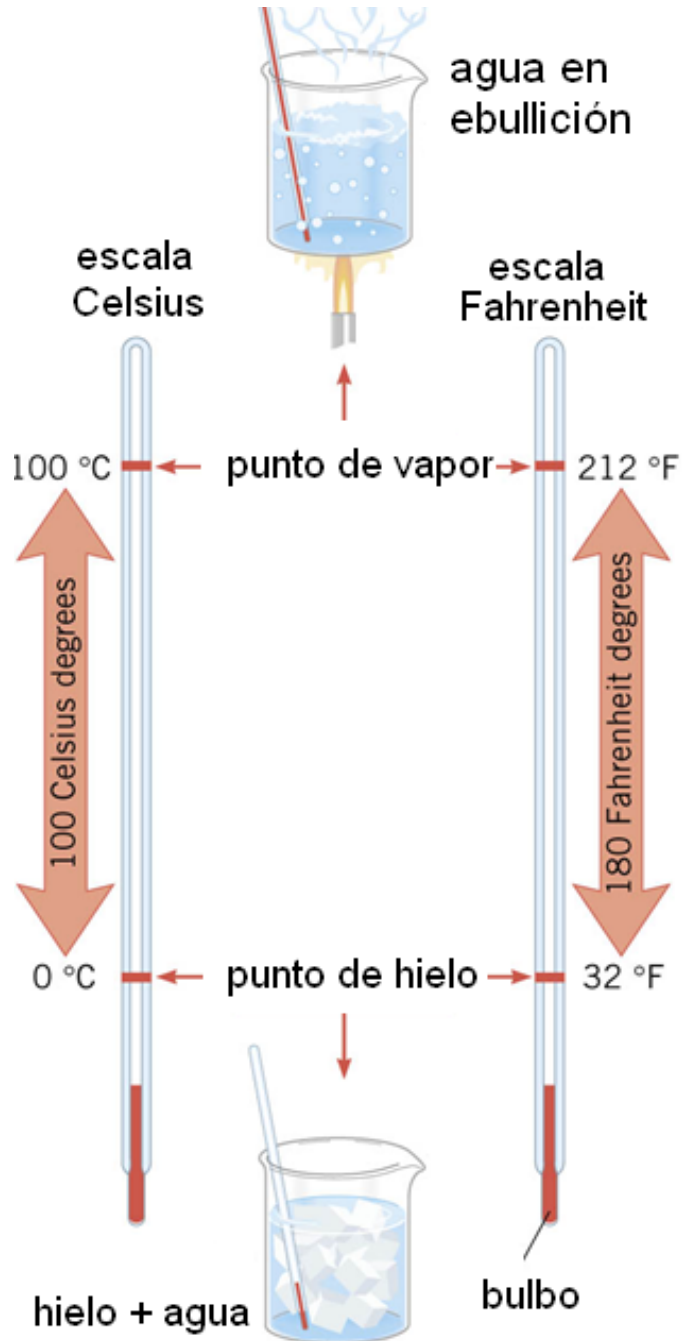


# *Temperatura y calor*

## 12.1 Escalas de temperatura



Las temperaturas se reportan en grados **Celsius** o en grados **Fahrenheit**.

Para los  $\Delta T$   
 **$100 \text{ div. } ^\circ\text{C} = 180 \text{ div. } ^\circ\text{F}$**



$$\boxed{1 ^\circ\text{C} = 1.8 ^\circ\text{F}}$$

### **Ejemplo. Convertir una T de grados Fahrenheit a Celsius**

Una persona tiene una temperatura de  $98.6^{\circ}\text{F}$ . ¿Cuál sería el valor en la escala Celsius?

Grados por encima del punto de hielo

$$98.6^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F} = 66.6\text{ F}^{\circ}$$



$$\left(66.6\text{ F}^{\circ}\right)\left(\frac{1\text{ C}^{\circ}}{1.8\text{ F}^{\circ}}\right) = 37.0\text{ C}^{\circ}$$



$$0\text{ C}^{\circ} + 37.0\text{ C}^{\circ} = 37.0^{\circ}\text{C}$$

Punto de hielo

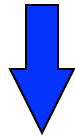
## 12.1 Escalas de temperatura

**Ejemplo. Convertir  $T$  en grados Celsius a  $T$  en grados Fahrenheit .**

El termómetro indica que en el exterior la  $T$  es  $-20.0^{\circ}\text{C}$ . Encontrar la correspondiente  $T$  en la escala Fahrenheit .

$$(20.0 \text{ C}^{\circ}) \left( \frac{1.8 \text{ F}^{\circ}}{1 \text{ C}^{\circ}} \right) = 36.0 \text{ F}^{\circ}$$

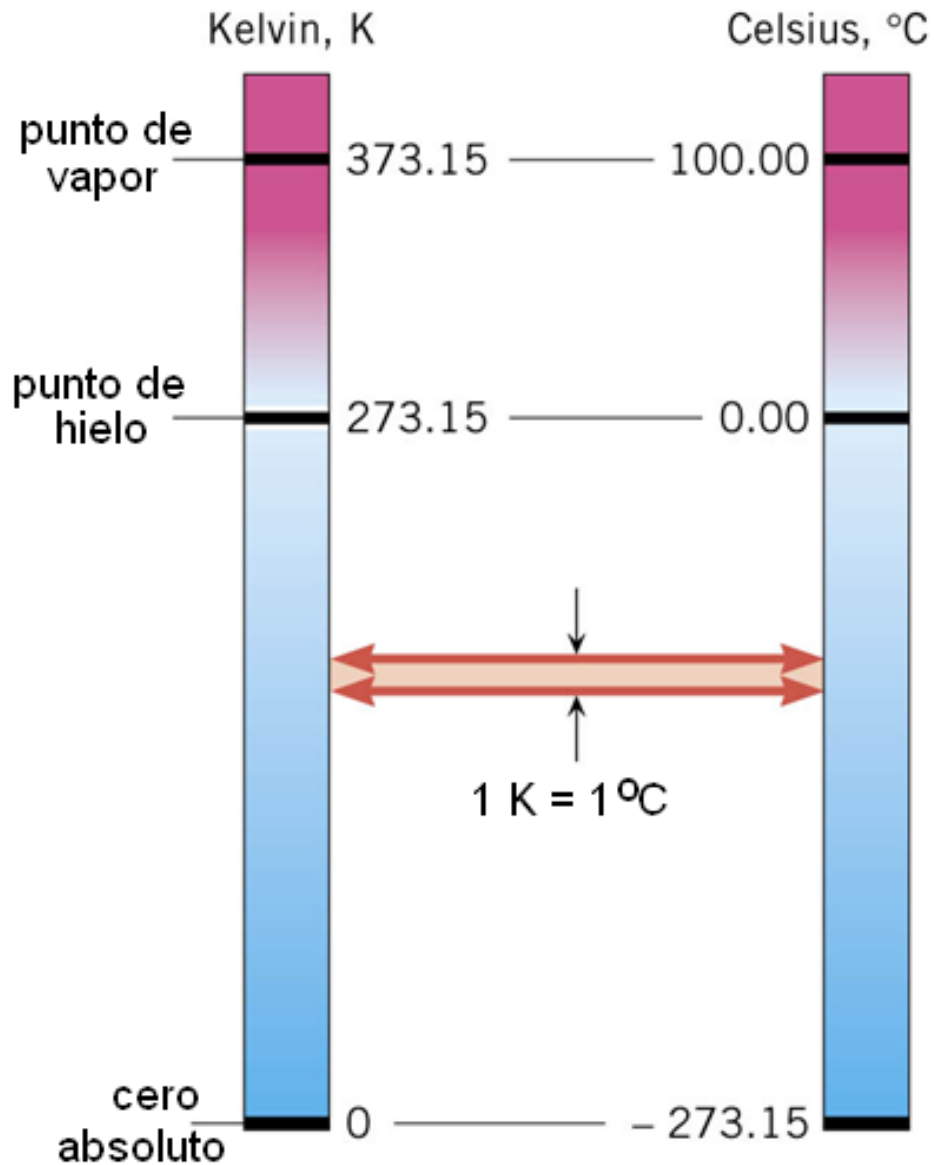
Grados bajo  
el punto de hielo



$$32.0 \text{ F}^{\circ} - 36.0 \text{ F}^{\circ} = -4.0^{\circ} \text{ F}$$

Punto  
de hielo

## 12.2 Escala Kelvin de temperatura

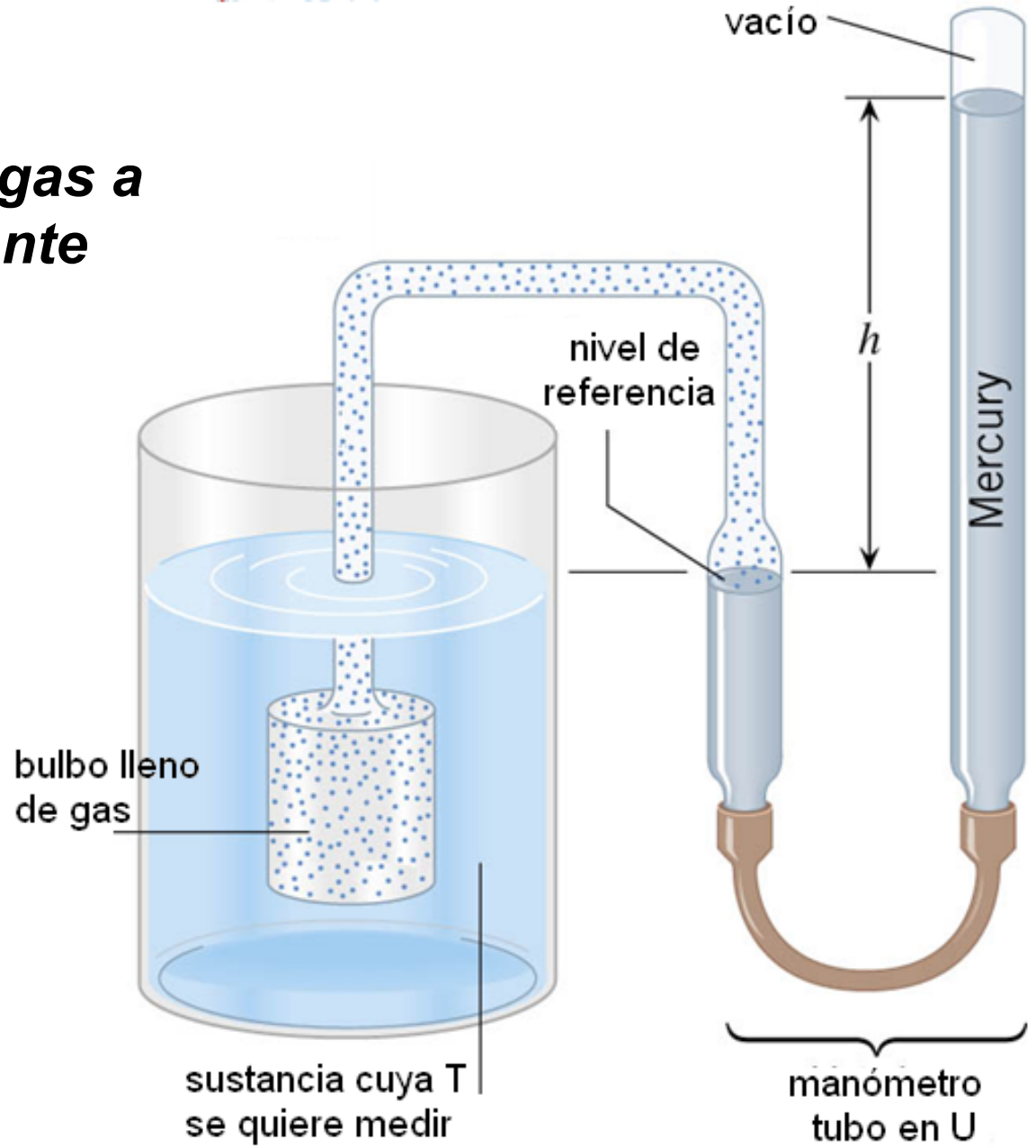


*Para los  $\Delta T$*   
**1 div. °C = 1 div. kelvin**

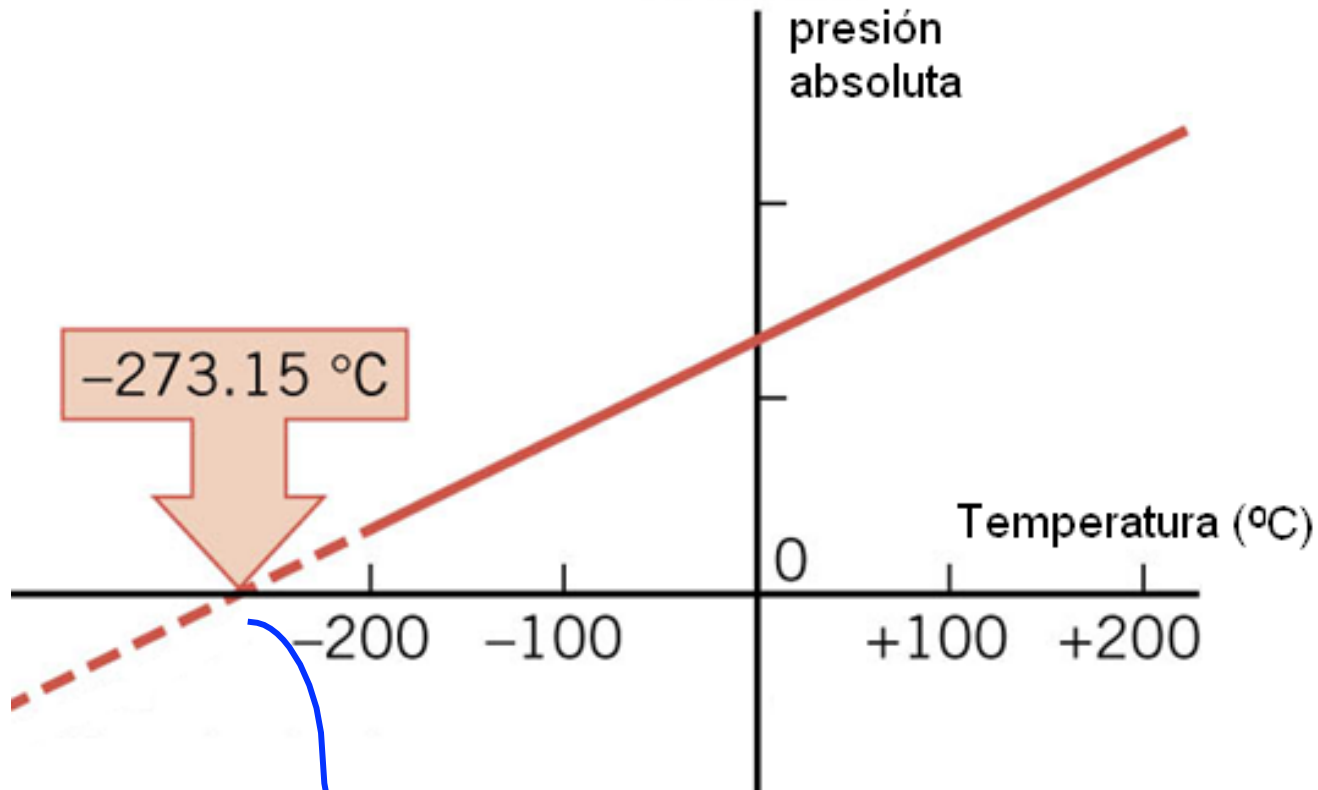
Temperatura Kelvin

$$T = T_c + 273.15$$

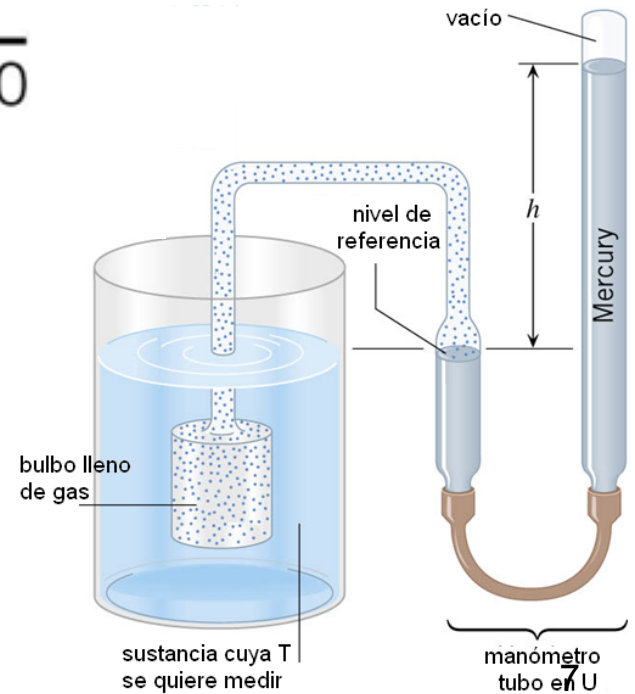
**Termómetro de gas a volumen constante**



## 12.2 Escala Kelvin de temperatura



**Cero absoluto = -273.15°C**



## 12.3 Termómetros

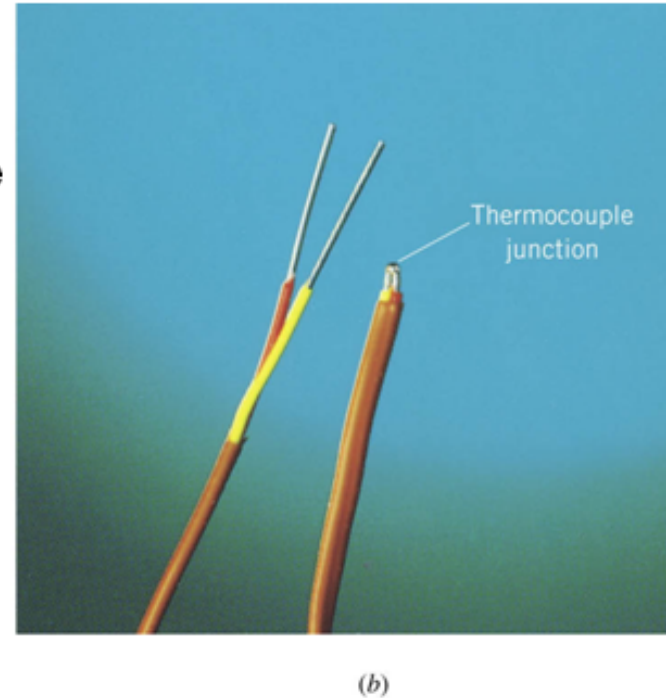
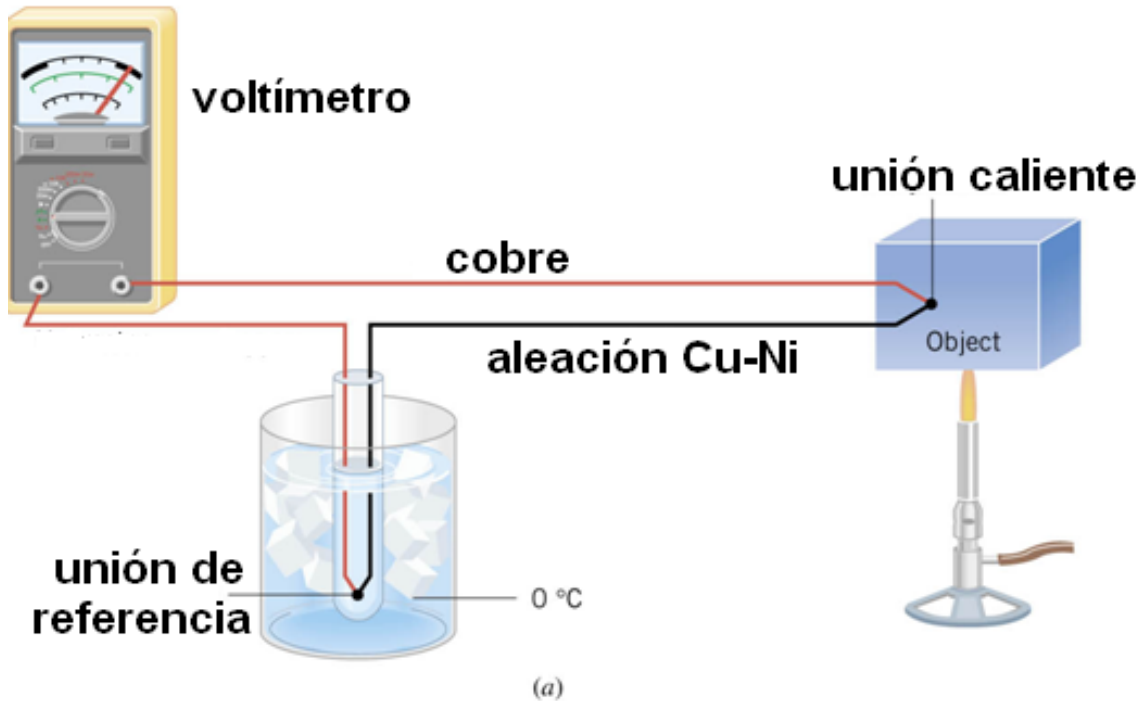
*Los termómetros hacen uso de alguna **propiedad física** que cambia con la **T**.*

<b>Termómetro</b>	<b>Propiedad termométrica</b>
<b>mercurio</b>	<b>Expansión del Hg</b>
<b>gas a V= cte</b>	<b>cambio de la Presión</b>
<b>termocuplas</b>	<b>voltage</b>
<b>resistencia eléctrica</b>	<b>resistencia eléctrica</b>



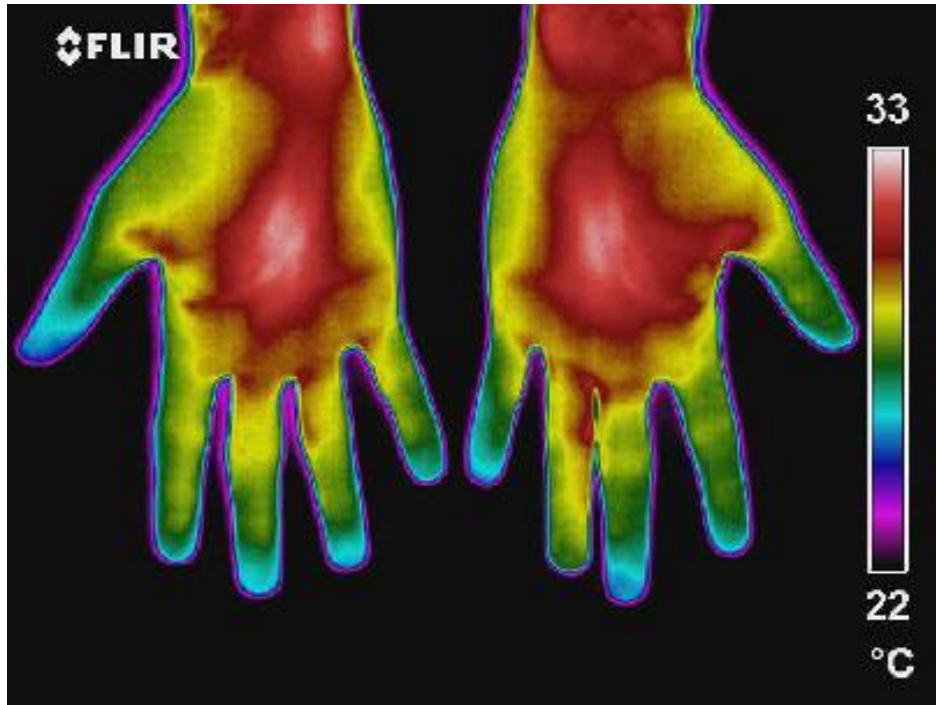
## 12.3 Termómetros

**Termocuplas** → -270 °C - 2300 °C



## 12.3 Termómetros

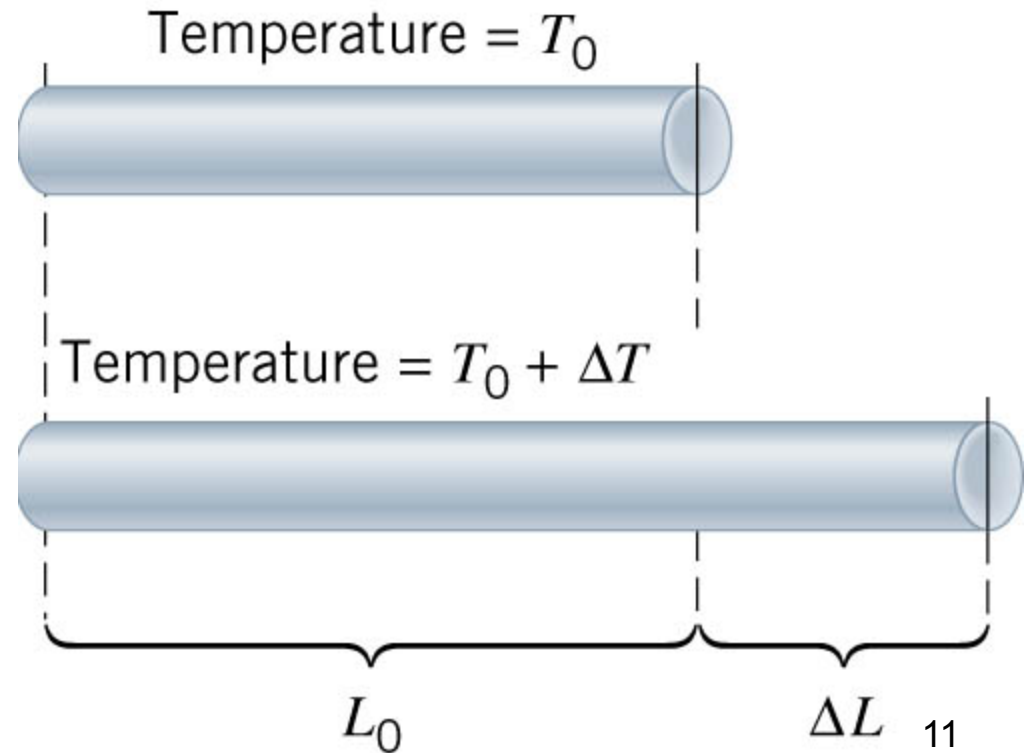
**Termogramas:** *utiliza la radiación infrarroja emitida por un objeto*



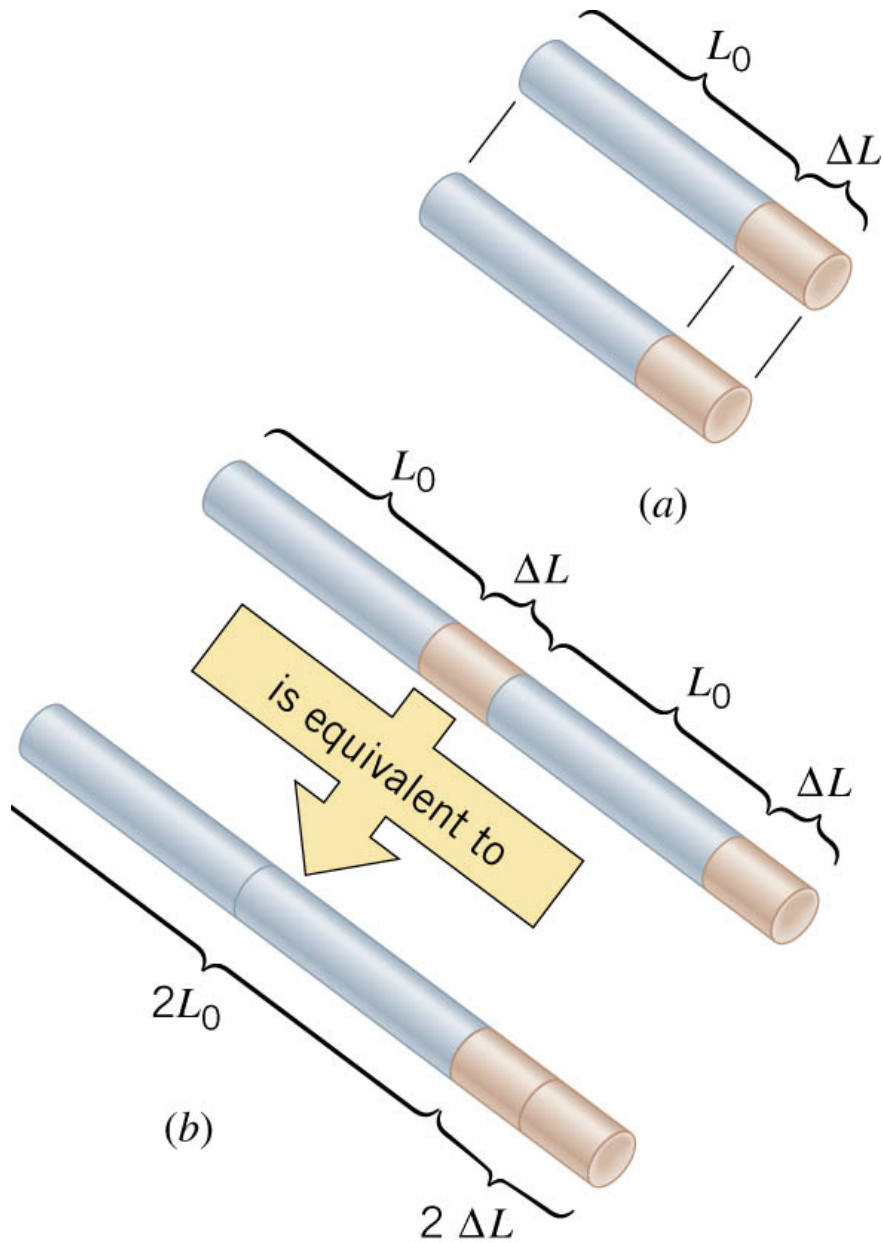
## 12.4 Expansión térmica lineal



### Sólidos



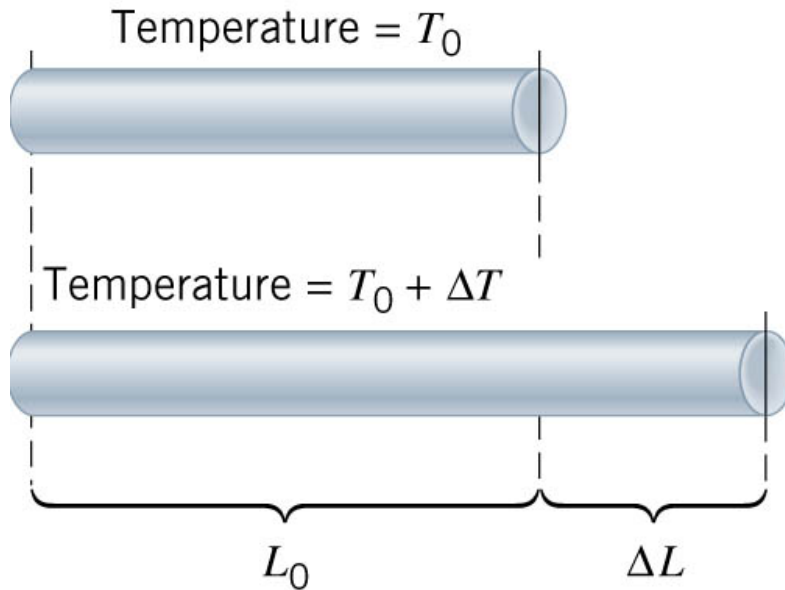
## 12.4 Expansión térmica lineal



$$\Delta L \propto L_0$$

### Expansión térmica lineal de un sólido

La longitud de un objeto cambia cuando cambia la T:



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

Coeficiente de expansión lineal

**Unidades del coeficiente de expansión lineal:**

$$\frac{1}{\text{C}^\circ} = (\text{C}^\circ)^{-1}$$

## 12.4 Expansión térmica lineal

**Table 12.1** Coefficients of Thermal Expansion for Solids and Liquids<sup>a</sup>

Substance	Coefficient of Thermal Expansion (C°) <sup>-1</sup>	
	Linear ( $\alpha$ )	Volume ( $\beta$ )
<b>Solids</b>		
Aluminum	$23 \times 10^{-6}$	$69 \times 10^{-6}$
Brass	$19 \times 10^{-6}$	$57 \times 10^{-6}$
Concrete	$12 \times 10^{-6}$	$36 \times 10^{-6}$
Copper	$17 \times 10^{-6}$	$51 \times 10^{-6}$
Glass (common)	$8.5 \times 10^{-6}$	$26 \times 10^{-6}$
Glass (Pyrex)	$3.3 \times 10^{-6}$	$9.9 \times 10^{-6}$
Gold	$14 \times 10^{-6}$	$42 \times 10^{-6}$
Iron or steel	$12 \times 10^{-6}$	$36 \times 10^{-6}$
Lead	$29 \times 10^{-6}$	$87 \times 10^{-6}$
Nickel	$13 \times 10^{-6}$	$39 \times 10^{-6}$
Quartz (fused)	$0.50 \times 10^{-6}$	$1.5 \times 10^{-6}$
Silver	$19 \times 10^{-6}$	$57 \times 10^{-6}$
<b>Liquids<sup>b</sup></b>		
Benzene	—	$1240 \times 10^{-6}$
Carbon tetrachloride	—	$1240 \times 10^{-6}$
Ethyl alcohol	—	$1120 \times 10^{-6}$
Gasoline	—	$950 \times 10^{-6}$
Mercury	—	$182 \times 10^{-6}$
Methyl alcohol	—	$1200 \times 10^{-6}$
Water	—	$207 \times 10^{-6}$

<sup>a</sup>The values for  $\alpha$  and  $\beta$  pertain to a temperature near 20 °C.

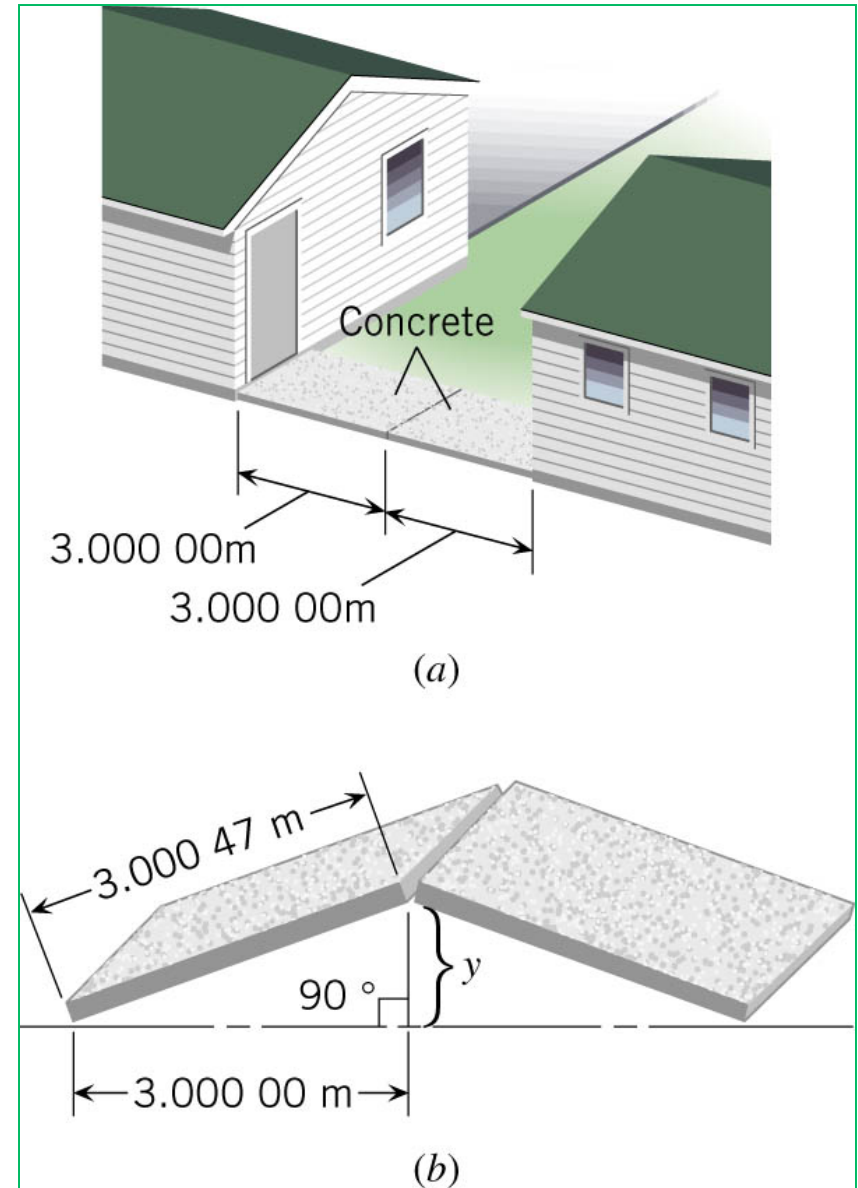
<sup>b</sup>Since liquids do not have fixed shapes, the coefficient of linear expansion is not defined for them.

## 12.4 Expansión térmica lineal

### ***Ejemplo. Construcción de una vereda.***

Una vereda de concreto es construida entre dos edificios en un día que la  $T$  es  $25^{\circ}\text{C}$ . Cuando la  $T$  se eleva a  $38^{\circ}\text{C}$ , las placas se expanden, pero no se dejó espacio para dicha expansión.

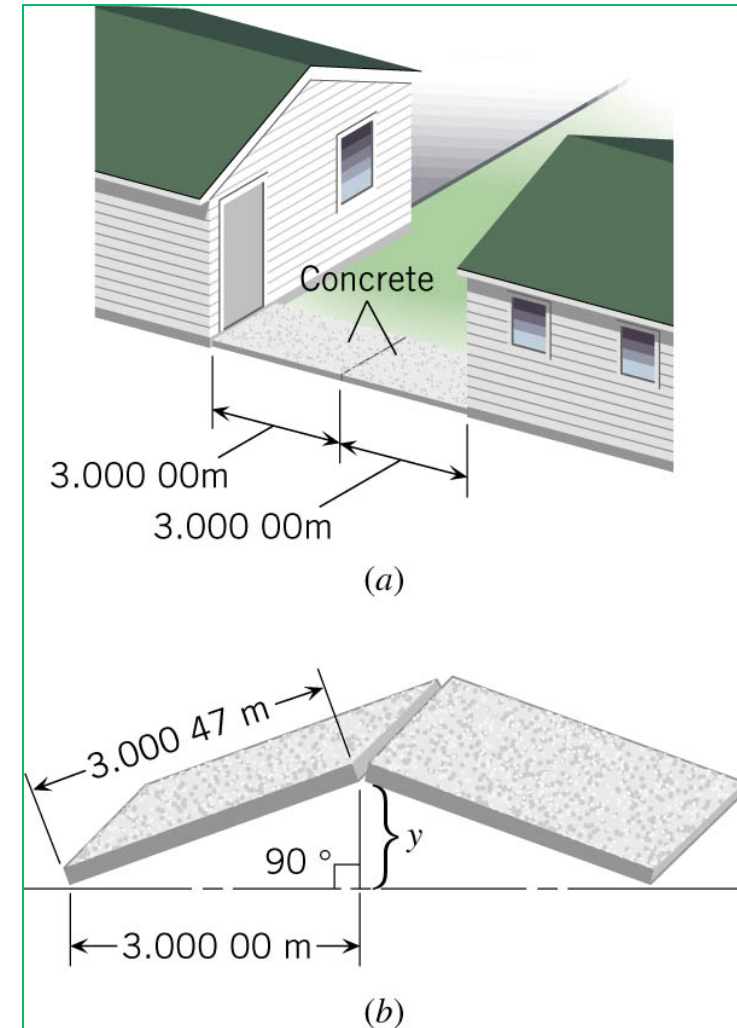
Determinar la distancia “ $y$ ” que se elevan las placas.



## 12.4 Expansión térmica lineal

$$\begin{aligned}\Delta L &= \alpha L_o \Delta T \\ &= \left[ 12 \times 10^{-6} (\text{C}^\circ)^{-1} \right] (3.0 \text{ m})(13 \text{ C}^\circ) \\ &= 0.00047 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y &= \sqrt{(3.00047 \text{ m})^2 - (3.00000 \text{ m})^2} \\ &= 0.053 \text{ m}\end{aligned}$$

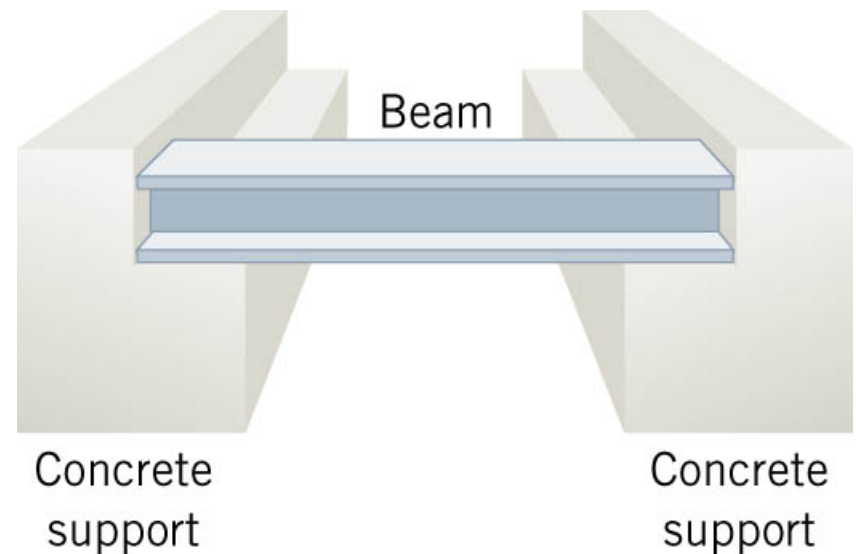




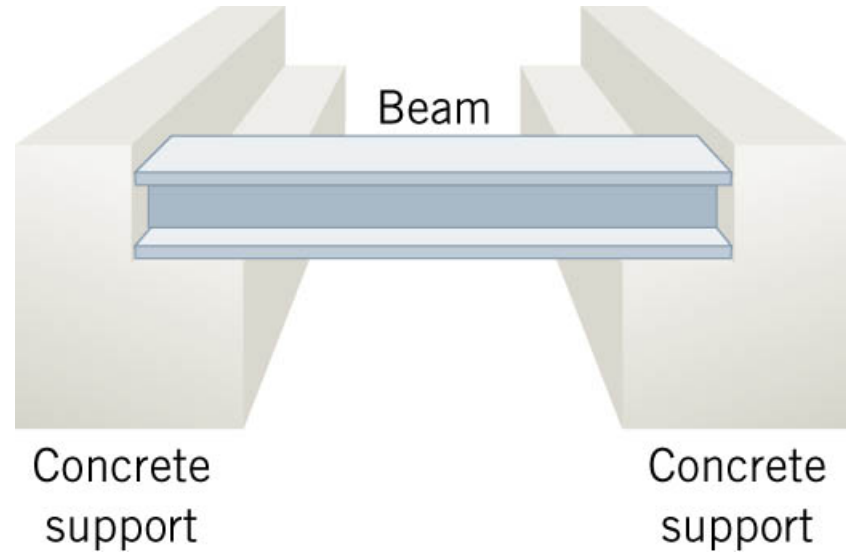
## 12.4 Expansión térmica lineal

### ***Ejemplo. Tensión en una viga de acero***

The beam is mounted between two concrete supports when the temperature is  $23^{\circ}\text{C}$ . What compressional stress must the concrete supports apply to each end of the beam, if they are to keep the beam from expanding when the temperature rises to  $42^{\circ}\text{C}$ ?



## 12.4 Expansión térmica lineal



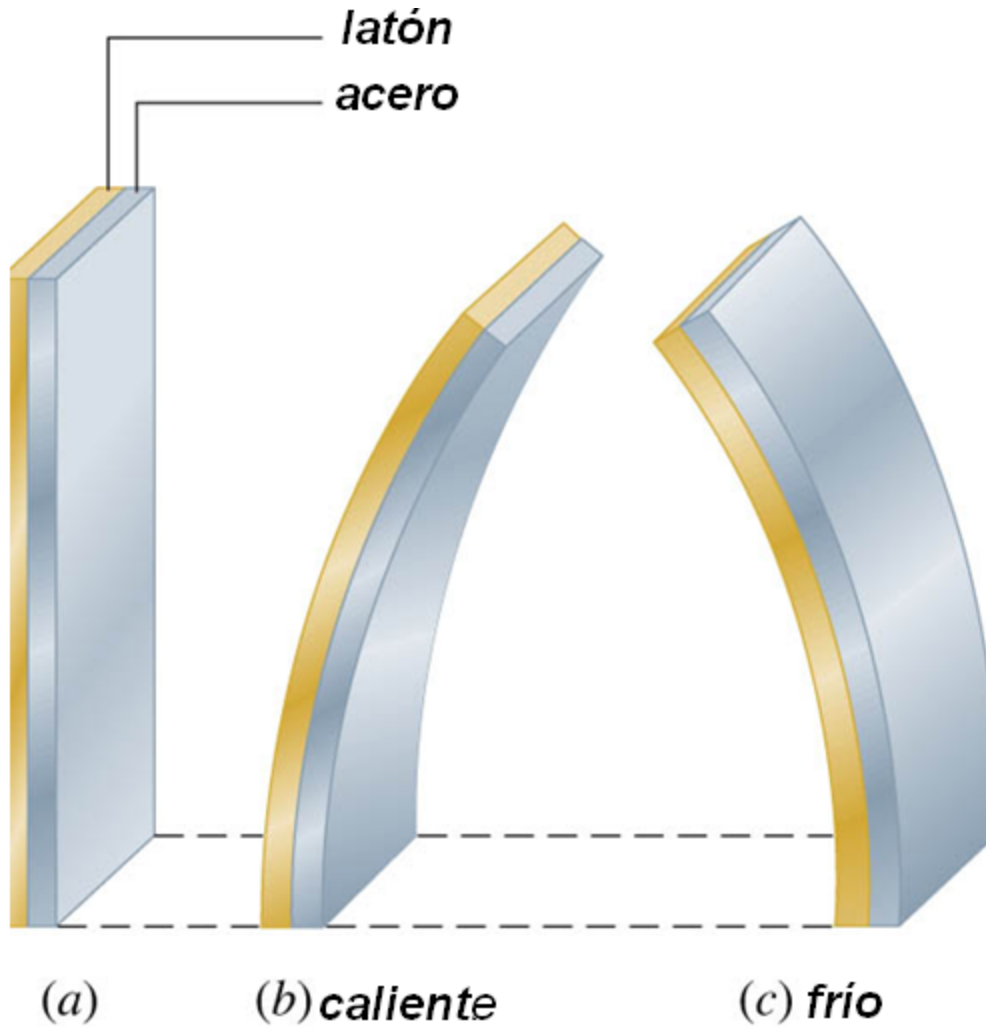
$$\Delta L = \alpha L_o \Delta T$$



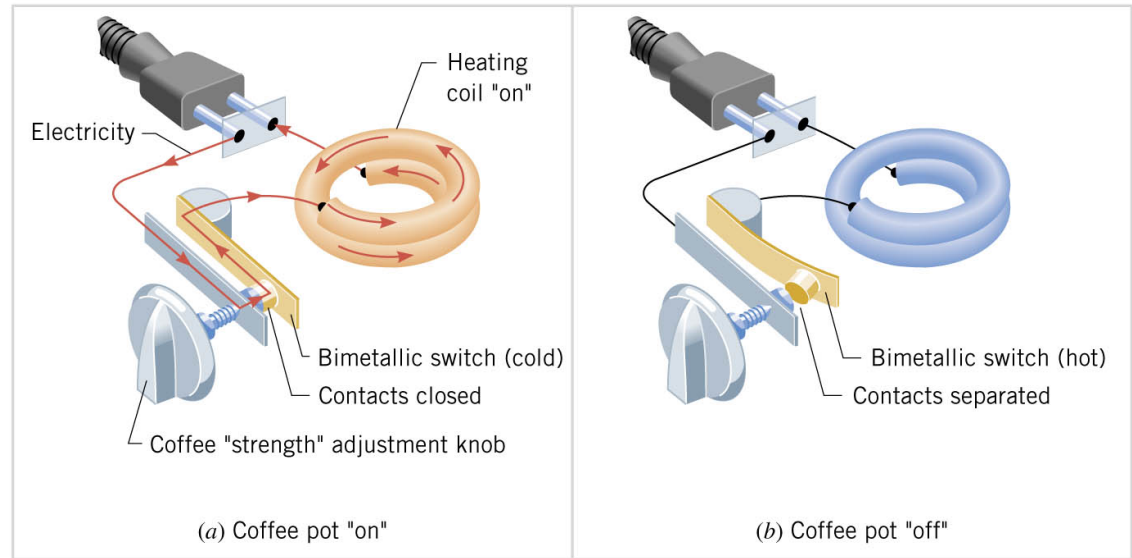
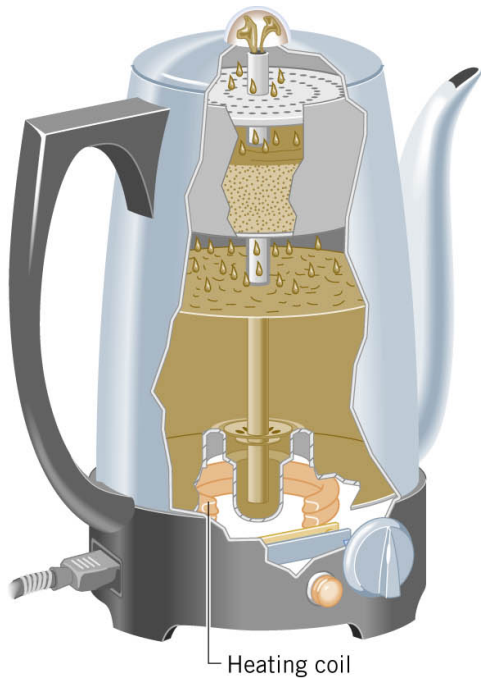
$$\text{Stress} = \frac{F}{A} = Y \frac{\Delta L}{L_o} = Y \alpha \Delta T$$

$$= (2.0 \times 10^{11} \text{ N/m}^2) [12 \times 10^{-6} (\text{C}^\circ)^{-1}] [19 \text{ C}^\circ] = 4.7 \times 10^7 \text{ N/m}^2$$

## Tira bi-metálica



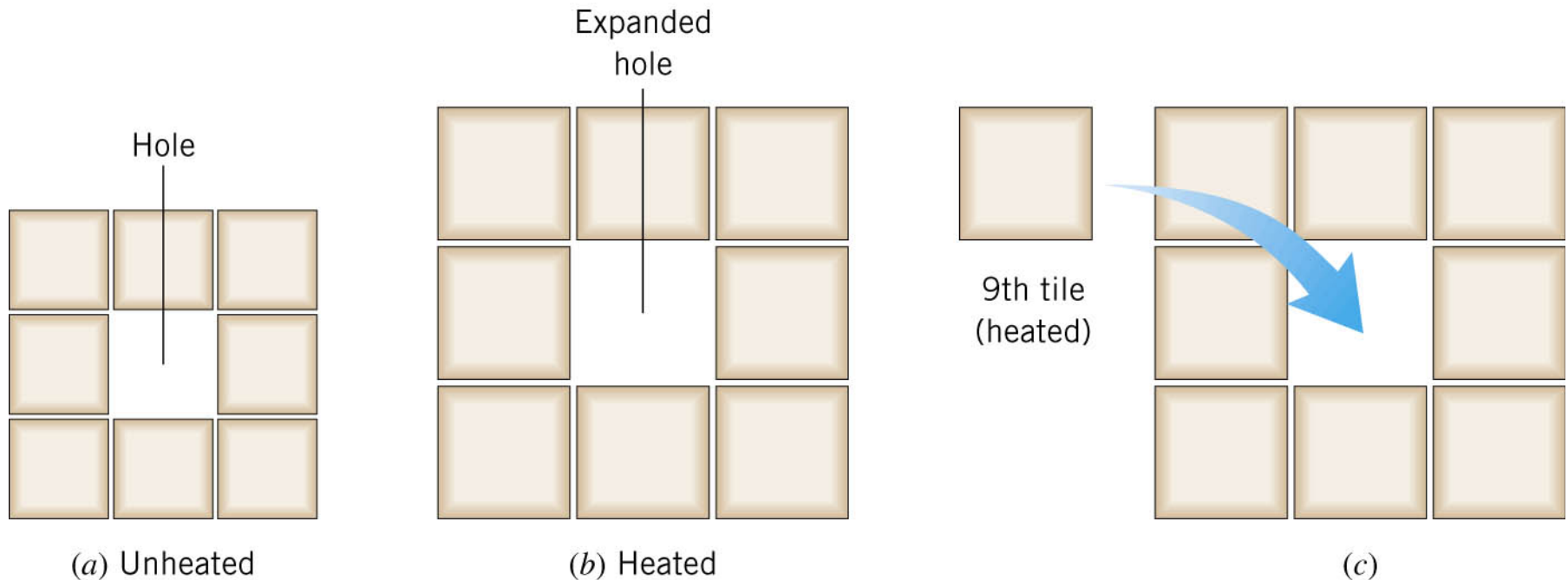
# Termostatos



## *Expansión de huecos*

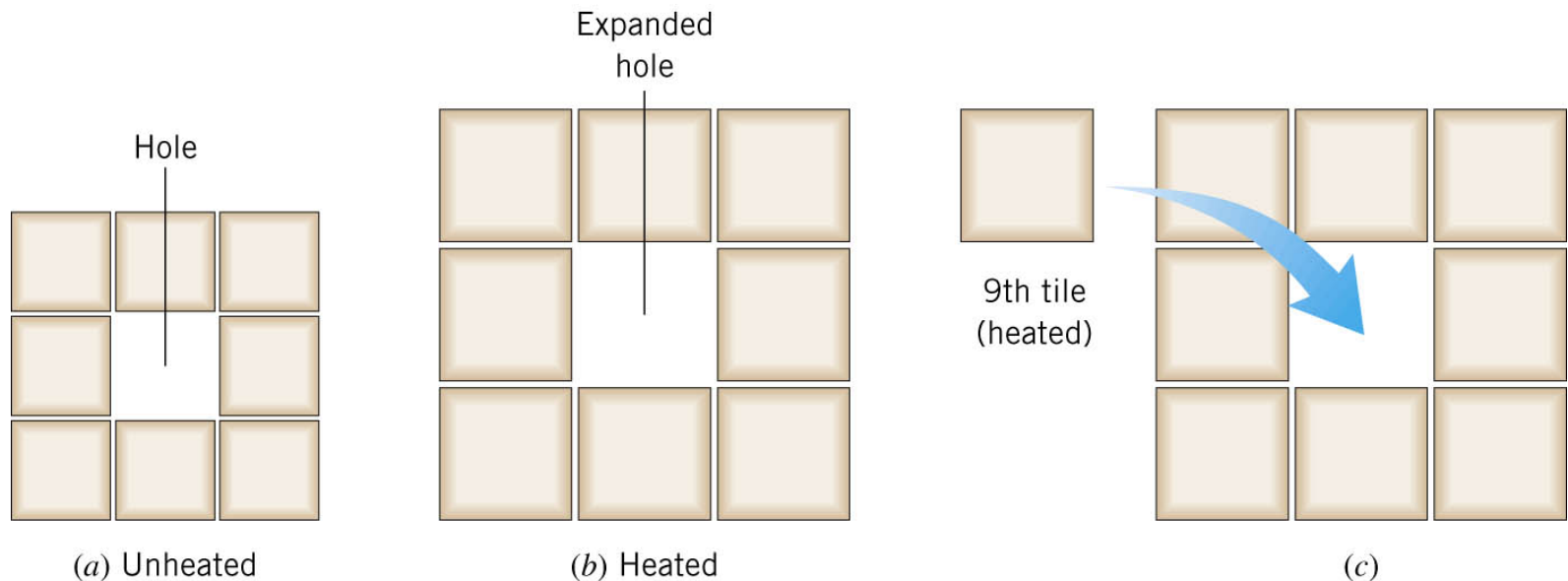
### *Ejemplo conceptual*

Se muestran 8 azulejos cuadrados, formando un patrón cuadrado con un hueco en el centro. Si se calientan los azulejos ¿qué ocurre con el tamaño del hueco?



## 12.4 Expansión térmica lineal

Un **hueco** en una pieza de material sólido se expande cuando se calienta y se contrae si se enfría, justo como si estuviese relleno del material que la rodea.



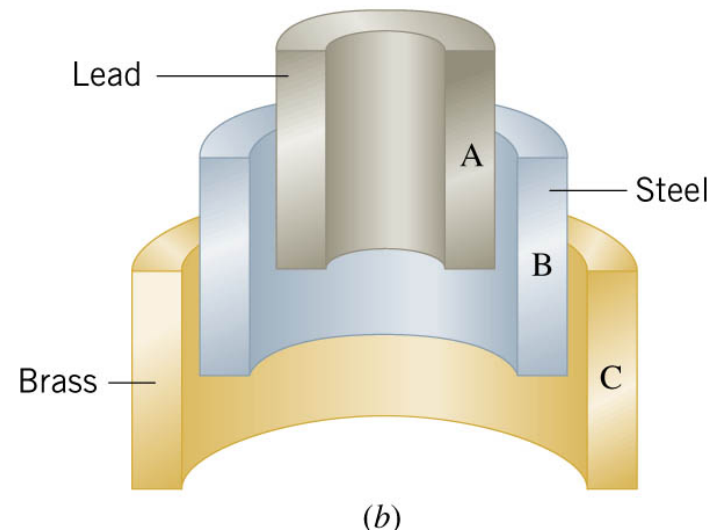
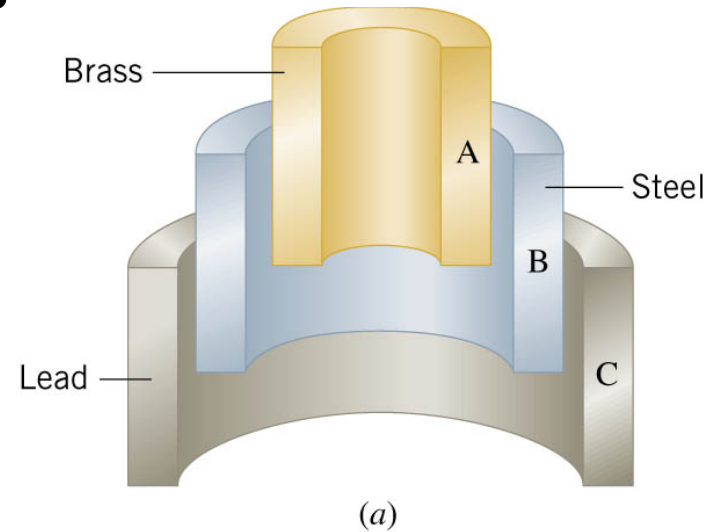
## 12.4 Expansión térmica lineal

### Conceptual Example 7 Expanding Cylinders

Each cylinder is made from a different material. All three have the same temperature and they barely fit inside each other.

As the cylinders are heated to the same, but higher, temperature, cylinder C falls off, while cylinder A becomes tightly wedged to cylinder B.

Which cylinder is made from which material?



## 12.5 Expansión térmica volumétrica

### Expansión térmica volumétrica

El volumen de un objeto cambia cuando la T cambia.

$$\Delta V = \beta V_o \Delta T$$

Coefficiente de expansión volumétrica

*Unidades :*  $\frac{1}{\text{C}^\circ} = (\text{C}^\circ)^{-1}$

$$\alpha = 3\beta$$

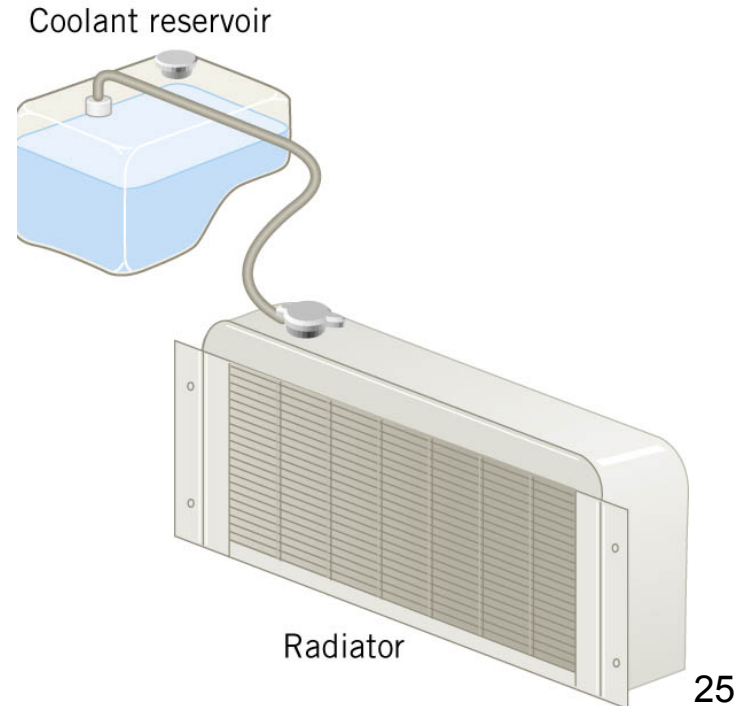


## 12.5 Expansión térmica volumétrica

### **Ejemplo. Radiador de un automovil**

Un recipiente pequeño de plástico, llamado el reservorio de refrigerante, toma el fluido del radiador que rebalsa cuando el motor del automovil se calienta.

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

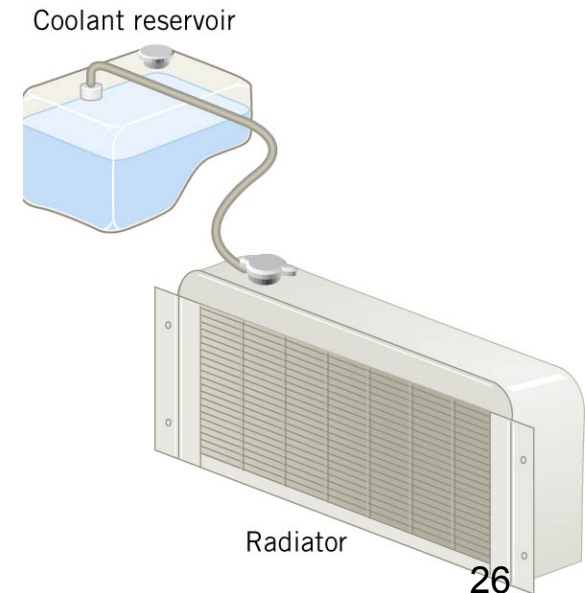


## 12.5 Expansión térmica volumétrica

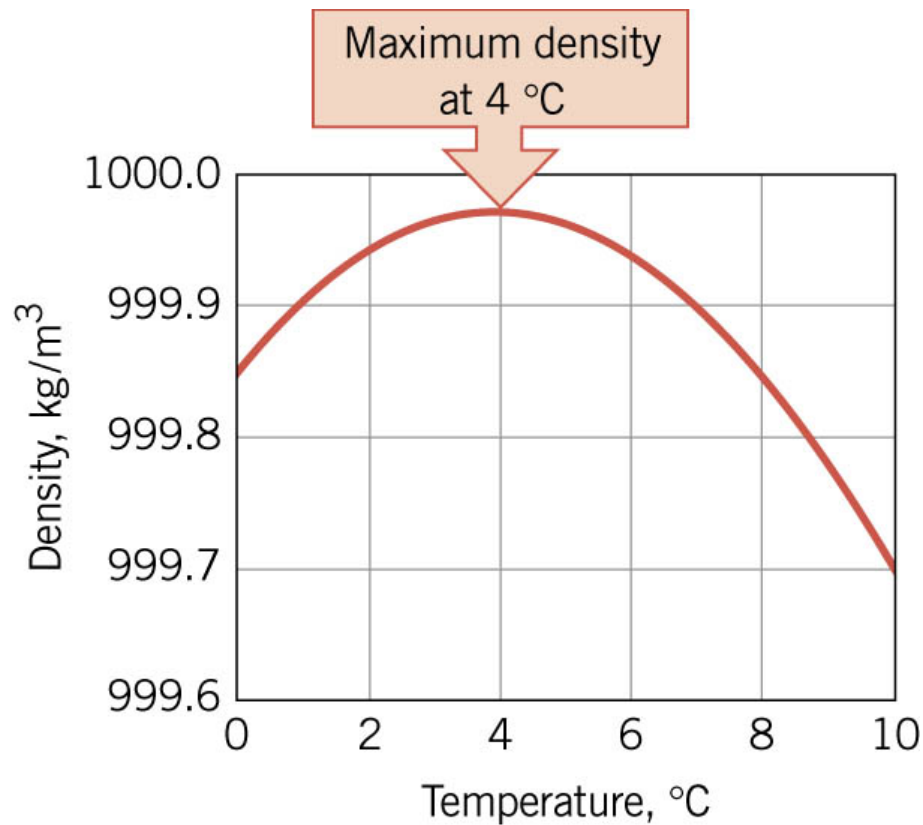
$$\Delta V_{\text{refrigerante}} = \left(4.10 \times 10^{-4} (\text{C}^\circ)^{-1}\right) (15 \text{ litros}) (86 \text{ C}^\circ) = 0.53 \text{ litros}$$

$$\Delta V_{\text{radiator}} = \left(51 \times 10^{-6} (\text{C}^\circ)^{-1}\right) (15 \text{ litros}) (86 \text{ C}^\circ) = 0.066 \text{ litros}$$

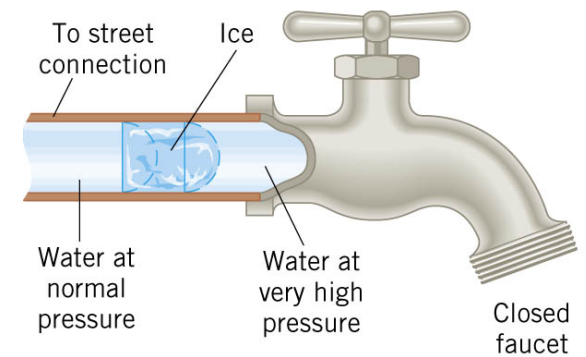
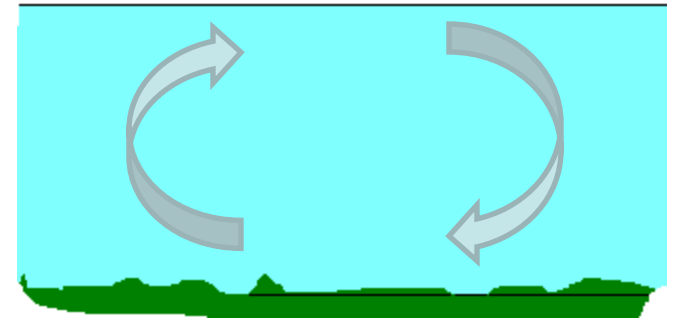
$$\Delta V_{\text{release}} = 0.53 \text{ litros} - 0.066 \text{ litros} = 0.46 \text{ litros}$$



## Comportamiento anómalo del agua

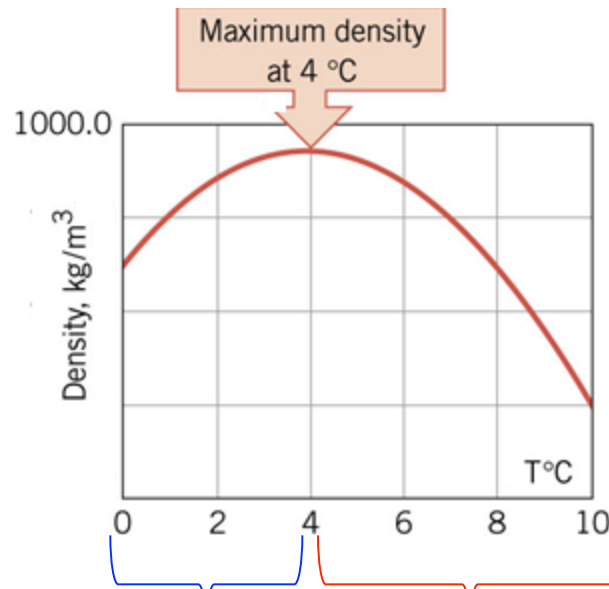


$$\rho V = m$$

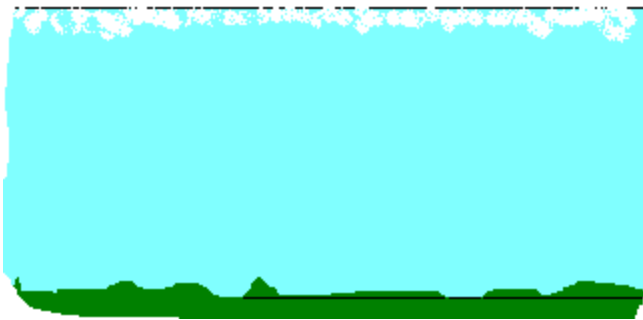


## 12.5 Expansión térmica volumétrica

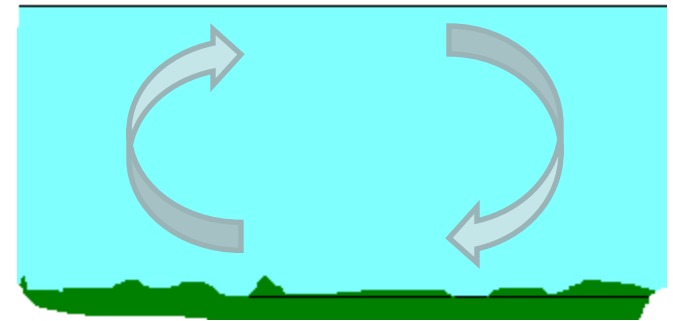
$$\rho V = m$$



$T < 4 \text{ °C}$



*Se sigue enfriando y comienza a congelarse la superficie ( $T = 0 \text{ °C}$ ).*

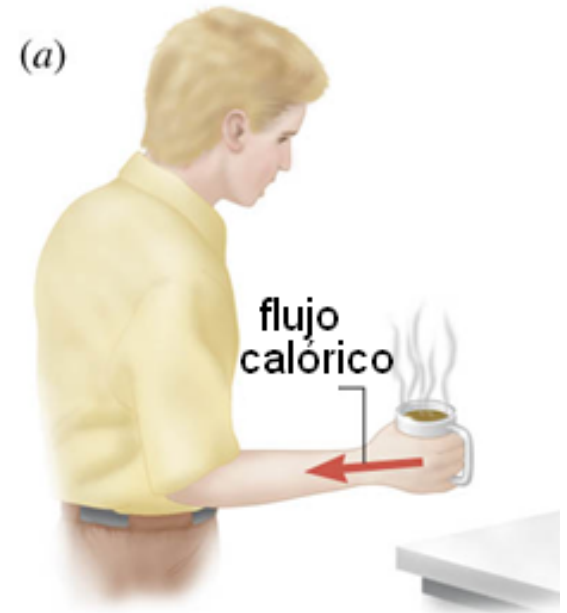


*Hasta 4 °C*

### **DEFINITION de CALOR**

Llamamos calor a la **energía que fluye** desde un objeto a alta  $T$  hacia otro objeto a baja  $T$ , a causa de la diferencia de  $T$ .

**Unidad de calor en el SI:** joule (J)



## 12.6 Heat and Internal Energy

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

No es correcto decir que una sustancia “contiene calor”.



## **SOLIDOS y LÍQUIDOS**

El calor que debe ser suministrado o removido para cambiar la T de una sustancias es:

$$Q = mc\Delta T$$

**Calor específico**



Unidades de calor específico: **J/(kg·C°)**

## 12.7 Calor y cambio de temperatura

**Table 12.2 Specific Heat Capacities<sup>a</sup> of Some Solids and Liquids**

Substance	Specific Heat Capacity, $c$ $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{C}^\circ)$
<b><i>Solids</i></b>	
Aluminum	$9.00 \times 10^2$
Copper	387
Glass	840
Human body (37 °C, average)	3500
Ice (−15 °C)	$2.00 \times 10^3$
Iron or steel	452
Lead	128
Silver	235
<b><i>Liquids</i></b>	
Benzene	1740
Ethyl alcohol	2450
Glycerin	2410
Mercury	139
Water (15 °C)	4186

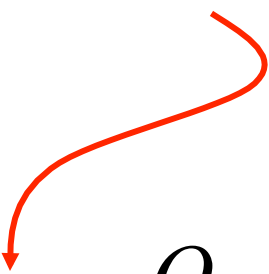
<sup>a</sup>Except as noted, the values are for 25 °C and 1 atm of pressure.



### **Ejemplo. Maratonista**

En una media hora un maratonista de 65 kg puede generar  $8.0 \times 10^5 \text{ J}$  de calor. Este calor es removido del cuerpo por varios medios, incluyendo los mecanismos de regulación de T propios del organismo. Si el calor no fuera removido ¿en cuánto se incrementaría la T del cuerpo?

$$Q = mc\Delta T$$


$$\Delta T = \frac{Q}{mc} = \frac{8.0 \times 10^5 \text{ J}}{(65 \text{ kg})[3500 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{C}^\circ)]} = 3.5 \text{ C}^\circ$$

## **GASES**

El valor del calor específico de un gas depende si la *presión* o el *volumen* se mantienen constantes.

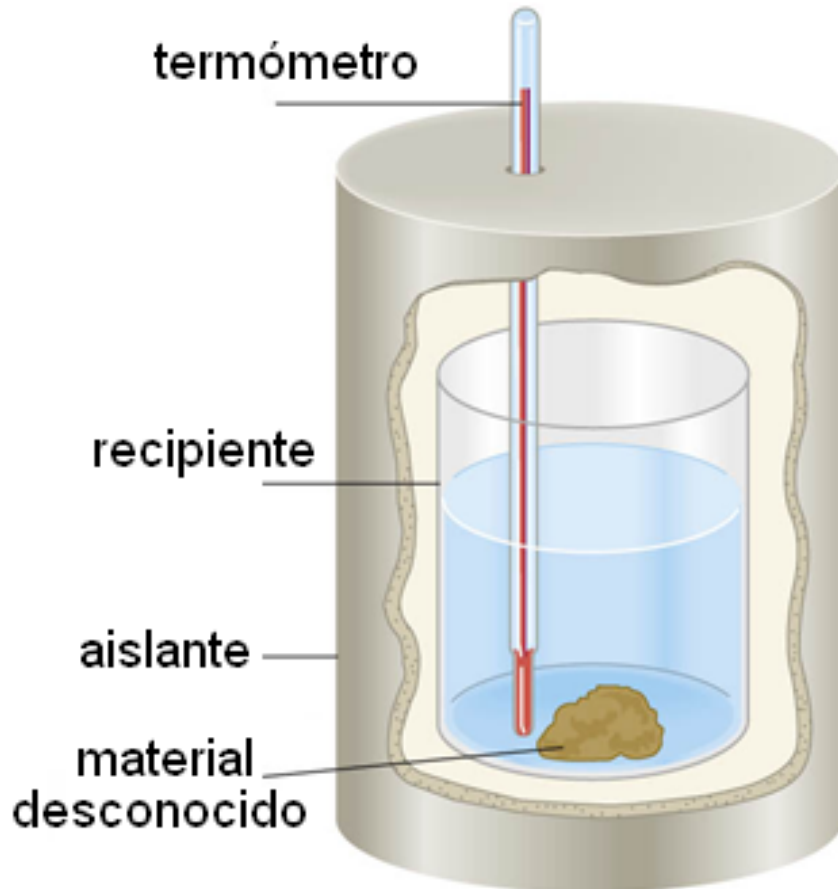
Esta distinción no es importante para los sólidos.

### ***Otras unidades de calor***

$$1 \text{ kcal} = 4186 \text{ joules}$$

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ joules}$$

## CALORIMETRIA



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.

$$|Q_{perdido}| = Q_{ganado}$$

$$\Sigma Q_{perdido} + \Sigma Q_{ganado} = 0$$

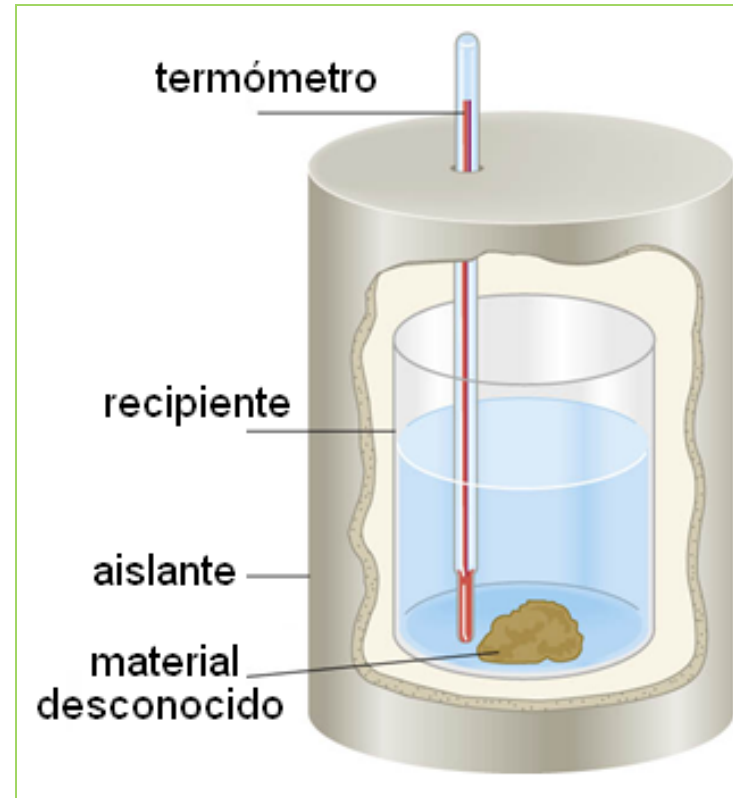
### **Ejemplo.**

### **Medición del calor específico**

El calorímetro está hecho de 0.15 kg of aluminio y contiene 0.20 kg de agua.

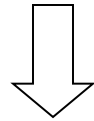
Inicialmente el agua y el vaso tienen la misma  $T$  de  $18.0^{\circ}\text{C}$ .

Un material desconocido ( $m = 0.040$  kg) es calentado hasta  $97.0^{\circ}\text{C}$  e introducido en el agua.



Luego de alcanzar el equilibrio térmico, la  $T$  es de  $22.0^{\circ}\text{C}$ .  
Despreciando el calor ganado por el termómetro, encontrar el **calor específico del material desconocido**.

$$\underbrace{(mc\Delta T)_{\text{desconocido}}}_{Q_{\text{perdido}}} + \underbrace{(mc\Delta T)_{\text{Al}} + (mc\Delta T)_{\text{agua}}}_{Q_{\text{ganado}}} = 0$$



$$c_{\text{desconocido}} = \frac{(mc\Delta T)_{\text{Al}} + (mc\Delta T)_{\text{agua}}}{(m\Delta T)_{\text{desconocido}}}$$

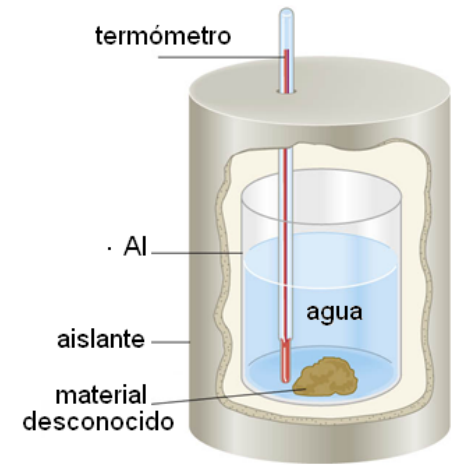
$$(\Delta T)_{\text{Al}} = 22^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C} = 4^{\circ}\text{C}$$

$$(\Delta T)_{\text{agua}} = 22^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C} = 4^{\circ}\text{C}$$

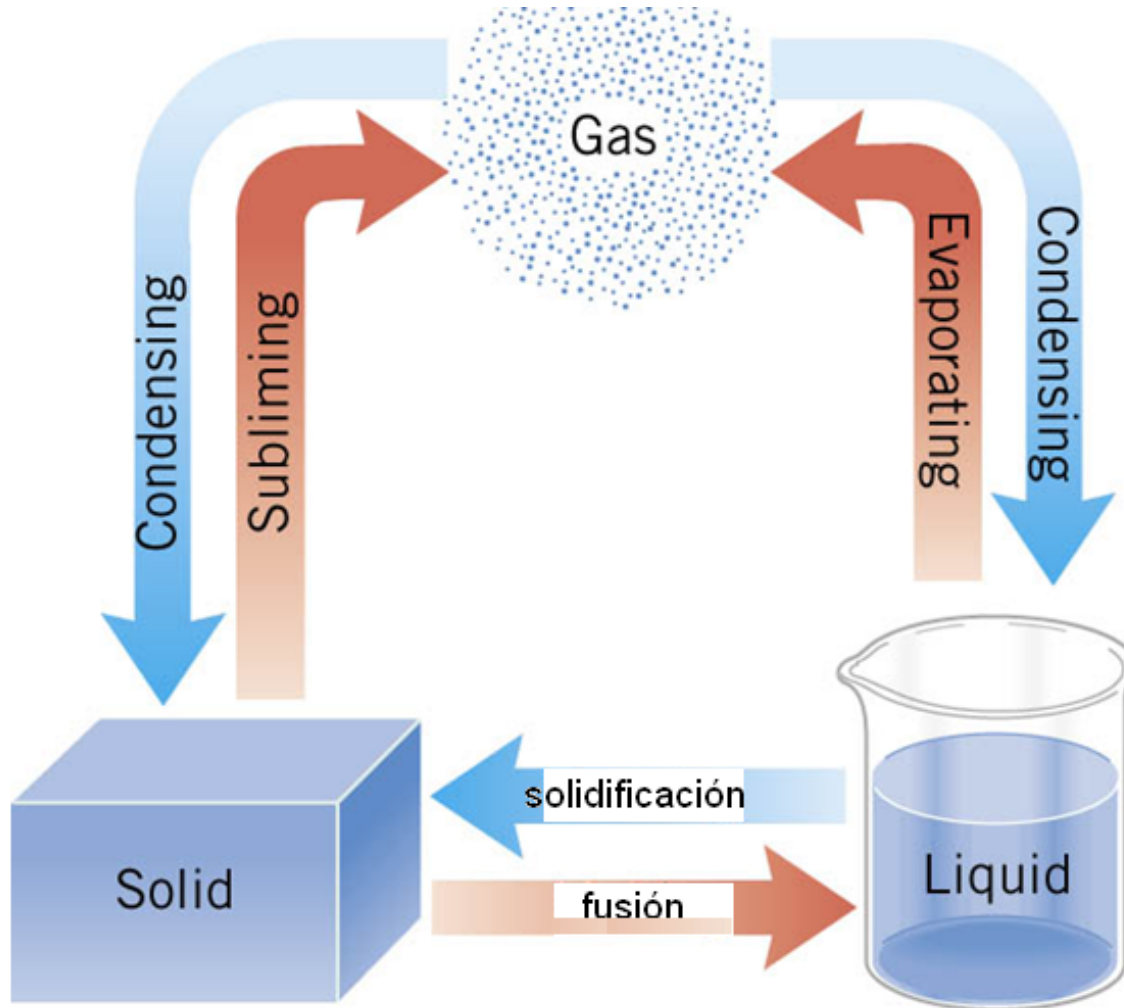
$$(\Delta T)_{\text{desconocido}} = 22^{\circ}\text{C} - 97^{\circ}\text{C} = -75^{\circ}\text{C}$$

$$= \frac{[9.00 \times 10^2 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{C}^{\circ})](0.15 \text{ kg})(4.0 \text{ C}^{\circ}) + [4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{C}^{\circ})](0.20 \text{ kg})(4.0 \text{ C}^{\circ})}{(0.040 \text{ kg})(75.0 \text{ C}^{\circ})}$$

$$= 1300 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{C}^{\circ})$$

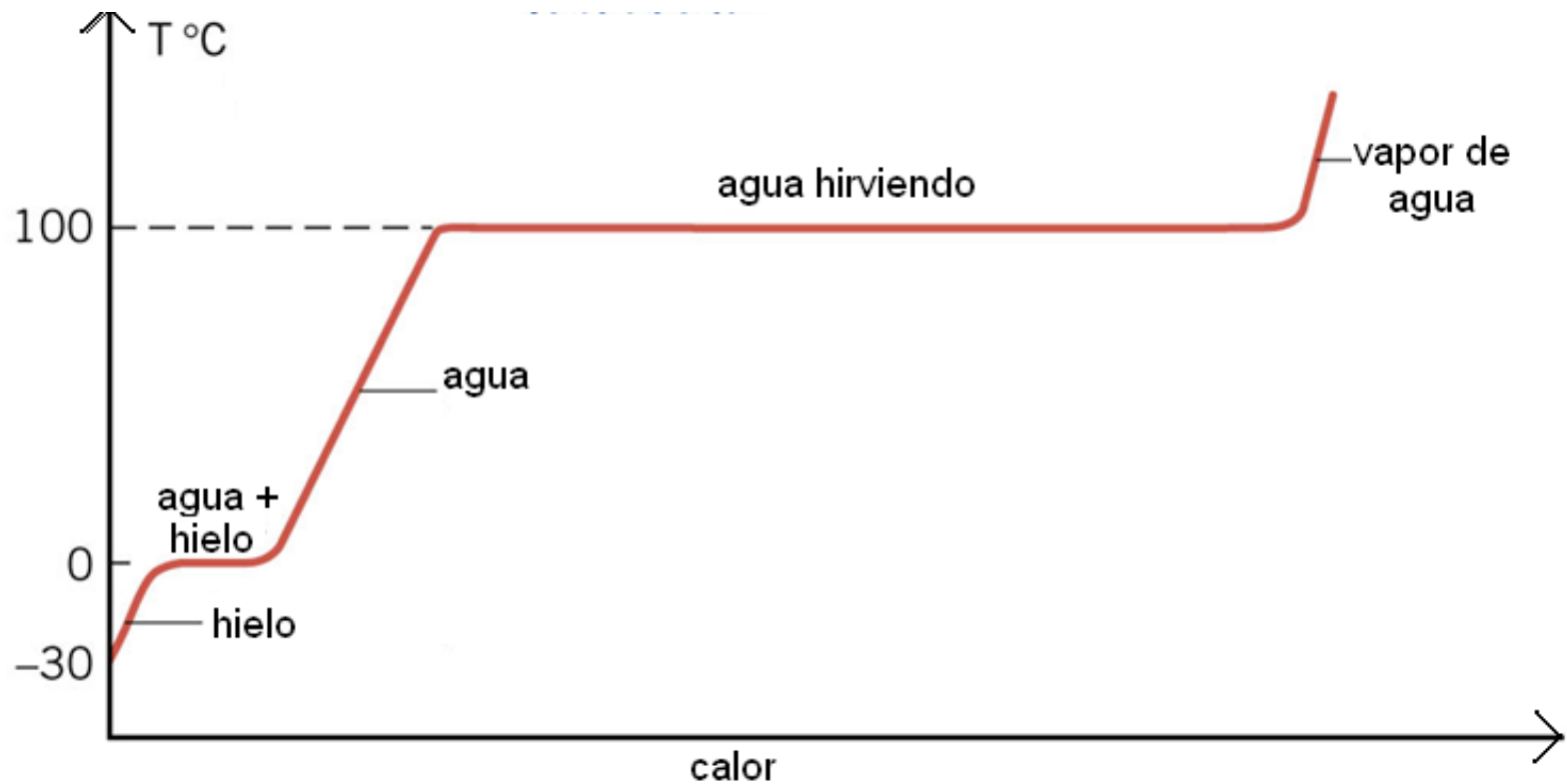


## Las fases de la materia



## 12.8 Calor y cambio de fase

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



***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:

- ❖ subir al máximo el fuego la hornalla para que hierva vigorosamente?
- ❖ bajar al mínimo el fuego de la hornalla tal que el agua apenas esté hirviendo?



### **Calor latente**

El calor que debe ser suministrado o removido para cambiar de fase una masa “m” de una sustancia es

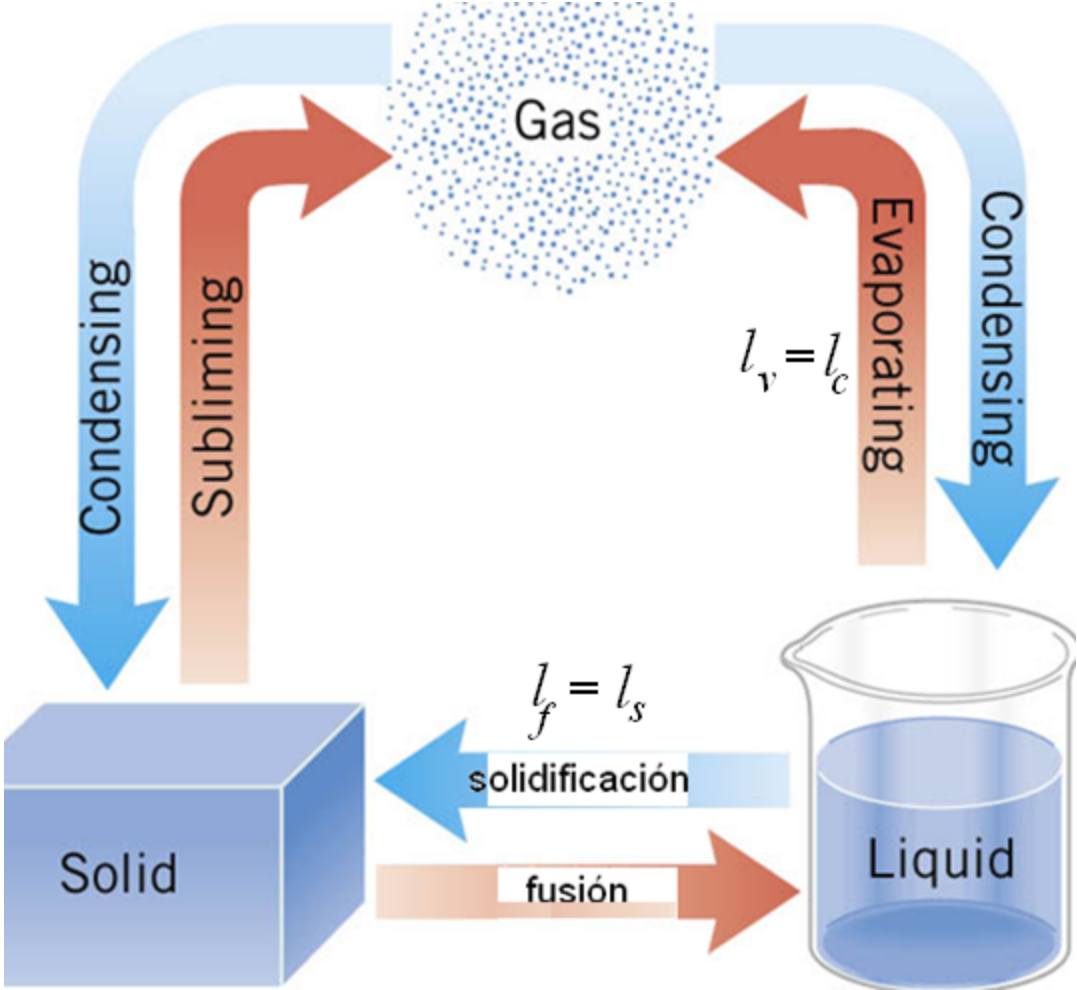
$$Q = mL$$

*Calor latente*



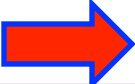
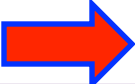
**Unidades del calor latente: J/kg**

Calor y cambio de fase: calor latente



## 12.8 Calor y cambio de fase

**Table 12.3** Calores latentes de fusión y vaporización ( $P = 1 \text{ atm}$ )

Substance	punto de fusión (°C)	calor latente de fusión, $L_f$ (J/kg)	punto de ebullición (°C)	calor latente de vaporización, $L_v$ (J/kg)
Ammonia	-77.8	$33.2 \times 10^4$	-33.4	$13.7 \times 10^5$
Benzene	5.5	$12.6 \times 10^4$	80.1	$3.94 \times 10^5$
Copper	1083	$20.7 \times 10^4$	2566	$47.3 \times 10^5$
Ethyl alcohol	-114.4	$10.8 \times 10^4$	78.3	$8.55 \times 10^5$
Gold	1063	$6.28 \times 10^4$	2808	$17.2 \times 10^5$
Lead	327.3	$2.32 \times 10^4$	1750	$8.59 \times 10^5$
Mercury	-38.9	$1.14 \times 10^4$	356.6	$2.96 \times 10^5$
Nitrogen	-210.0	$2.57 \times 10^4$	-195.8	$2.00 \times 10^5$
Oxygen	-218.8	$1.39 \times 10^4$	-183.0	$2.13 \times 10^5$
Water	0.0	 $33.5 \times 10^4$	100.0	 $22.6 \times 10^5$

### ***Ejemplo. Limonada con hielo.***

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 J/kg °C).

Luego que el hielo y la limonada alcanzan una T de equilibrio, aún queda hielo. Asumir que la masa del vaso absorbe una cantidad de calor despreciable.

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



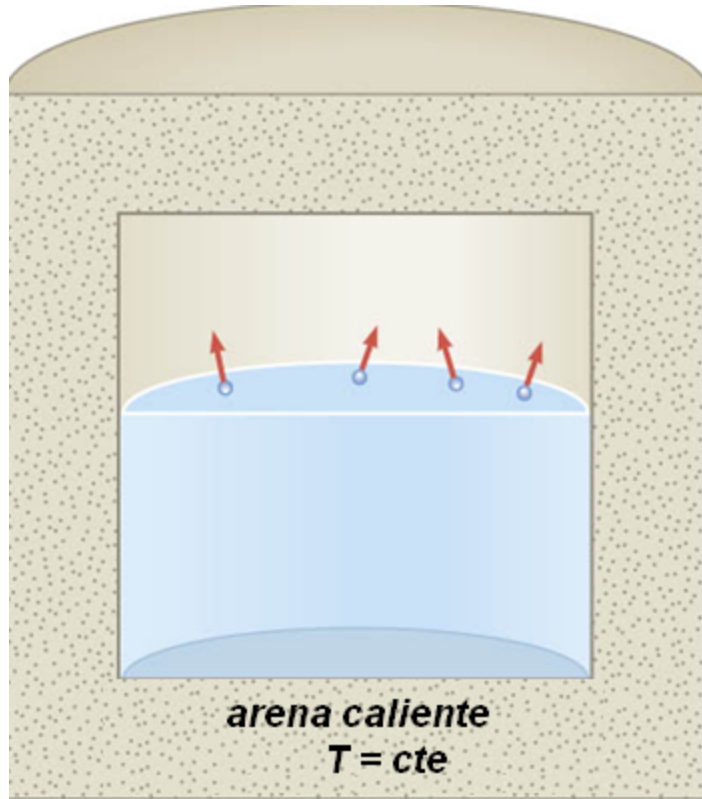
## 12.8 Calor y cambio de fase

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

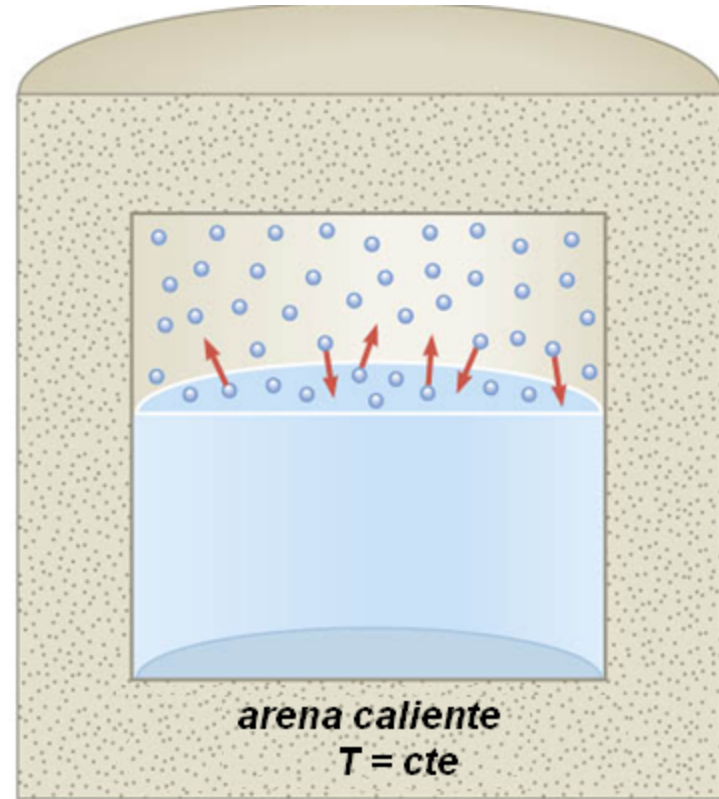
$$m_{\text{hielo}} = \frac{(cm\Delta T)_{\text{limonada}}}{L_f}$$

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

## 12.9 Equilibrio entre fases de la materia



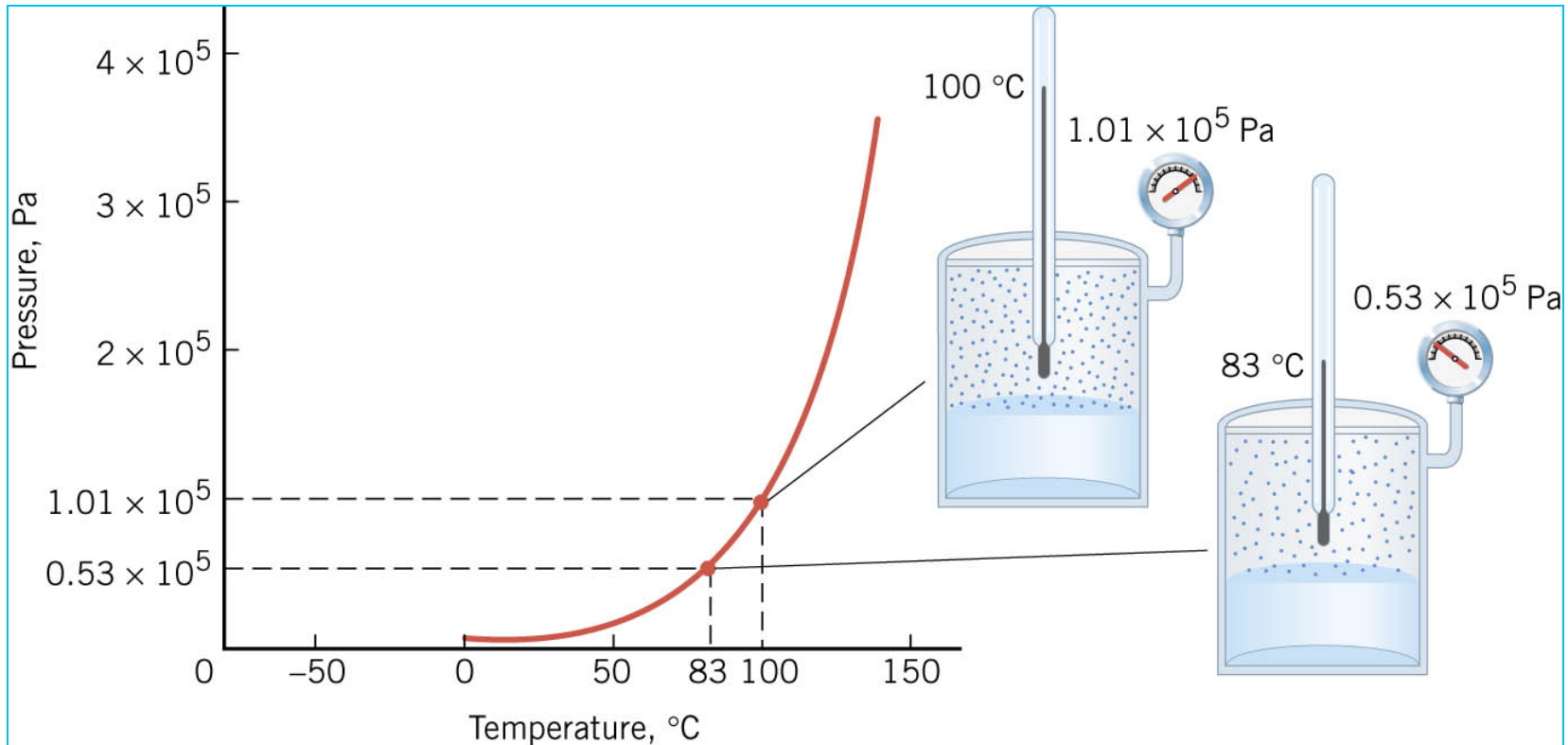
(a)



(b)

La presión de vapor que coexiste en equilibrio con el líquido es llamada **presión de vapor**, **presión de vapor saturado** o **presión de vapor en equilibrio** del líquido .

La presión de vapor depende de la T

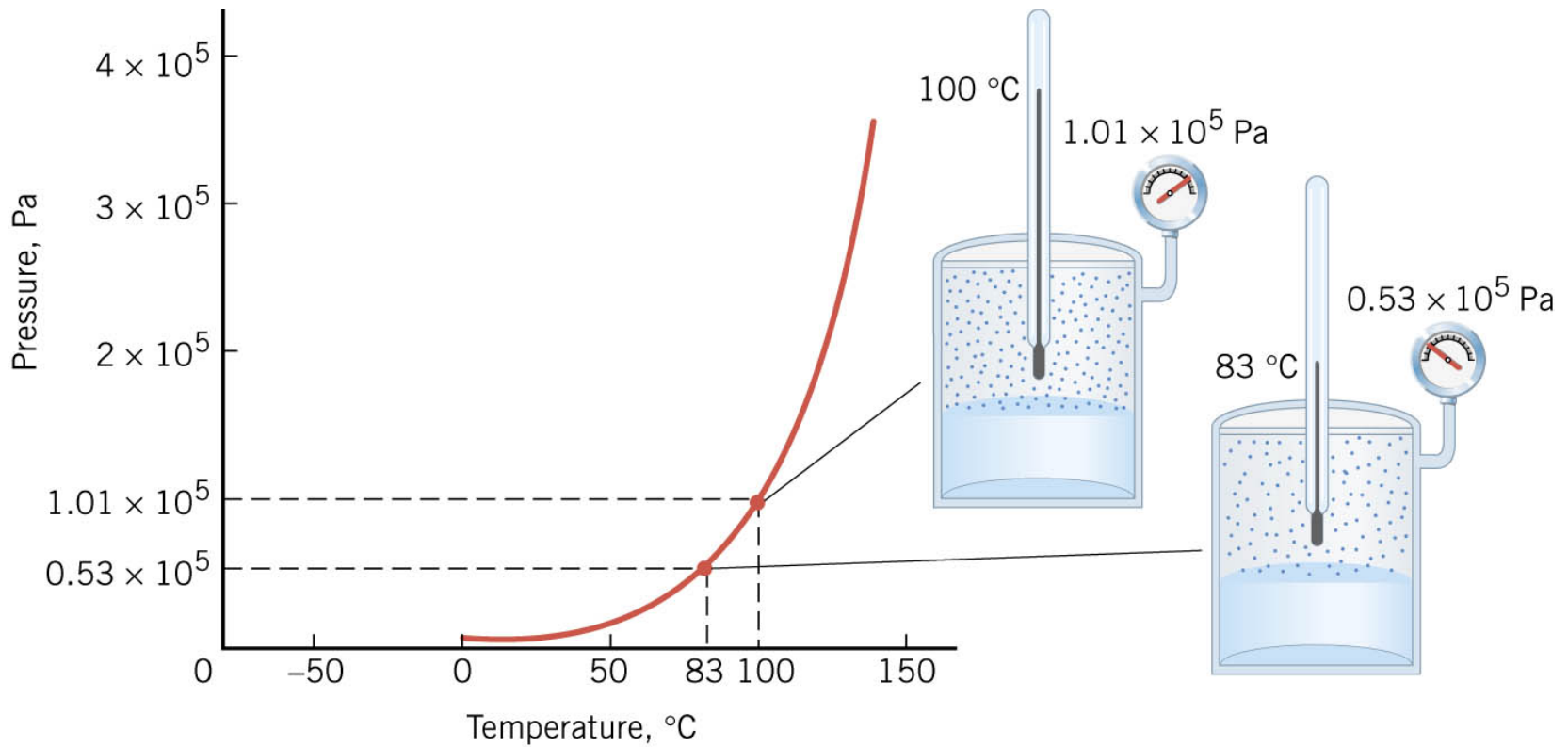


Las fases vapor y líquido **coexisten en equilibrio** sólo para los valores de P y T que caen sobre la “curva”.

# EBULLICIÓN



$P_{\text{externa}} = \text{presión de vapor}$





### **Ejemplo conceptual. Como hervir agua enfriándola.**

Enseguida que se retira el balón del fuego se detiene la ebullición.

Se coloca un tapón en el cuello del balón para sellarlo.

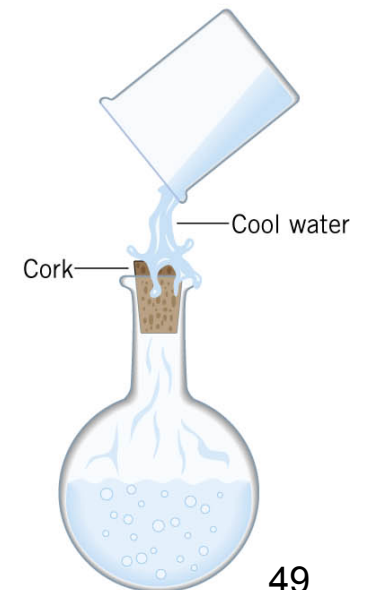
Para reiniciar la ebullición, sobre el cuello del balón, se debe derramar agua

➤ Caliente?

➤ Fría?

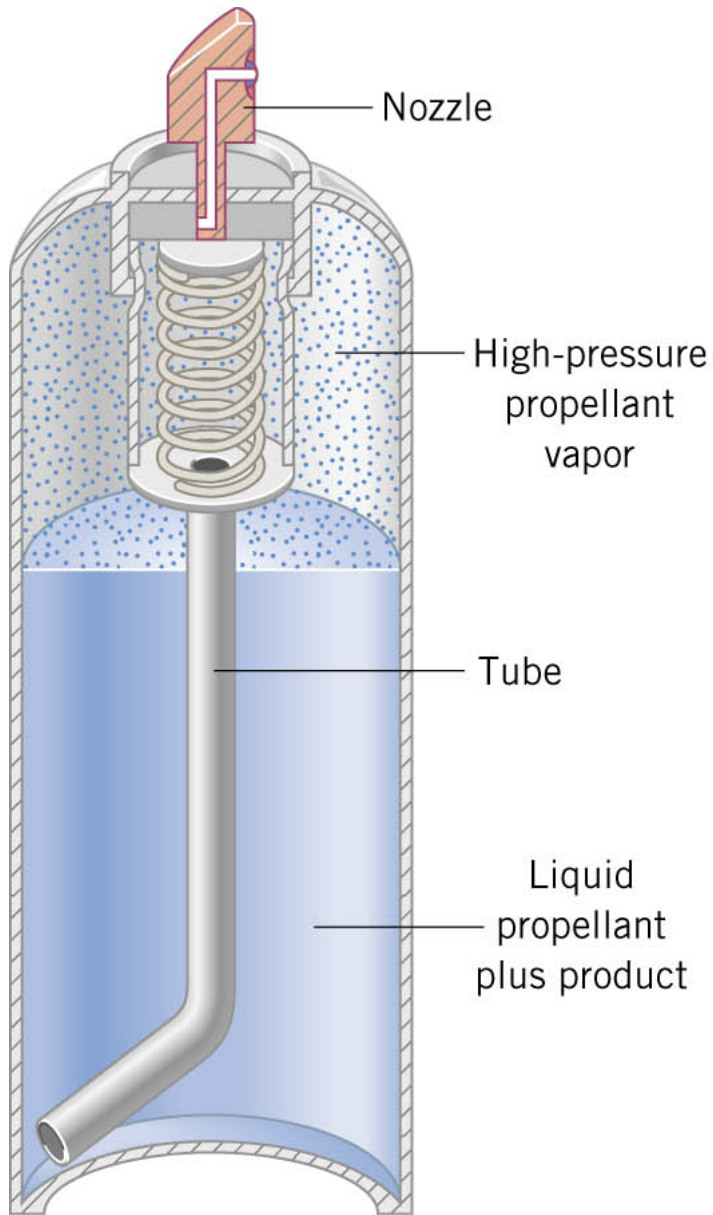


(a) Water boiling

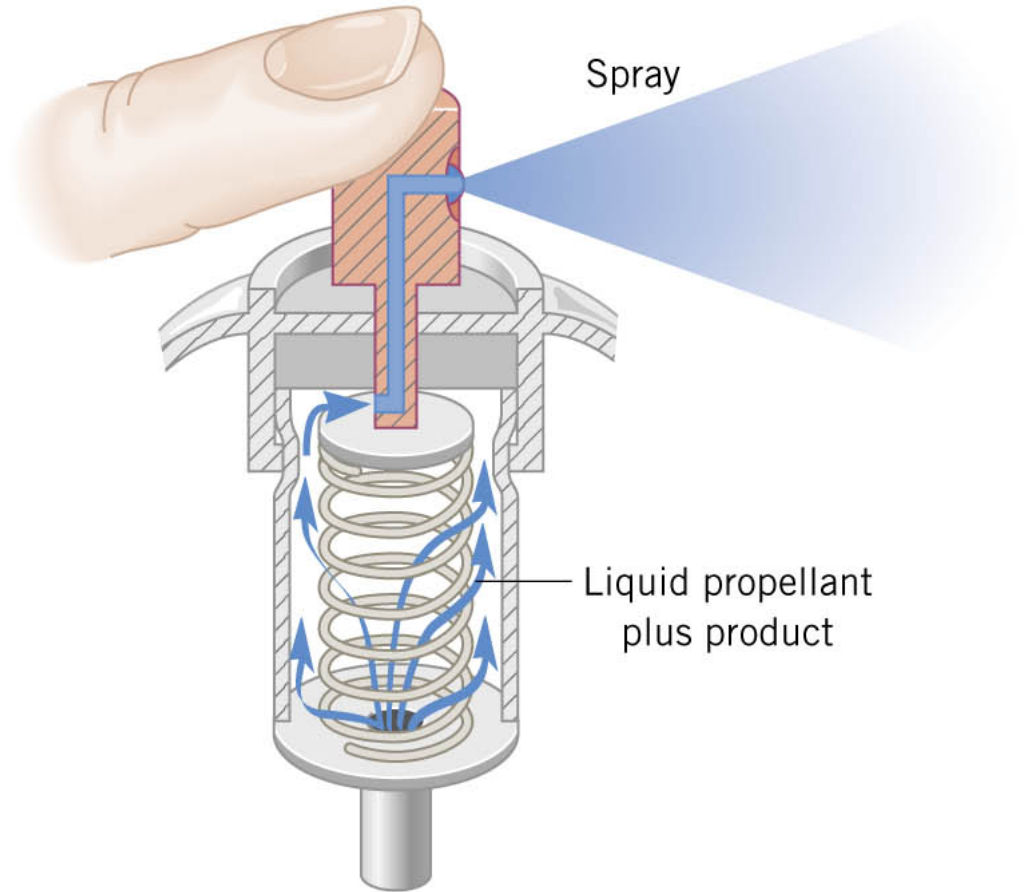


(b) Water boiling again

## 12.9 Equilibrio entre fases de la materia



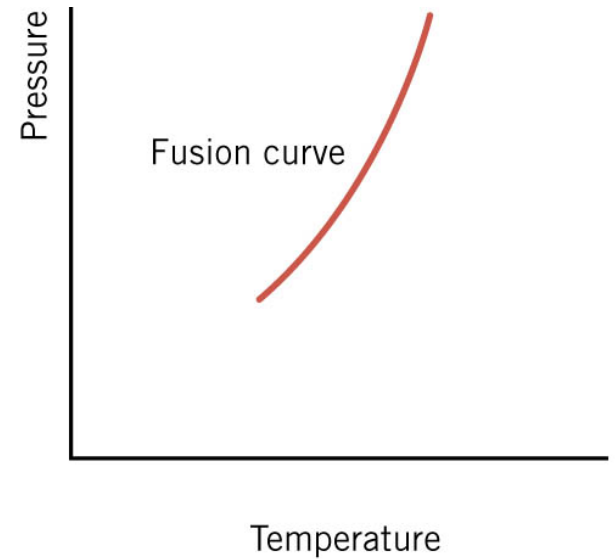
(a)



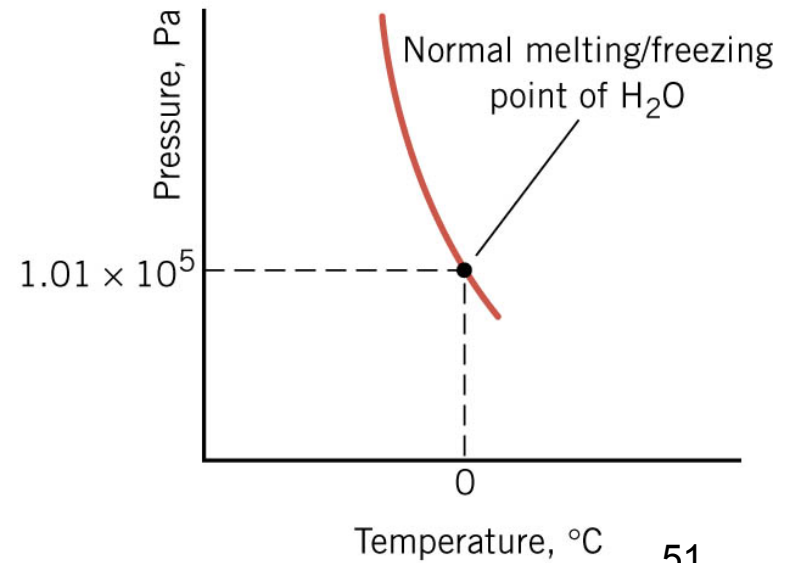
(b)

## 12.9 Equilibrio entre fases de la materia

Como en el caso del equilibrio líquido/vapor, un sólido puede estar en equilibrio con su fase líquida sólo en condiciones de P y T específicas.



(a)



(b)