

# Mecánica y termodinámica

Primer cuatrimestre de 2020

Calorimetría



"Medición del calor"

**DEFINICIÓN** El calor es la **energía transferida** a un cuerpo que resulta exclusivamente en un cambio de la temperatura del mismo o en una transformación de fase.

↑  
Temperatura final  
distinta de la  
temperatura inicial.

↑  
+ Gas  
Líquido  
Sólido ↓ -

¿Cómo calculamos el calor en un proceso?

## CAMBIO DE TEMPERATURA

$$dQ = c(T) m dT$$

Si el **calor específico** no depende de la temperatura:

$$Q = c m (T_f - T_i)$$

# ¿Cómo calculamos el calor en un proceso?

## CAMBIO DE TEMPERATURA

$$dQ = c(T) m dT$$

Si el **calor específico** no depende de la temperatura:

$$Q = c m (T_f - T_i)$$

## TRANSFORMACIÓN DE FASE

$$Q = \pm L m$$

$L$  se denomina **calor latente** y es una propiedad del material con el que estamos trabajando.

En ambos casos,  $Q$  es el **calor absorbido por el cuerpo**. En un cambio de temperatura el signo está incluido en la diferencia de temperaturas, pero en el caso de la transformación de fase debemos agregarlo a mano.

# Hablemos de unidades...

- El **calor** tiene unidad de energía, por ejemplo la caloría o el Joule.
- El **calor específico** o **capacidad calorífica específica** tiene unidad de energía por unidad de masa y de temperatura. Por ejemplo: caloría por gramo y por Kelvin.
- El **calor latente** tiene unidad de energía por unidad de masa. Por ejemplo: caloría por gramo.

## Transformación de unidades

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$$

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = 4184 \text{ J}$$

$$1000 \text{ g} = 1 \text{ kg}$$

$$T_K \approx T_C + 273$$

*Ayudita.* Las temperaturas en Kelvin y en grados centígrados son distintas. Por ejemplo, 20 °C es lo mismo es 293 K y 10 °C es lo mismo que 283 K. Sin embargo, la diferencia es numéricamente la misma. Fijense que 20 °C – 10 °C = 10 °C y que 293 K - 283 K = 10 K. Debido a esto, si queremos cambiar la unidad de temperatura en el calor específico, podemos simplemente reemplazar K por °C y viceversa.

## Ejercicio 8.1

¿Qué cantidad de calor tendrá que dar un radiador para elevar en  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  la temperatura de una habitación de  $80\text{ m}^3$ ? Capacidad calorífica específica del aire es  $0,24\text{ cal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .  
Densidad del aire:  $0,001293\text{ g cm}^{-3}$ .

$$Q = c m (T_f - T_i)$$

## Ejercicio 8.1

¿Qué cantidad de calor tendrá que dar un radiador para elevar en 10 °C la temperatura de una habitación de 80 m<sup>3</sup>? Capacidad calorífica específica del aire es 0,24 cal g<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>.  
Densidad del aire: 0,001293 g cm<sup>-3</sup>.

$$Q = c m (T_f - T_i)$$

La **capacidad calorífica específica** es dato:

$$c = 0,24 \text{ cal g}^{-1} \text{ °C}^{-1}$$

La **masa** la podemos calcular:

$$\begin{aligned} m &= \rho \times V \\ m &= 0,001293 \text{ g cm}^{-3} \times 80 \text{ m}^3 \\ m &= 103440 \text{ g} \end{aligned}$$

La **diferencia de temperaturas** es dato:

$$\Delta T = 10 \text{ °C}$$

## Ejercicio 8.1

¿Qué cantidad de calor tendrá que dar un radiador para elevar en 10 °C la temperatura de una habitación de 80 m<sup>3</sup>? Capacidad calorífica específica del aire es 0,24 cal g<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>.  
Densidad del aire: 0,001293 g cm<sup>-3</sup>.

$$Q = c m (T_f - T_i)$$

La **capacidad calorífica específica** es dato:

$$c = 0,24 \text{ cal g}^{-1} \text{ °C}^{-1}$$

La **masa** la podemos calcular:

$$\begin{aligned} m &= \rho \times V \\ m &= 0,001293 \text{ g cm}^{-3} \times 80 \text{ m}^3 \\ m &= 103440 \text{ g} \end{aligned}$$

La **diferencia de temperaturas** es dato:

$$\Delta T = 10 \text{ °C}$$

$$Q = 0,24 \text{ cal g}^{-1} \text{ °C}^{-1} \times 103440 \text{ g} \times 10 \text{ °C} = 248256 \text{ cal}$$

## Ejercicio 8.2

Hallar la cantidad de calor que es necesario entregar a 1000 g de una sustancia para elevar su temperatura de 50 °C a 100 °C, sabiendo que el calor específico de la sustancia varía linealmente según la ecuación:  $c_p = c_0 + \alpha T$ .

Datos:  $c_0 = 0,19 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\alpha = 4 \times 10^{-4} \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$ .



## Ejercicio 8.2

Hallar la cantidad de calor que es necesario entregar a 1000 g de una sustancia para elevar su temperatura de 50 °C a 100 °C, sabiendo que el calor específico de la sustancia varía linealmente según la ecuación:  $c_p = c_0 + \alpha T$ .

Datos:  $c_0 = 0,19 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\alpha = 4 \times 10^{-4} \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$ .

$$dQ = c(T) m dT$$

## Ejercicio 8.2

Hallar la cantidad de calor que es necesario entregar a 1000 g de una sustancia para elevar su temperatura de 50 °C a 100 °C, sabiendo que el calor específico de la sustancia varía linealmente según la ecuación:  $c_p = c_0 + \alpha T$ .

Datos:  $c_0 = 0,19 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\alpha = 4 \times 10^{-4} \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$ .

$$dQ = c(T) m dT$$

$$Q = m \int_{T_i}^{T_f} c(T) dT$$

## Ejercicio 8.2

Hallar la cantidad de calor que es necesario entregar a 1000 g de una sustancia para elevar su temperatura de 50 °C a 100 °C, sabiendo que el calor específico de la sustancia varía linealmente según la ecuación:  $c_p = c_0 + \alpha T$ .

Datos:  $c_0 = 0,19 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\alpha = 4 \times 10^{-4} \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$ .

$$dQ = c(T) m dT$$

$$Q = m \int_{T_i}^{T_f} c(T) dT$$

$$Q = m c_0 (T_f - T_i) + m \frac{\alpha}{2} (T_f^2 - T_i^2)$$

## Ejercicio 8.3

Determine la cantidad de calor necesaria para pasar 2 kg de hielo a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vapor a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Datos:

$$c_{\text{hielo}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{agua}} = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{vapor}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$L_{\text{fusión}} = 80 \text{ cal g}^{-1}$$

$$L_{\text{vaporización}} = 540 \text{ cal g}^{-1}$$

Recordemos:

$$Q = m c (T_f - T_i)$$

$$Q = \pm L m$$

## Ejercicio 8.3

Determine la cantidad de calor necesaria para pasar 2 kg de hielo a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vapor a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Datos:

$$c_{\text{hielo}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{agua}} = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{vapor}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$L_{\text{fusión}} = 80 \text{ cal g}^{-1}$$

$$L_{\text{vaporización}} = 540 \text{ cal g}^{-1}$$

Recordemos:

$$Q = m c (T_f - T_i)$$

$$Q = \pm L m$$

1 Calentamos hielo de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_1 = 2000 \text{ g} \times 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (0\text{ }^{\circ}\text{C} - (-20\text{ }^{\circ}\text{C})) = 20000 \text{ cal}$$

## Ejercicio 8.3

Determine la cantidad de calor necesaria para pasar 2 kg de hielo a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vapor a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Datos:

$$c_{\text{hielo}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{agua}} = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{vapor}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$L_{\text{fusión}} = 80 \text{ cal g}^{-1}$$

$$L_{\text{vaporización}} = 540 \text{ cal g}^{-1}$$

Recordemos:

$$Q = m c (T_f - T_i)$$

$$Q = \pm L m$$

**1** Calentamos hielo de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_1 = 2000 \text{ g} \times 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (0\text{ }^{\circ}\text{C} - (-20\text{ }^{\circ}\text{C})) = 20000 \text{ cal}$$

**2** Derretimos el hielo a temperatura constante:

$$Q_2 = 80 \text{ cal g}^{-1} \times 2000 \text{ g} = 160000 \text{ cal}$$

## Ejercicio 8.3

Determine la cantidad de calor necesaria para pasar 2 kg de hielo a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vapor a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Datos:

$$c_{\text{hielo}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{agua}} = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{vapor}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$L_{\text{fusión}} = 80 \text{ cal g}^{-1}$$

$$L_{\text{vaporización}} = 540 \text{ cal g}^{-1}$$

Recordemos:

$$Q = m c (T_f - T_i)$$

$$Q = \pm L m$$

**1** Calentamos hielo de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_1 = 2000 \text{ g} \times 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (0\text{ }^{\circ}\text{C} - (-20\text{ }^{\circ}\text{C})) = 20000 \text{ cal}$$

**2** Derretimos el hielo a temperatura constante:

$$Q_2 = 80 \text{ cal g}^{-1} \times 2000 \text{ g} = 160000 \text{ cal}$$

**3** Calentamos el agua de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_3 = 2000 \text{ g} \times 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (100\text{ }^{\circ}\text{C} - 0\text{ }^{\circ}\text{C}) = 200000 \text{ cal}$$

## Ejercicio 8.3

Determine la cantidad de calor necesaria para pasar 2 kg de hielo a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vapor a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Datos:

$$c_{\text{hielo}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{agua}} = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{vapor}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$L_{\text{fusión}} = 80 \text{ cal g}^{-1}$$

$$L_{\text{vaporización}} = 540 \text{ cal g}^{-1}$$

Recordemos:

$$Q = m c (T_f - T_i)$$

$$Q = \pm L m$$

**1** Calentamos hielo de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_1 = 2000 \text{ g} \times 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (0\text{ }^{\circ}\text{C} - (-20\text{ }^{\circ}\text{C})) = 20000 \text{ cal}$$

**2** Derretimos el hielo a temperatura constante:

$$Q_2 = 80 \text{ cal g}^{-1} \times 2000 \text{ g} = 160000 \text{ cal}$$

**3** Calentamos el agua de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_3 = 2000 \text{ g} \times 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (100\text{ }^{\circ}\text{C} - 0\text{ }^{\circ}\text{C}) = 200000 \text{ cal}$$

**4** Evaporamos el agua a temperatura constante:

$$Q_4 = 540 \text{ cal g}^{-1} \times 2000 \text{ g} = 1080000 \text{ cal}$$



## Ejercicio 8.3

Determine la cantidad de calor necesaria para pasar 2 kg de hielo a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vapor a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Datos:

$$c_{\text{hielo}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{agua}} = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{vapor}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$L_{\text{fusión}} = 80 \text{ cal g}^{-1}$$

$$L_{\text{vaporización}} = 540 \text{ cal g}^{-1}$$

Recordemos:

$$Q = m c (T_f - T_i)$$

$$Q = \pm L m$$

**1** Calentamos hielo de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_1 = 2000 \text{ g} \times 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (0\text{ }^{\circ}\text{C} - (-20\text{ }^{\circ}\text{C})) = 20000 \text{ cal}$$

**2** Derretimos el hielo a temperatura constante:

$$Q_2 = 80 \text{ cal g}^{-1} \times 2000 \text{ g} = 160000 \text{ cal}$$

**3** Calentamos el agua de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_3 = 2000 \text{ g} \times 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (100\text{ }^{\circ}\text{C} - 0\text{ }^{\circ}\text{C}) = 200000 \text{ cal}$$

**4** Evaporamos el agua a temperatura constante:

$$Q_4 = 540 \text{ cal g}^{-1} \times 2000 \text{ g} = 1080000 \text{ cal}$$

**5** Calentamos el vapor de  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_5 = 2000 \text{ g} \times 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (120\text{ }^{\circ}\text{C} - 100\text{ }^{\circ}\text{C}) = 20000 \text{ cal}$$

## Ejercicio 8.3

Determine la cantidad de calor necesaria para pasar 2 kg de hielo a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vapor a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Datos:

$$c_{\text{hielo}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{agua}} = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{vapor}} = 0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$L_{\text{fusión}} = 80 \text{ cal g}^{-1}$$

$$L_{\text{vaporización}} = 540 \text{ cal g}^{-1}$$

Recordemos:

$$Q = m c (T_f - T_i)$$

$$Q = \pm L m$$

El calor total que necesitamos es la suma de todos los calores que calculamos:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

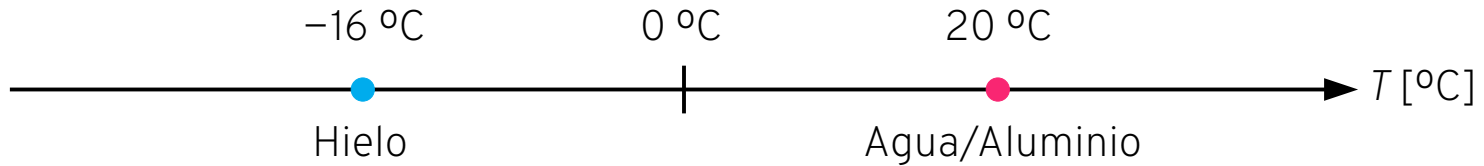
$$Q = 1480000 \text{ cal}$$

## Ejercicio 8.6

Dentro de un calorímetro perfecto que contiene 1000 g de agua a 20 °C, se introducen 500 g de hielo a -16 °C. El vaso calorimétrico es de aluminio ( $c_{Al} = 0,22 \text{ cal g}^{-1} \text{ °C}^{-1}$ ) y tiene una masa de 300 g. Calcule la temperatura final del sistema.

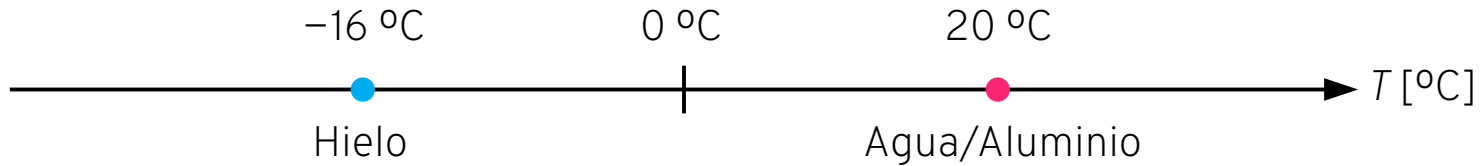
## Ejercicio 8.6

Dentro de un calorímetro perfecto que contiene 1000 g de agua a 20 °C, se introducen 500 g de hielo a -16 °C. El vaso calorimétrico es de aluminio ( $c_{\text{Al}} = 0,22 \text{ cal g}^{-1} \text{ °C}^{-1}$ ) y tiene una masa de 300 g. Calcule la temperatura final del sistema.



## Ejercicio 8.6

Dentro de un calorímetro perfecto que contiene 1000 g de agua a 20 °C, se introducen 500 g de hielo a -16 °C. El vaso calorimétrico es de aluminio ( $c_{\text{Al}} = 0,22 \text{ cal g}^{-1} \text{ °C}^{-1}$ ) y tiene una masa de 300 g. Calcule la temperatura final del sistema.



Tenemos tres posibilidades para la temperatura final del sistema.

- (a)  $T > 0^{\circ}\text{C}$  → ¿Cuál es la temperatura final?
- (b)  $T < 0^{\circ}\text{C}$  → ¿Cuál es la temperatura final?
- (c)  $T = 0^{\circ}\text{C}$  → ¿Cuánta masa de hielo se derrite?/¿Cuánta masa de agua se congela?

## Ejercicio 8.6

Veamos al caso **(a)**, con  $T > 0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**[Hielo]**

$$Q_h = c_h \times m_h \times (0 \text{ }^\circ\text{C} - T_h) + L_f \times m_h + m_h \times c_a \times (T_f - 0 \text{ }^\circ\text{C})$$

**[Agua]**

$$Q_a = c_a \times m_a \times (T_f - T_a)$$

**[Aluminio]**

$$Q_{Al} = c_{Al} \times m_{Al} \times (T_f - T_{Al})$$

## Ejercicio 8.6

Veamos al caso **(a)**, con  $T > 0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**[Hielo]**

$$Q_h = c_h \times m_h \times (0 \text{ }^\circ\text{C} - T_h) + L_f \times m_h + m_h \times c_a \times (T_f - 0 \text{ }^\circ\text{C})$$

**[Agua]**

$$Q_a = c_a \times m_a \times (T_f - T_a)$$

**[Aluminio]**

$$Q_{Al} = c_{Al} \times m_{Al} \times (T_f - T_{Al})$$

Como estamos en un calorímetro:

$$Q = 0 = Q_a + Q_h + Q_{Al}$$

$$T_f = -14,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Llegamos a un absurdo, por lo que tenemos que descartar el caso (a).

## Ejercicio 8.6

Resulta que la opción correcta es la **(c)**, con  $T = 0$  °C. Tenemos que calcular entonces la cantidad de masa de hielo que se derrite o de agua que se congela.



## Ejercicio 8.6

Resulta que la opción correcta es la **(c)**, con  $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tenemos que calcular entonces la cantidad de masa de hielo que se derrite o de agua que se congela.

**[Hielo]**

$$Q_h = c_h \times m_h \times (0\text{ }^{\circ}\text{C} - T_h) + L_f \times m'$$

**[Agua]**

$$Q_a = c_a \times m_a \times (0\text{ }^{\circ}\text{C} - T_a)$$

**[Aluminio]**

$$Q_{Al} = c_{Al} \times m_{Al} \times (0\text{ }^{\circ}\text{C} - T_{Al})$$

## Ejercicio 8.6

Resulta que la opción correcta es la **(c)**, con  $T = 0\text{ °C}$ . Tenemos que calcular entonces la cantidad de masa de hielo que se derrite o de agua que se congela.

**[Hielo]**

$$Q_h = c_h \times m_h \times (0\text{ °C} - T_h) + L_f \times m'$$

**[Agua]**

$$Q_a = c_a \times m_a \times (0\text{ °C} - T_a)$$

**[Aluminio]**

$$Q_{Al} = c_{Al} \times m_{Al} \times (0\text{ °C} - T_{Al})$$

$$Q = 0 = Q_a + Q_h + Q_{Al}$$

$$m' = 216,5\text{ g}$$

¿Y si  $m'$  nos da negativo?