

Temperatura

Escalas Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

Temperatura y calor

Temperatura

Escalas Celsius y Fahrenheit
Ejemplo 1
Ejemplo 2
Escala Kelvin
Termómetros
Termocupla
Termógrafos

Expansión térmica

Lineal
Ejemplo 1
Ejemplo 2
Volumétrica
Ejemplo 3

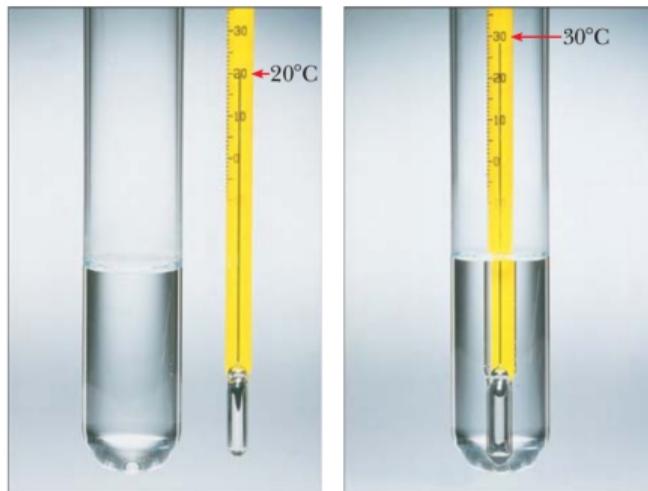
Calor

Calor específico
Ejemplo 4
Calorimetría
Ejemplo 5

Cambios de fase

Ejemplo 6
Calor latente
Ejemplo 7

Para la descripción de fenómenos térmicos es necesario contar con magnitudes precisas que cuantifiquen dichos fenómenos. Comenzaremos estudiando la **Temperatura** y los métodos por los cuales se determina la misma.



La temperatura se determina a través de **termómetros**, los cuales funcionan registrando la alteración de alguna propiedad física de los mismos frente al cambio de temperatura

Temperatura

Escalas Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de fase

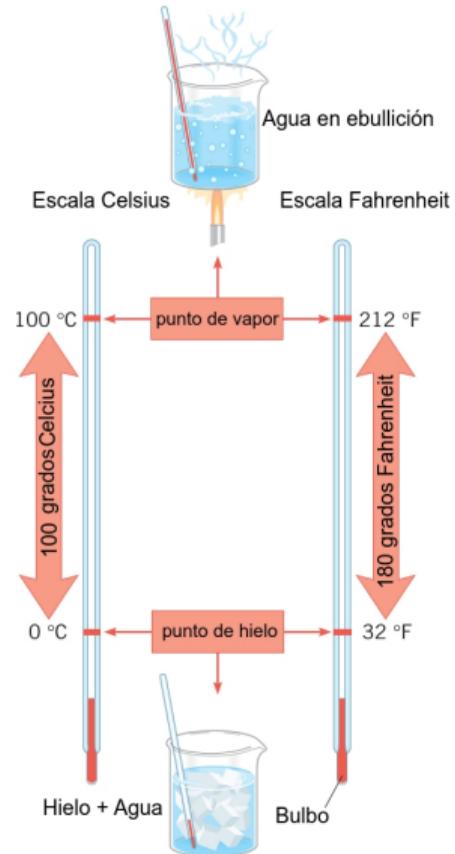
Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

Origen de las escalas: se definen dos puntos de temperatura reproducibles y se divide la distancia entre ellos en un número de intervalos equiespaciados

$$100^{\circ}C = 180^{\circ}F \longrightarrow 1^{\circ}C = 1.8^{\circ}F$$



Temperatura

Escala Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

Una persona saludable posee temperatura corporal de 98.6°F ¿Cuál sería el valor en la escala Celsius?

$$98.6^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F} = 66.6^{\circ}\text{F} \leftarrow \text{grados por encima del punto de hielo}$$

$$66.6^{\circ}\text{F} \frac{1^{\circ}\text{C}}{1.8^{\circ}\text{F}} = 66.6^{\circ}\text{F} \frac{1^{\circ}\text{C}}{1.8^{\circ}\text{F}} = 37^{\circ}\text{C} \quad \text{multiplico y divido por } 1^{\circ}\text{C}$$

$$\underbrace{0^{\circ}\text{C}}_{\text{punto de hielo}} + 37^{\circ}\text{C} = 37^{\circ}\text{C}$$

$$\longrightarrow \boxed{98.6^{\circ}\text{F} = 37^{\circ}\text{C}}$$

El termómetro indica que en el exterior la temperatura es -20.0°C . Encontrar la correspondiente temperatura en la escala Fahrenheit

$$20^{\circ}\text{C} \frac{1^{\circ}\text{C}}{1^{\circ}\text{C}} = 20^{\circ}\text{C} \frac{1.8^{\circ}\text{F}}{1^{\circ}\text{C}} = 36^{\circ}\text{F} \leftarrow \text{grados debajo del punto de hielo}$$

$$\underbrace{32^{\circ}\text{C}}_{\text{punto de hielo}} - 36^{\circ}\text{F} = -4^{\circ}\text{F}$$

$$\longrightarrow \boxed{-20^{\circ}\text{C} = -4^{\circ}\text{F}}$$

Temperatura

Escala Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

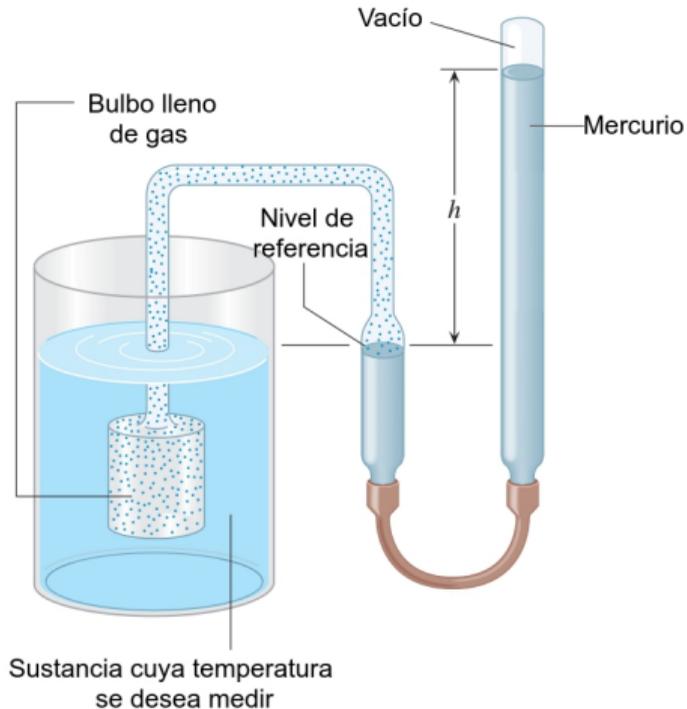
Ejemplo 5

Cambios de fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7



Cuando un gas confinado en un volumen fijo es calentado, su presión se incrementa, contrariamente cuando es enfriado su presión disminuye

Termómetro de gas a volumen constante

Temperatura

Escalas Celsius y

Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

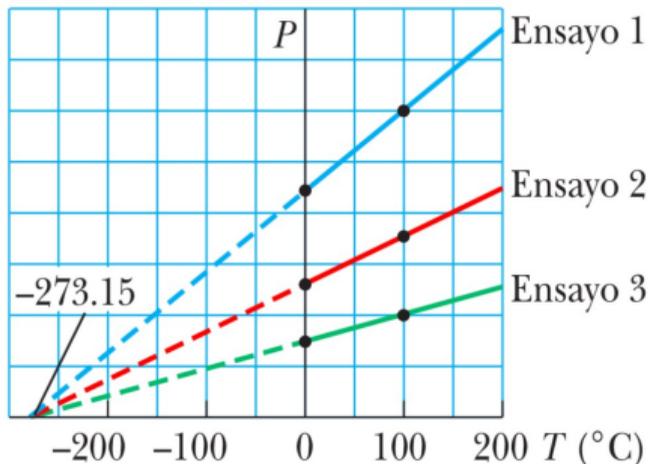
Ejemplo 5

Cambios de fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7



Al disminuir la temperatura disminuye la presión del gas.

Los ensayos muestran que independientemente del tipo de gas utilizado, si extrapolamos las distintas curvas, todas conducen al mismo valor de temperatura a medida que la presión tiende a cero.

Dicho valor de temperatura se denomina **cero absoluto** de temperatura y dio origen a la escala Kelvin (o escala absoluta) de temperatura

Temperatura

Escalas Celsius y

Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión

térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de

fase

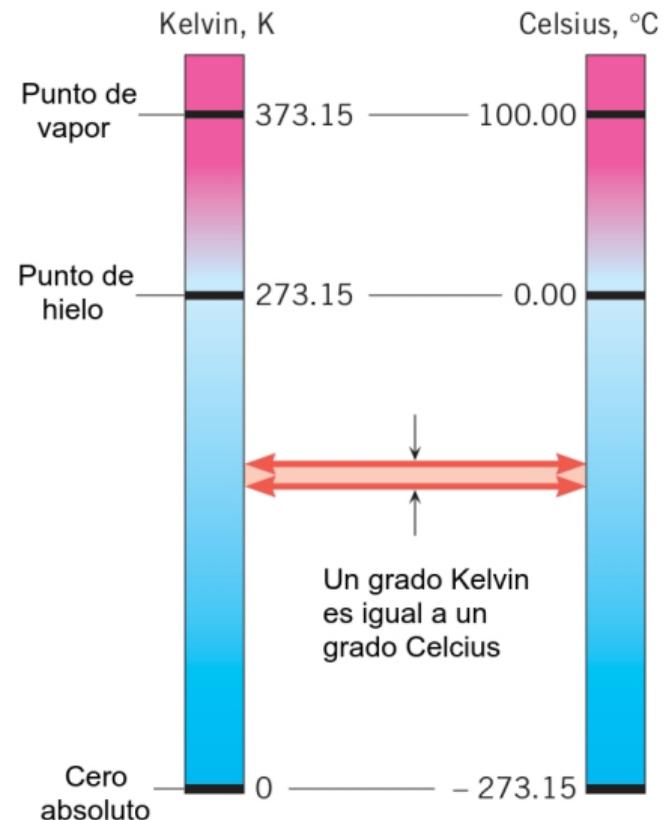
Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

$$T_K = T_{\circ C} + 273.15$$

La temperatura en la escala Kelvin se designa con la letra **K** sin el símbolo de grados (ej. 300 K)



Como vimos anteriormente, los termómetros hacen uso de alguna propiedad física que cambia con la temperatura. En la tabla se detalla el caso de algunos termómetros y la propiedad termométrica asociada en cada caso.

Termómetro	Propiedad termométrica
Mercurio	Expansión del Hg
Gas a volumen constante	Cambio de la presión
Termocupla	Voltage
Resistencia eléctrica	Variación de la resistencia

Temperatura

Escalas Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

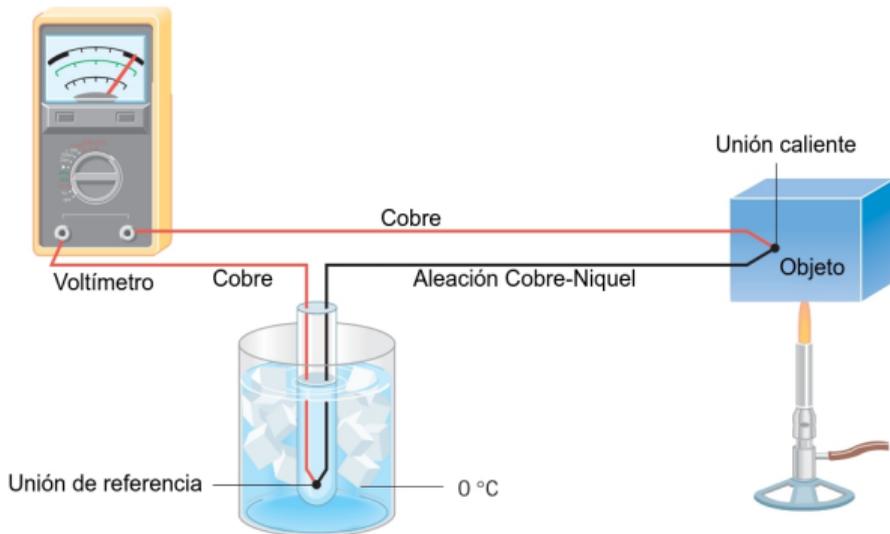
Cambios de fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

Las **Termocuplas** están formadas por la unión de dos metales distintos los cuales producen una diferencia de potencial (voltaje) muy pequeña entre uno de los extremos denominado unión caliente y el otro llamado unión fría. Dicha diferencia de potencial es función de la temperatura. Rango $-270/+2300\text{ }^{\circ}\text{C}$



Los **Termógrafos** permiten determinar temperaturas a distancia, sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Estos dispositivos captan la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras térmicas y convierten la energía radiada en valores de temperaturas



Temperatura

Escala Celsius y

Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión

térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de

fase

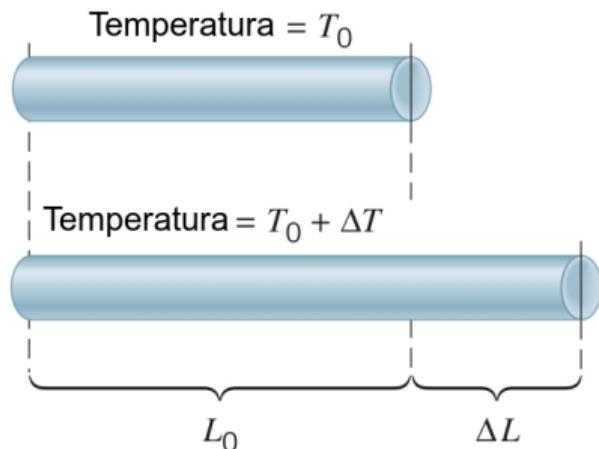
Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

La mayoría de las sustancias se expanden cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían. No obstante, la cantidad de expansión o contracción varía, dependiendo del material.

Los experimentos indican que el cambio en longitud ΔL de casi todos los sólidos es, en una buena aproximación, directamente proporcional al cambio en temperatura ΔT y a la longitud original del objeto L_0 , en tanto ΔT no sea demasiado grande.



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

donde α es el denominado **coeficiente de expansión lineal**. Unidades en el S.I. $(^{\circ}\text{C})^{-1}$

Los coeficientes de expansión lineal se encuentran tabulados para los diferentes materiales

Material	Coefficiente de expansión lineal promedio (α) ($^{\circ}\text{C}$) ⁻¹
Aluminio	24×10^{-6}
Latón y bronce	19×10^{-6}
Cobre	17×10^{-6}
Vidrio (ordinario)	9×10^{-6}
Vidrio (Pyrex)	3.2×10^{-6}
Plomo	29×10^{-6}
Acero	11×10^{-6}
Invar (aleación Ni-Fe)	0.9×10^{-6}
Concreto	12×10^{-6}

Temperatura

Escalas Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

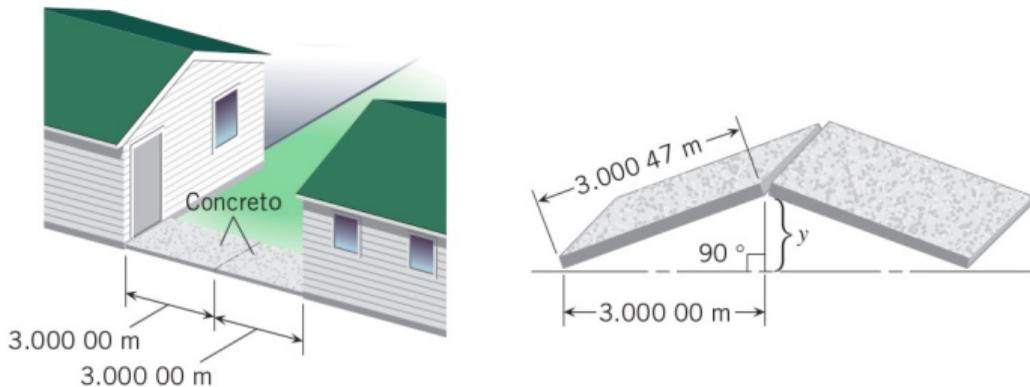
Cambios de fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

Una vereda de concreto es construida entre dos edificios en un día que la T es 25°C . Cuando la temperatura se eleva a 38°C , las placas se expanden, pero no se dejó espacio para dicha expansión. Determinar la distancia "v" que se elevan las placas



$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T = (12 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1})(3.0\text{m})(13^{\circ}\text{C}) = 0.00047\text{ m}$$

$$y = \sqrt{(300047\text{m})^2 + (3.00000\text{m})^2} = \boxed{0.053\text{ m}}$$

Temperatura

Escala Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión

térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

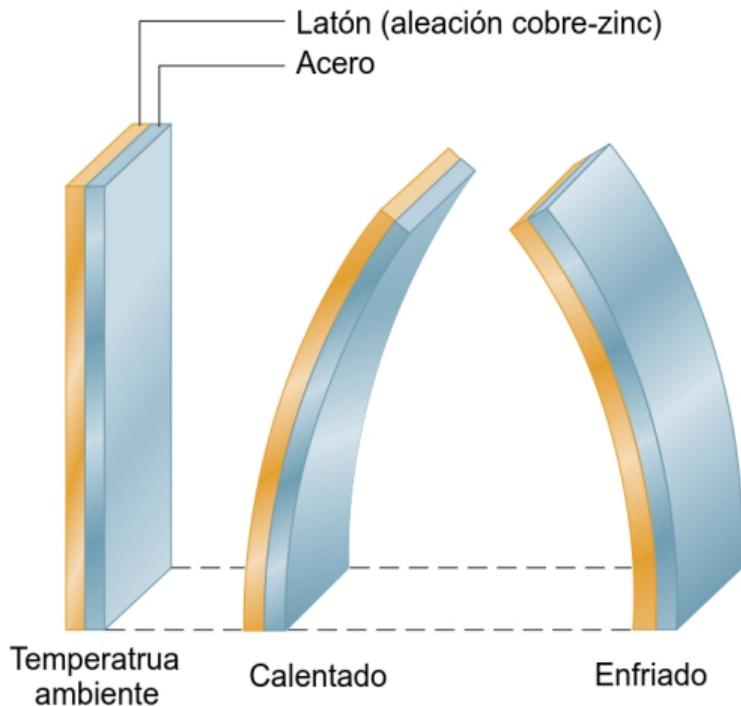
Cambios de

fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

Aplicación de la expansión lineal en el desarrollo de termostatos. **Tira bi-metálica**

Al tener dos coeficientes de expansión distintos, la tira se curva hacia un lado o hacia el otro permitiendo la expansión o contracción de los materiales

Temperatura

Escala Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión

térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de

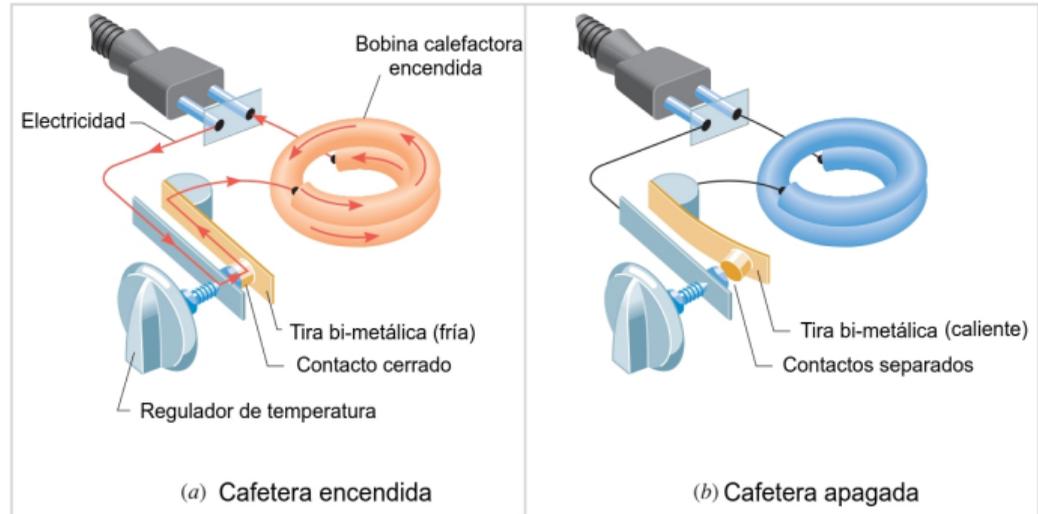
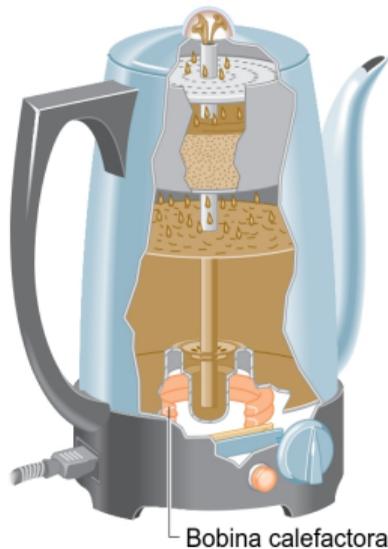
fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

Aplicación de la expansión lineal en el desarrollo de termostatos. **Tira bi-metálica**



Temperatura

Escala Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

Así como la longitud de los objetos se modifica con la temperatura, lo mismo ocurre con su volumen. El incremento en el volumen viene dado por

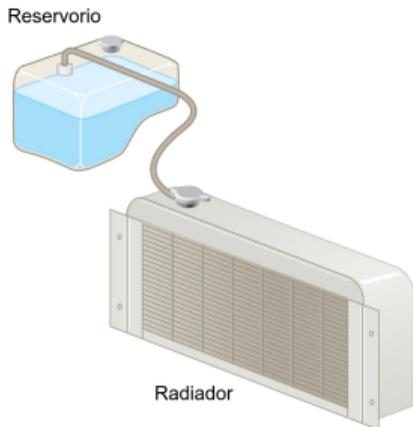
Material	Coefficiente de expansión volumétrica promedio (β) ($^{\circ}\text{C}$) ⁻¹
Alcohol, etílico	1.12×10^{-4}
Benceno	1.24×10^{-4}
Acetona	1.5×10^{-4}
Glicerina	4.85×10^{-4}
Mercurio	1.82×10^{-4}
Trementina	9.0×10^{-4}
Gasolina	9.6×10^{-4}
Aire ^a a 0°C	3.67×10^{-3}
Helio ^a	3.665×10^{-3}

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T$$

donde β es el denominado **coeficiente de expansión volumétrica**. Unidades en el S.I. ($^{\circ}\text{C}$)⁻¹

Para la mayoría de los sólidos, $\beta = 3\alpha$

El reservorio de refrigerante, toma el fluido del radiador que rebalsa cuando el motor del automóvil se calienta. El radiador está hecho de cobre y el refrigerante tiene un coeficiente de expansión térmica de $4.0 \times 10^{-4} (\text{°C})^{-1}$. Si el radiador se llena hasta su capacidad de 15 litros cuando el motor está frío (6°C), ¿cuánto rebalsará y pasará al reservorio cuando el refrigerante alcance su temperatura de operación (92°C)?



$$\Delta V_{\text{refr}} = (4.0 \times 10^{-4} (\text{°C})^{-1})(15 \text{ l})(86^{\circ}\text{C}) = 0.53 \text{ l}$$

$$\Delta V_{\text{rad}} = (51 \times 10^{-6} (\text{°C})^{-1})(15 \text{ l})(86^{\circ}\text{C}) = 0.066 \text{ l}$$

$$\Delta V_{\text{rebalsa}} = 0.53 \text{ l} - 0.066 \text{ l} = 0.46 \text{ l}$$

Al igual que el trabajo, el **calor** implica una transferencia de energía. Definimos el **calor** (Q) como la energía que fluye desde un objeto a alta temperatura hacia otro objeto a baja temperatura, a causa de la diferencia térmica



Unidades en el S.I. joule (J)

Temperatura

Escala Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

El **calor** que fluye desde lo “caliente” hacia lo “frío” y se origina en la **energía interna** de la sustancia caliente



No es correcto decir que una sustancia “contiene calor”

- Temperatura
 - Escalas Celsius y Fahrenheit
 - Ejemplo 1
 - Ejemplo 2
- Escala Kelvin
- Termómetros
- Termocupla
- Termógrafos
- Expansión térmica
 - Lineal
 - Ejemplo 1
 - Ejemplo 2
 - Volumétrica
 - Ejemplo 3
- Calor
 - Calor específico
 - Ejemplo 4
- Calorimetría
- Ejemplo 5
- Cambios de fase
 - Ejemplo 6
- Calor latente
- Ejemplo 7

El calor(Q) que debe ser suministrado o removido para cambiar la temperatura de una sustancia viene dado por

$$Q = c m \Delta T$$

donde m es la masa de la sustancia y c su **calor específico**, cuyas unidades en el S.I. son ($\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$)

Calores específicos de algunas sustancias a 25°C y presión atmosférica

Sustancia	Calor específico c		Sustancia	Calor específico c	
	$\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$	$\text{cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$		$\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$	$\text{cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$
<i>Sólidos elementales</i>			<i>Otros sólidos</i>		
Aluminio	900	0.215	Latón	380	0.092
Berilio	1 830	0.436	Vidrio	837	0.200
Cadmio	230	0.055	Hielo (-5°C)	2 090	0.50
Cobre	387	0.092 4	Mármol	860	0.21
Germanio	322	0.077	Madera	1 700	0.41
Oro	129	0.030 8	<i>Líquidos</i>		
Hierro	448	0.107	Alcohol (etílico)	2 400	0.58
Plomo	128	0.030 5	Mercurio	140	0.033
Silicio	703	0.168	Agua (15°C)	4 186	1.00
Plata	234	0.56	<i>Gas</i>		
			Vapor (100°C)	2 010	0.48

En media hora un maratonista de 65 kg puede generar $8.0 \times 10^5 J$ de calor. Este calor es removido del cuerpo por varios medios propios del organismo. Si el calor no fuera removido ¿en cuánto se incrementaría su temperatura corporal? (El calor específico del cuerpo humano es $3500 (J/kg^\circ C)$)

$$Q = c m \Delta T \longrightarrow \Delta T = \frac{Q}{c m}$$

$$\Delta T = \frac{8.0 \times 10^5 J}{(3500(J/kg^\circ C))(65 kg)} = 3.5^\circ C$$

Temperatura

Escala Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

Temperatura

Escala Celsius y

Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión

térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de

fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

El teorema de conservación de la energía, en términos del calor puede enunciarse de la siguiente manera:

Si no hay pérdida de calor hacia los alrededores, el calor perdido por el objeto más caliente iguala al calor ganado por los más fríos”

$$Q_{\text{frío}} = -Q_{\text{caliente}}$$

$$\underbrace{(c m \Delta T)_{\text{desconocido}}}_{Q_{\text{perdido}}} + \underbrace{(c m \Delta T)_{\text{aluminio}} + (c m \Delta T)_{\text{agua}}}_{Q_{\text{ganado}}} = 0$$

$$c_{\text{desconocido}} = \frac{(c m \Delta T)_{\text{aluminio}} + (c m \Delta T)_{\text{agua}}}{(-m \Delta T)_{\text{desconocido}}}$$

$$\begin{cases} \Delta T_{\text{aluminio}} = 22^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C} = 4^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{\text{agua}} = 22^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C} = 4^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{\text{desconocido}} = 22^{\circ}\text{C} - 97^{\circ}\text{C} = -75^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

$$c_{\text{desconocido}} = \frac{(900 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C})(0.15 \text{ kg})(4^{\circ}\text{C}) + (4186 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C})(0.20 \text{ kg})(4^{\circ}\text{C})}{(0.040 \text{ kg})(75^{\circ}\text{C})}$$

$$c_{\text{desconocido}} = 1300 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C}$$

Temperatura

Escala Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

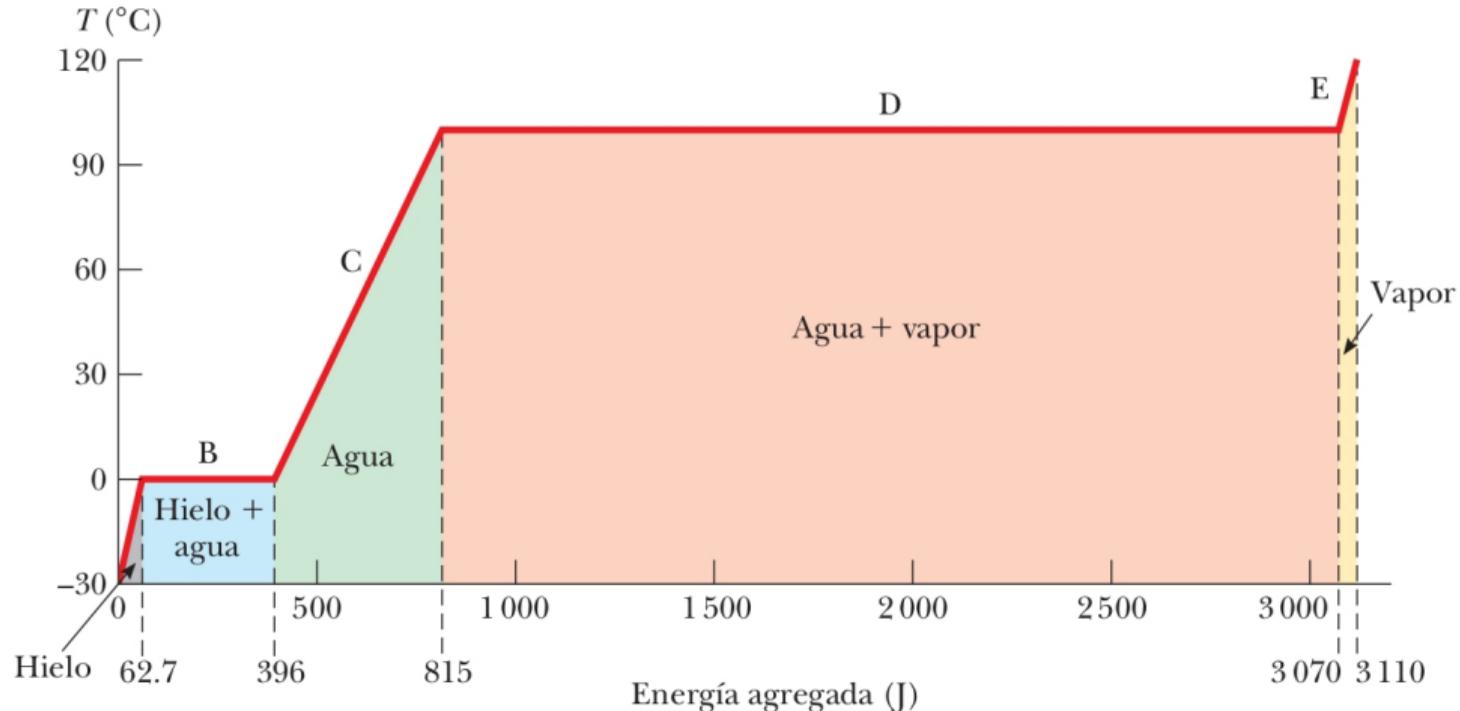
Como vimos anteriormente, una sustancia se somete a un cambio de temperatura cuando la energía se transfiere entre ella y sus alrededores

$$Q = c m \Delta T$$

No obstante, en algunas ocasiones, la transferencia de energía no resulta en un cambio de temperatura. Esto sucede cuando las características físicas de la sustancia cambian de una forma a otra (**cambio de fase**)



Durante un **cambio de fase**, la temperatura no cambia (siempre que el sistema esté en equilibrio térmico)



Temperatura

Escala Celsius y

Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión

térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de

fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

Ejemplo conceptual: Cuidando la energía

Suponer que estamos cocinando fideos para la cena. Las instrucciones dicen “hervir la pasta en agua durante 10 min”. Para cocinar la pasta en una cacerola destapada con la mínima cantidad de energía deberíamos:

- (a) Subir al máximo el fuego de la hornalla para que hierva vigorosamente
- (b) Bajar al mínimo el fuego de la hornalla tal que el agua apenas esté hirviendo

Definimos el **calor latente** (L), como el calor que debe ser suministrado o removido para cambiar de fase una masa m de una sustancia

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

Unidades en el S.I. J/kg

Calores latentes de fusión y vaporización

Sustancia	Punto de fusión (°C)	Calor latente de fusión (J/kg)	Punto de ebullición (°C)	Calor latente de vaporización (J/kg)
Helio	-269.65	5.23×10^3	-268.93	2.09×10^4
Nitrógeno	-209.97	2.55×10^4	-195.81	2.01×10^5
Oxígeno	-218.79	1.38×10^4	-182.97	2.13×10^5
Alcohol etílico	-114	1.04×10^5	78	8.54×10^5
Agua	0.00	3.33×10^5	100.00	2.26×10^6
Azufre	119	3.81×10^4	444.60	3.26×10^5
Plomo	327.3	2.45×10^4	1 750	8.70×10^5
Aluminio	660	3.97×10^5	2 450	1.14×10^7
Plata	960.80	8.82×10^4	2 193	2.33×10^6
Oro	1 063.00	6.44×10^4	2 660	1.58×10^6
Cobre	1 083	1.34×10^5	1 187	5.06×10^6

Temperatura

Escala Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

Temperatura

Escala Celsius y Fahrenheit

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Escala Kelvin

Termómetros

Termocupla

Termógrafos

Expansión térmica

Lineal

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Volumétrica

Ejemplo 3

Calor

Calor específico

Ejemplo 4

Calorimetría

Ejemplo 5

Cambios de fase

Ejemplo 6

Calor latente

Ejemplo 7

Se coloca hielo a 0°C en un vaso conteniendo 0.32 kg de limonada a 27°C . El calor específico de la limonada lo podemos tomar igual al del agua ($4186\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$). Luego que el hielo y la limonada alcanzan una temperatura de equilibrio, aún queda hielo. Calcular la masa del hielo que se derritió (Asumir que la masa del vaso absorbe una cantidad de calor despreciable)



$$\underbrace{(m L_f)_{\text{hielo}}}_{\text{calor ganado por el hielo}} = \underbrace{(c m \Delta T)_{\text{limonada}}}_{\text{calor perdido por la limonada}}$$

$$m_{\text{hielo}} = \frac{(c m \Delta T)_{\text{limonada}}}{L_f}$$

$$m_{\text{hielo}} = \frac{(4186\text{ J/kg}^{\circ}\text{C})(0.32\text{ kg})(27^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C})}{3.35 \times 10^5\text{ J/kg}} = \boxed{0.11\text{ kg}}$$