cuerpos en contacto, están más calientes, todos tenderán a alcanzar la misma temperatura y el calor se propagará de un punto a otro.

El calor o energía calorífica siempre se propaga de los cuerpos calientes a los fríos de tres maneras diferentes:

- Conducción.
- Convección.
- Radiación.

Conducción

La **conducción** es la forma de propagación del calor a través de un cuerpo sólido, debido al choque entre moléculas.

Cuando el extremo de una varilla metálica se pone en contacto con el fuego, al cabo de cierto tiempo el otro extremo también se calienta. Esto se debe a que las moléculas del extremo calentado por el fuego vibran con mayor intensidad, es decir, con mayor energía cinética. Una parte de esa energía se transmite a las moléculas cercanas, las cuales al chocar unas con otras comunican su exceso de energía a las contiguas, así su temperatura aumenta y se distribuye en forma uniforme a lo largo de la varilla. Esta transmisión de calor continuará mientras exista una diferencia de temperatura entre los extremos, y cesará totalmente cuando sea la misma en todas las partes (**FIGURA 11.9**).

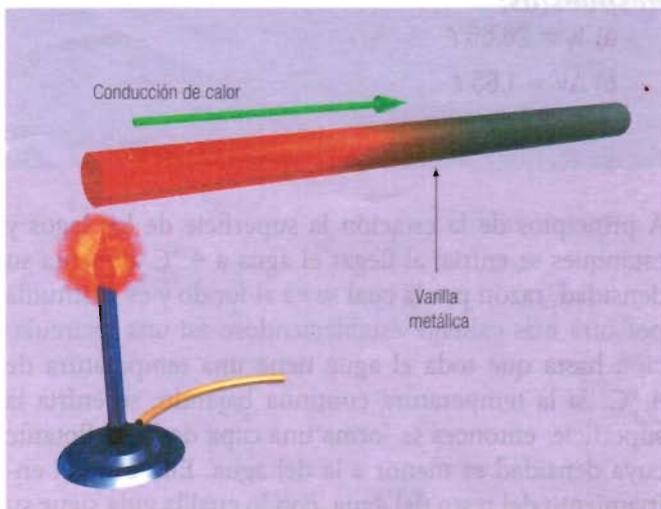


Fig. 11.9 Transmisión del calor por conducción a través de un cuerpo sólido.

Los metales son buenos conductores del calor; y el corcho, la madera, el plástico, la lana, el aire, la porcelana, el vidrio y el papel son malos conductores del mismo. **En el vacío no se propaga el calor por conducción.**

Las sartenes, ollas, calderas y demás objetos que requieren ser calentados con rapidez, se fabrican de metal, y los malos conductores son usados como aislantes del frío o del calor, por ejemplo, mangos de sartenes, cucharas, ollas, revestimientos para calentadores, refrigeradores y tuberías, o bien, ropa de invierno como abrigos y chamarras.

Un termo es un recipiente utilizado para conservar los líquidos calientes o fríos y su construcción se basa en dos paredes entre las cuales existe un alto vacío que evita la transmisión de calor por conducción.

Convección

La **convección** es la propagación del calor ocasionada por el movimiento de la sustancia caliente.

Al poner agua en un vaso de precipitados y calentarla posteriormente, observamos que transcurrido cierto tiempo comienza un movimiento en el seno (parte interna) del líquido. Esto se debe a que al recibir calor el líquido del fondo, la temperatura sube y provoca su dilatación, aumentando el volumen y en consecuencia disminuye la densidad de esa porción, por lo que sube a la superficie y es reemplazada por agua más fría y con mayor densidad. Este proceso se repite con la circulación de masas de agua más caliente hacia arriba y las de agua más fría hacia abajo, provocándose las llamadas **corrientes de convección** (**FIGURA 11.10**).

El calentamiento en los líquidos y gases es por convección. Los vientos son corrientes de convección del aire atmosférico, debido a las diferencias de temperatura y densidad que se producen en la atmósfera.



Fig. 11.10 Calentamiento del agua por corrientes de convección.

Radiación

La radiación es la propagación del calor por medio de ondas electromagnéticas esparcidas, incluso en el vacío, a una velocidad de aproximadamente 300 mil km/s.

El calor que nos llega del Sol es por radiación, pues las ondas caloríficas atraviesan el vacío existente entre la Tierra y el Sol. A las ondas caloríficas también se les llama rayos infrarrojos, en virtud de que su longitud de onda es menor si se compara con la del color rojo.

Todos los cuerpos calientes emiten radiaciones caloríficas, es decir, ondas electromagnéticas de energía proporcional a su temperatura. Cuando la radiación de un cuerpo caliente llega a un objeto, una parte se absorbe y otra se refleja. Los colores oscuros son los que absorben más las radiaciones y los claros, como el blanco, los reflejan. Por ello, en los climas cálidos se usan con frecuencia ropas de colores claros para reflejar gran parte de las ondas infrarrojas y luminosas que provienen del Sol.

6 Energía solar, su medida y transformación

La energía radiante del Sol se genera por reacciones termonucleares de fusión. La **fusión nuclear** se produce debido a la unión de dos o más núcleos de átomos ligeros en un solo núcleo de mayor masa. Siempre que dos núcleos ligeros se unen para formar otro más pesado, la masa del producto es menor que la suma de los primeros. La diferencia de masa, es decir, la parte de materia faltante, se ha convertido en energía.

Intensidad de la radiación solar

La **energía radiante** que nos llega del Sol nos proporciona **energía calorífica**, ésta se aprovecha para calentar agua destinada para uso doméstico en algunos edificios o casas, y también para el funcionamiento de diversos tipos de motores provistos de **celdas solares**. Aproximadamente, cada centímetro cuadrado de la superficie de la Tierra que esté iluminado perpendicularmente por los rayos solares, recibe 14 calorías por minuto, equivalentes a 14 000 kilocalorías ($14 \text{ kcal} = 58.8 \text{ kJ}$) por minuto, en una superficie de 1 m^2 . Así podemos definir la **intensidad de la radiación solar** como la potencia de la radiación recibida del Sol en un área de 1 m^2 . De donde:

$$\text{Intensidad de la radiación solar} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Área}}$$

expresada en kW/m^2

Como la potencia es igual a la energía liberada dividida entre el tiempo tenemos:

$$\text{Potencia} = \frac{58.8 \text{ kJ}}{60 \text{ s}} = 0.98 \text{ kW}$$

Para determinar la intensidad de la radiación solar, dividimos la potencia entre el área, es decir, entre 1 m^2 . Veamos:

$$\begin{aligned} \text{Intensidad de la radiación solar} &= \frac{\text{Potencia}}{\text{Área}} \\ &= \frac{0.98 \text{ kW}}{1 \text{ m}^2} = 0.98 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Cabe señalar que la intensidad de la energía solar que recibe cada m^2 de la parte externa de la atmósfera terrestre que esté iluminado perpendicularmente por los rayos solares, tienen un valor de $1.4 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$, pero sólo llegan a la superficie de la Tierra $0.98 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$, pues 0.42 kW los absorbe la atmósfera.

Si alrededor del mediodía se colocan en una mesa dos latas, una pintada interiormente de negro y otra de blanco conteniendo la misma cantidad de agua, por ejemplo, 500 ml (0.5 kg), y se exponen directamente a los rayos solares durante unos 10 minutos (**FIGURA 11.11**), al medir la temperatura en cada lata con un termómetro, se observará que en la pintada de negro es un poco mayor. Esto se debe a que absorbe mejor la energía radiante del Sol que incide en ella, mientras que la lata pintada de blanco la refleja.

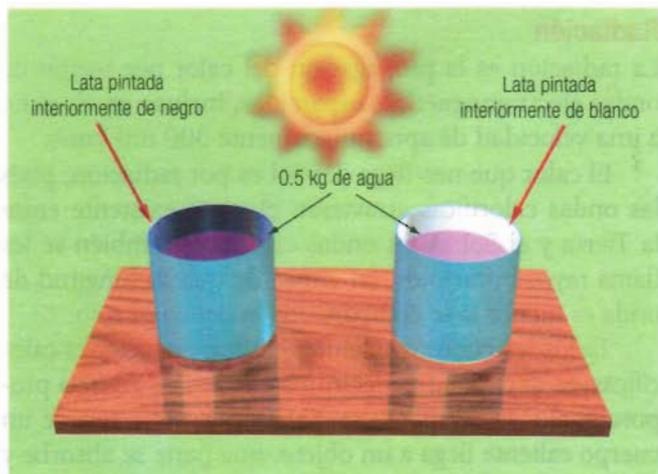


Fig. 11.11 Una lata pintada interiormente de negro se calienta más que una lata pintada de blanco, ya que absorbe mejor la energía radiante del Sol.

Transformación de la energía solar

Actualmente, el aprovechamiento de la energía solar por el hombre está en pleno desarrollo, pues además de los usos señalados, también se están construyendo **destiladores solares** para obtener agua potable a partir del agua de los mares (**FIGURA 11.12**). Se han construido **desechadores solares** de frutos y pescados, así como **baterías solares**

con placas semiconductoras que transforman la energía luminosa del Sol en energía eléctrica. Hoy, las baterías solares se utilizan en motores para lograr la locomoción de autos eléctricos, en el funcionamiento de receptores de radio, de calculadoras de bolsillo y en algunos dispositivos eléctricos de las naves espaciales, entre otros usos.



Fig. 11.12 En los destiladores solares se utiliza la energía calorífica proveniente del Sol para obtener agua potable a partir del agua salada de los mares.

7 Unidades para medir el calor

Como ya señalamos, el calor es una forma de energía llamada energía calorífica. Por tanto, **las unidades para medir el calor son las mismas del trabajo mecánico y de la energía:**

Sistema Internacional de Unidades (SI):

$$\text{joule} = \text{newton metro} = \text{N m} = \text{J}$$

Además del joule, aún se utilizan unidades como la **caloría** y el **Btu**, que a continuación describiremos.

Caloría

Es la cantidad de calor aplicado a un gramo de agua para elevar su temperatura $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, de 14.5 a $15.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kilocaloría

Es un múltiplo de la caloría y equivale a:

$$1 \text{ kcal} = 1\,000 \text{ cal}$$

Como se señaló en la segunda unidad aún se usa mucho el Sistema Inglés a pesar de los inconvenientes que presenta. Por ello, es necesario describir a la unidad

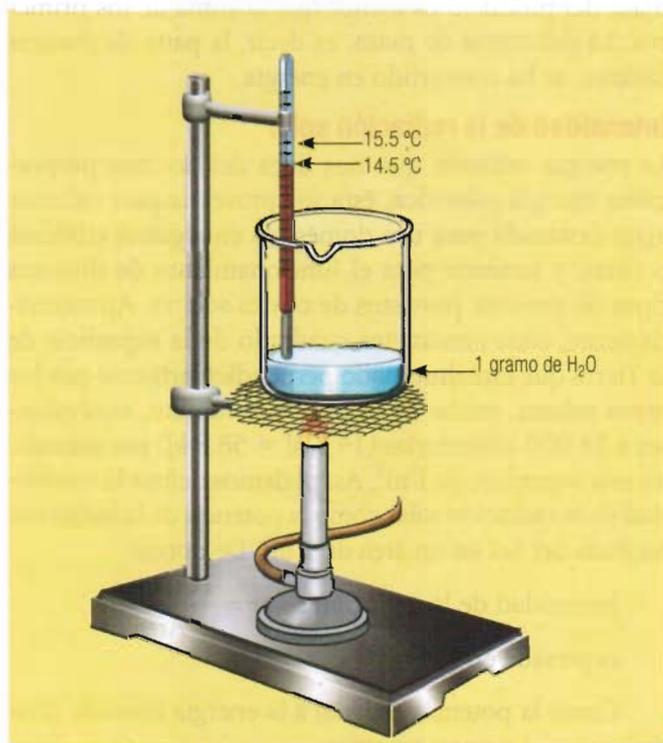


Fig. 11.13 Para que un gramo de agua aumente su temperatura un grado Celsius, se debe suministrar una caloría de energía térmica.

de calor usada por el Sistema Inglés que es el *BTU* (por sus siglas en inglés: *British Thermal Unit*).

BTU

Es la cantidad de calor aplicada a una libra de agua (454 g) para que eleve su temperatura un grado Fahrenheit:

$$1 \text{ BTU} = 252 \text{ cal} = 0.252 \text{ kcal}$$

8 Capacidad calorífica

A partir de experimentos se ha observado que al suministrar la misma cantidad de calor a dos sustancias diferentes, el aumento de temperatura no es el mismo. Por consiguiente, para conocer el aumento de temperatura que tiene una sustancia cuando recibe calor, emplearemos su **capacidad calorífica**, la cual se define como la relación existente entre la cantidad de calor ΔQ que recibe y su correspondiente elevación de temperatura ΔT .

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

Como el calor puede estar expresado en calorías, *kcal*, joule y *BTU*; y la temperatura en $^{\circ}\text{C}$, K o $^{\circ}\text{F}$; las unidades de la capacidad calorífica pueden ser en: $\text{cal}/^{\circ}\text{C}$, $\text{kcal}/^{\circ}\text{C}$, $\text{J}/^{\circ}\text{C}$, J/K , $\text{BTU}/^{\circ}\text{F}$.

En la determinación de la capacidad calorífica de una sustancia debe especificarse si se hace a presión o a volu-

men constante y se indicará de la siguiente manera: C_p si es a presión constante, C_v si es a volumen constante. La capacidad calorífica de una sustancia tiene un valor mayor si se lleva a cabo a presión constante, que si es realizada a volumen constante. Toda vez que al aplicar presión constante a una sustancia, ésta sufre un aumento en su volumen, lo que provoca una disminución en su temperatura y, consecuentemente, necesitará más calor para elevarla. A volumen constante, todo el calor suministrado a la sustancia pasa a aumentar la energía cinética de las moléculas, por tanto, la temperatura se incrementa con mayor facilidad, tal como sucede en una olla express.

$$1 \text{ joule} = 0.24 \text{ cal}$$

$$1 \text{ caloría} = 4.2 \text{ J}$$

Es evidente que mientras más alto sea el valor de la capacidad calorífica de una sustancia, significa que requiere mayor cantidad de calor para elevar su temperatura.

Es evidente que mientras más alto sea el valor de la capacidad calorífica de una sustancia, significa que requiere mayor cantidad de calor para elevar su temperatura.

9 Calor específico

Puesto que la capacidad calorífica de una sustancia es la relación entre el calor recibido y su variación de temperatura; si calentamos diferentes masas de una misma sustancia, observaremos que su capacidad calorífica es distinta. Por ejemplo, al calentar dos trozos de hierro, uno de dos kg y otro de diez kg, la relación $\Delta Q/\Delta T = C$ es diferente entre los dos trozos, aunque se trata de la misma sustancia. Pero si dividimos el valor de la capacidad calorífica de cada trozo de hierro entre su masa, encontraremos que la relación: capacidad calorífica/masa, o bien, C/m para cada trozo es la misma. De donde: para un mismo material independientemente de su masa $C/m = \text{constante}$. A esta relación se le nombra **calor específico** y es una propiedad característica de la materia.

Por definición: el calor específico C_e de una sustancia es igual a la capacidad calorífica C de dicha sustancia entre su masa m :

$$C_e = \frac{C}{m}, \text{ como } C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

$$C_e = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} \therefore \Delta Q = mC_e\Delta T$$

En términos prácticos, el calor específico se define como la cantidad de calor que necesita un gramo de una sustancia para elevar su temperatura un grado centígrado.

En el CUADRO 11.4 se dan valores del calor específico para algunas sustancias. En el caso del agua, su valor es de $1 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}$, esto quiere decir que un gramo de agua aumenta su temperatura un grado centígrado cuando se le suministra una cantidad de calor igual a una caloría.

Según el CUADRO 11.4 el agua tiene mayor calor específico, lo cual significa que necesita más calor para elevar su temperatura. Por ejemplo, cuando se pone a calentar por separado la misma masa de dos sustancias diferentes, como el agua y la plata, se observará que al aplicarles cantidades iguales de calor, la plata se calentará aproximadamente 18 veces más rápido en comparación con el agua, por tanto, cuando ésta suba 1°C de temperatura la plata subirá 18°C (FIGURA 11.14).

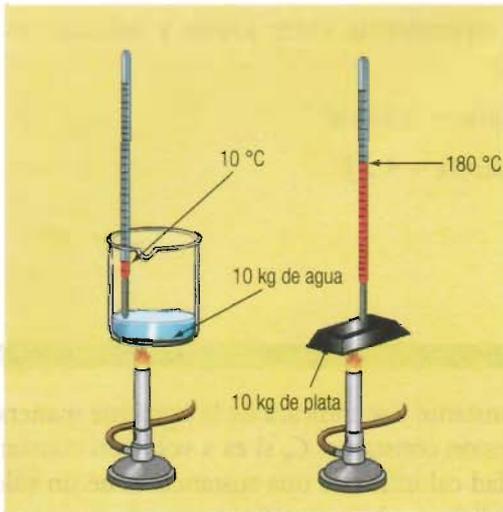


Fig. 11.14 Al aplicar el mismo calor a dos masas iguales de agua y plata, ésta se calienta 18 veces más rápido que el agua, pues es menor su calor específico.

| Cuadro 11.4 CALORES ESPECÍFICOS (A PRESIÓN CONSTANTE) | | |
|---|----------|---------|
| Sustancia | cal/g °C | J/kg °C |
| Agua | 1.00 | 4 200 |
| Hielo | 0.50 | 2 100 |
| Vapor | 0.48 | 2 016 |
| Hierro | 0.113 | 475 |
| Cobre | 0.093 | 391 |
| Aluminio | 0.217 | 911 |
| Plata | 0.056 | 235 |
| Vidrio | 0.199 | 836 |
| Mercurio | 0.033 | 139 |
| Plomo | 0.031 | 130 |

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Calor específico

1. ¿Qué cantidad de calor se debe aplicar a una barra de plata de 12 kg para que eleve su temperatura de 22 °C a 90 °C?

Solución:

Datos

$\Delta Q = ?$

$m = 12 \text{ kg} = 12\,000 \text{ g}$

$T_0 = 22 \text{ °C}$

$T_f = 90 \text{ °C}$

$Ce_{Ag} = 0.056 \text{ cal/g °C}$

Fórmula

$\Delta Q = mCe\Delta T$

Sustitución y resultado

$\Delta Q = 12\,000 \text{ g} \times 0.056 \text{ cal/g °C} (90 \text{ °C} - 22 \text{ °C})$
 $= 45\,696 \text{ cal}$

2. 600 g de hierro se encuentran a una temperatura de 20 °C. ¿Cuál será su temperatura final si le suministran 8 000 calorías?

Solución:

Datos

$m = 600 \text{ g}$

$T_0 = 20 \text{ °C}$

$T_f = ?$

$\Delta Q = 8\,000 \text{ cal}$

Fórmula

$\Delta Q = mCe(T_f - T_0)$

Despejando a T_f
por pasos

$Ce_{Fe} = 0.113 \text{ cal/g °C}$

$T_f - T_0 = \frac{\Delta Q}{mCe}$

$\therefore T_f = \frac{\Delta Q}{mCe} + T_0$

Sustitución y resultado

$T_f = \frac{8\,000 \text{ cal}}{600 \text{ g} \times 0.113 \text{ cal/g °C}} + 20 \text{ °C}$
 $= 117.99 \text{ °C} + 20 \text{ °C} = 137.99 \text{ °C}$

3. ¿Qué cantidad de calor se necesita suministrar a 500 g de agua para que eleve su temperatura de 10 °C a 80 °C?

Solución:

Datos

$\Delta Q = ?$

$m = 500 \text{ g}$

$T_0 = 10 \text{ °C}$

$T_f = 80 \text{ °C}$

$Ce_{H_2O} = 1 \text{ cal/g °C}$

Fórmula

$\Delta Q = mCe\Delta T$

Sustitución y resultado

$\Delta Q = 500 \text{ g} \times 1 \text{ cal/g °C} (80 \text{ °C} - 10 \text{ °C})$
 $= 35\,000 \text{ cal}$

4. ¿Cuántas calorías se deben suministrar para que un trozo de hierro de 0.3 kg eleve su temperatura de 20 °C a 100 °C?

Solución:

Datos

$\Delta Q = ?$

$m = 0.3 \text{ kg} = 300 \text{ g}$

$T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_f = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

$Ce_{\text{Fe}} = 0.113 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$

Fórmula

$Q = mCe\Delta T$

Sustitución y resultado

$Q = 300 \text{ g} \times 0.113 \text{ cal/g }^\circ\text{C} \times 80 \text{ }^\circ\text{C} = 2\,712 \text{ cal}$

5. Determine el calor específico de una muestra metálica de 100 g que requiere 868 calorías para elevar su temperatura de 50 °C a 90 °C. Consulte el cuadro 11.4 a fin de identificar de qué sustancia se trata.

Solución:

Datos

$Ce = ?$

$m = 100 \text{ g}$

$\Delta Q = 868 \text{ cal}$

$\Delta T = 90 \text{ }^\circ\text{C} - 50 \text{ }^\circ\text{C} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

Fórmula

$Ce = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$

Sustitución y resultado

$Ce = \frac{868 \text{ cal}}{100 \text{ g} \times 40 \text{ }^\circ\text{C}} = 0.217 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$

Al consultar el **CUADRO 11.4** encontraremos que la muestra metálica **es de aluminio**.

6. Determinar la cantidad de calor que cede al ambiente una barra de plata de 600 g al enfriarse de 200 °C a 50 °C.

Solución:

Datos

$\Delta Q = ?$

$m = 600 \text{ g}$

$T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_f = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

$Ce_{\text{Ag}} = 0.056 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$

Fórmula

$\Delta Q = mCe\Delta T$

Sustitución y resultado

$\Delta Q = 600 \text{ g} \times 0.056 \text{ cal/g }^\circ\text{C} (50 \text{ }^\circ\text{C} - 200 \text{ }^\circ\text{C})$
 $= -5\,040 \text{ cal}$

Nota: El signo (-) indica que la temperatura del cuerpo disminuyó al ceder calor al ambiente.

EJERCICIOS PROPUESTOS

1. ¿Qué cantidad de calor se debe aplicar a un trozo de plomo de 850 g para que eleve su temperatura de 18 °C a 120 °C?

Dato: $Ce_{\text{Pb}} = 0.031 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$

Respuesta:

$\Delta Q = 2\,687.7 \text{ cal}$

2. La temperatura inicial de una barra de aluminio de 3 kg es de 25 °C. ¿Cuál será su temperatura final si al ser calentada recibe 12 000 calorías?

Dato: $Ce_{\text{Al}} = 0.217 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$

Respuesta:

$T_f = 43.43 \text{ }^\circ\text{C}$

3. ¿Qué cantidad de calor necesitará 60 g de agua para que su temperatura aumente de 25 °C a 100 °C?

Respuesta:

$\Delta Q = 4\,500 \text{ cal}$

4. Determine las calorías requeridas por una barra de cobre de 2.5 kg para que su temperatura aumente de 12 °C a 300 °C.

Respuesta:

$\Delta Q = 66\,960 \text{ cal}$

5. Determine el calor específico de una muestra metálica de 400 g, si al suministrarle 620 calorías aumentó su temperatura de 15 °C a 65 °C. Consulte el **CUADRO 11.4** e identifique de qué sustancia se trata.

Respuestas:

$Ce = 0.031 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$

La muestra es de plomo.

6. 2 kg de agua se enfrían de 100 °C a 15 °C. ¿Qué cantidad de calor cedieron al ambiente?

Respuesta:

$\Delta Q = 170\,000 \text{ cal}$