

# Física II

## Termodinámica

### Introducción

Definición de termodinámica, sistema, variables termodinámicas, estado termodinámico, proceso termodinámico

Equilibrio térmico. Ley cero de la termodinámica. Termómetros y escalas de temperatura.

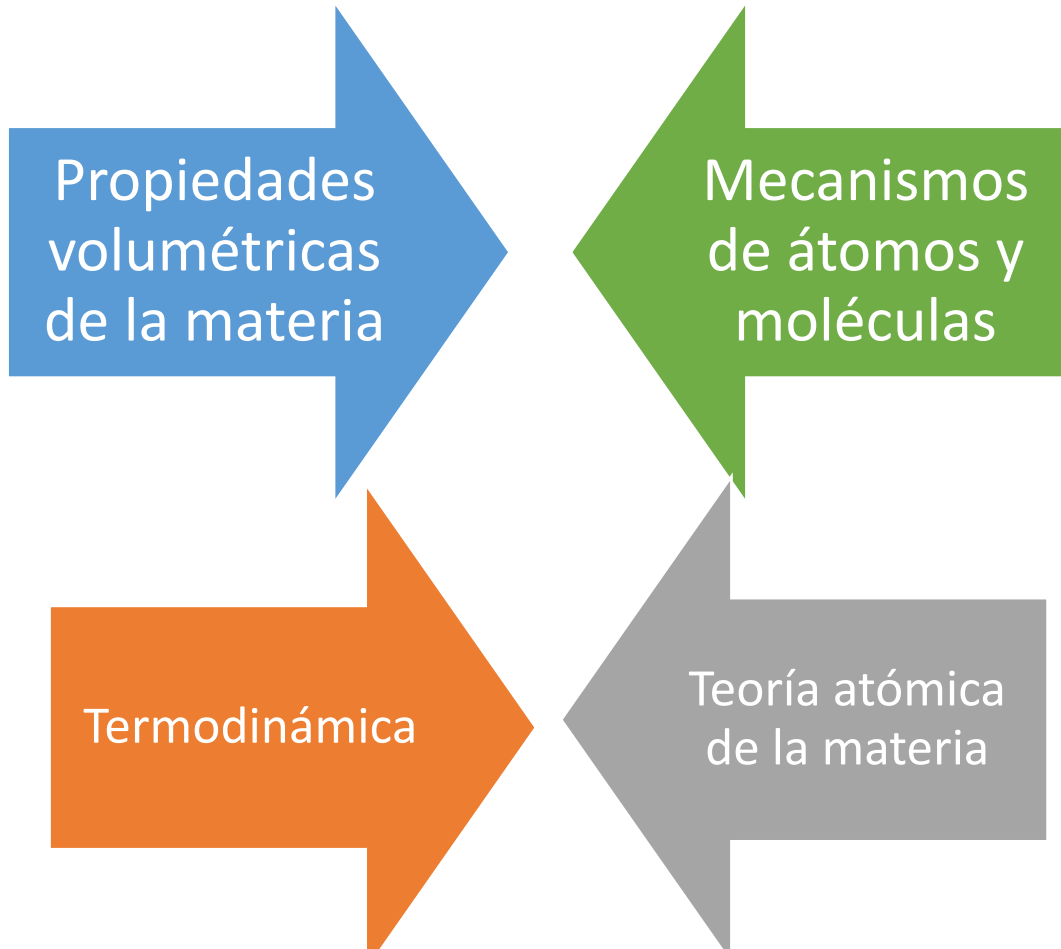
Dilatación térmica de sólidos y líquidos.



# Definición de termodinámica

¿Cuál es el objeto de estudio de la termodinámica?

**Estado termodinámico  $\leftrightarrow$  transferencias de energía.**



Conexión entre el mundo cotidiano y los bloques constructores invisibles que conforman este mundo  $\rightarrow$  átomos

¿Alguna vez se ha preguntado cómo un refrigerador es capaz de enfriar su contenido?

¿Qué tipos de transformaciones se presentan en una planta eléctrica?

¿Qué tipos de transformaciones se presentan en el motor de un automóvil?

¿Qué ocurre con la energía cinética de un objeto en movimiento cuando llega al reposo?



# Definición de termodinámica

## Termodinámica

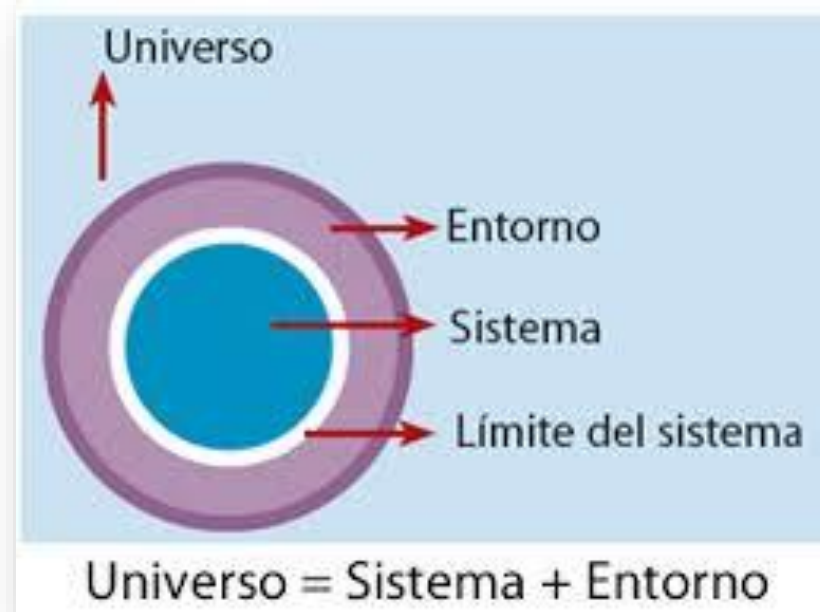
La rama de la Física que describe los **estados de equilibrio** de un sistema termodinámico a nivel macroscópico.



# Sistema y propiedades

**Sistema:** Parte aislada (de forma imaginaria) y sobre la cual fijamos la atención

**Entorno:** todo aquello exterior al sistema que tiene relación directa con su comportamiento



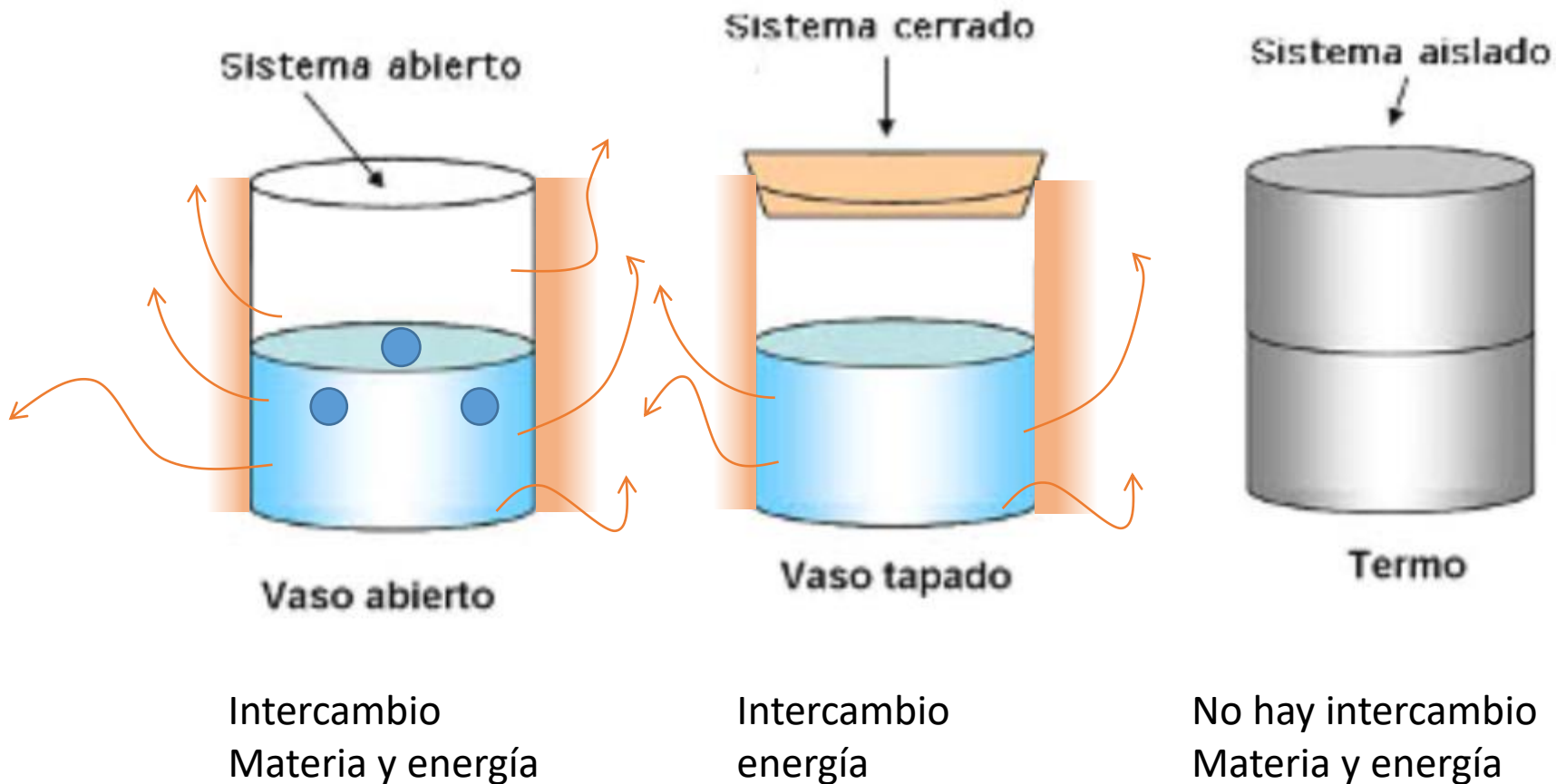


¿Cuál es el sistema que queremos estudiar?



# Sistema y propiedades

## Clasificación de sistemas



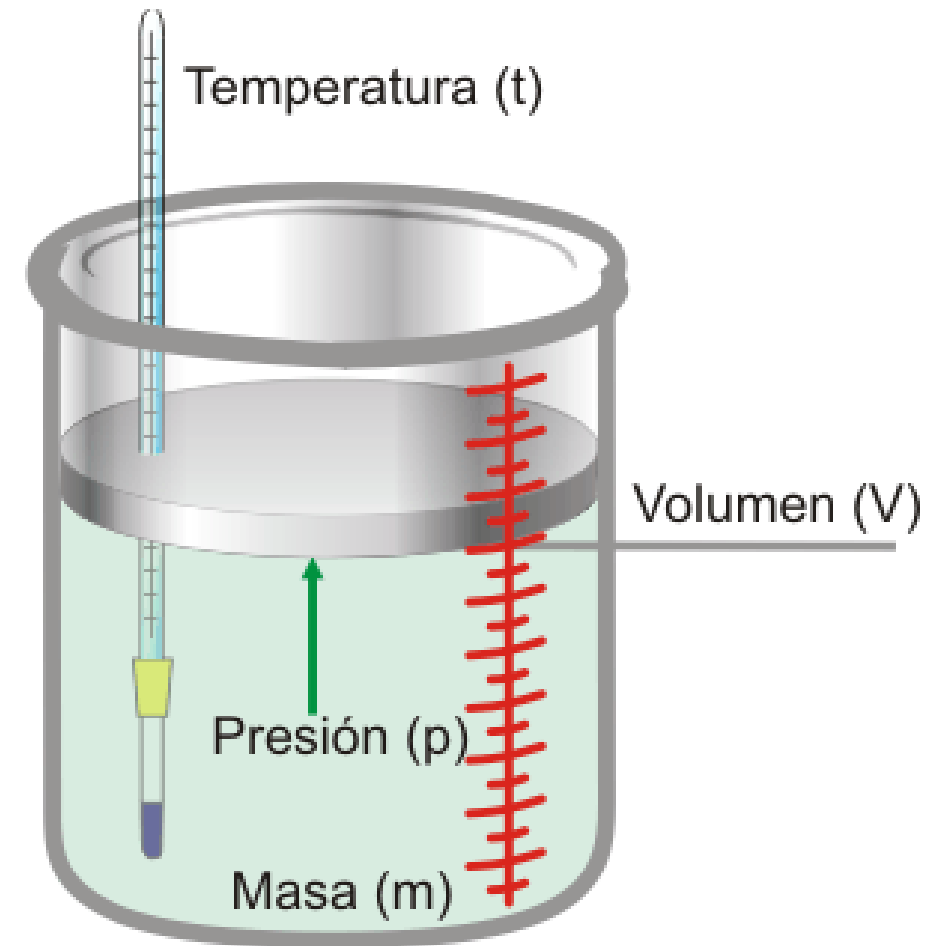
# Sistema y propiedades

## Coordenadas macroscópicas (X, Y)

No implican hipótesis especiales  
concernientes a la estructura de la  
materia

Su número es pequeño

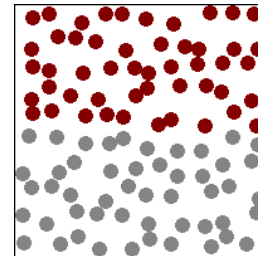
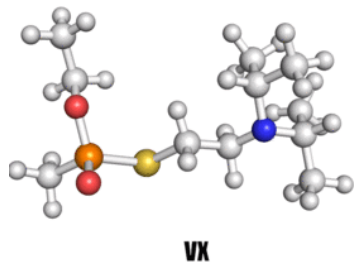
Nos las sugieren nuestros sentidos  
y pueden medirse directamente



# Sistema y propiedades

## Criterio microscópico

- Se hacen hipótesis acerca de la estructura de la materia (existen moléculas)



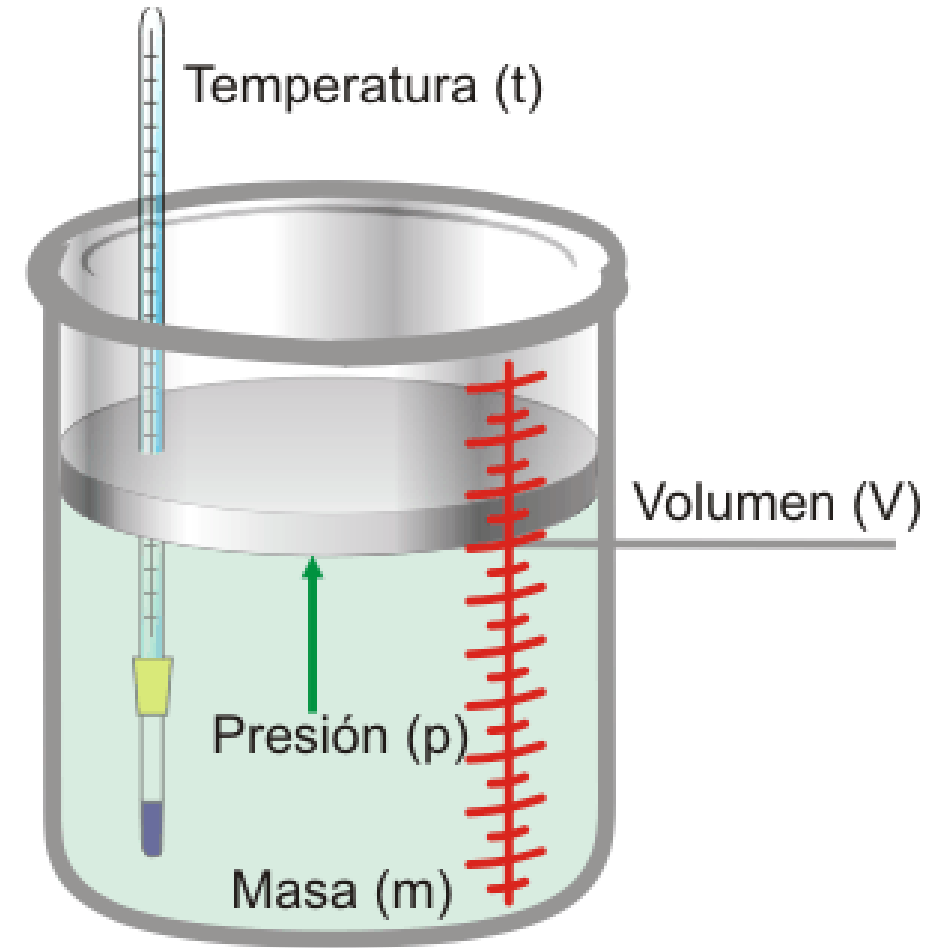
- Deben especificarse muchas magnitudes
- Nuestros sentidos no sugieren las magnitudes a especificar
- Las magnitudes especificadas no pueden medirse



# Estado termodinámico

- **Termodinámica** estudia el interior de un sistema desde un **punto de vista macroscópico**
- **Sistema termodinámico**: sistema descrito mediante **coordenadas termodinámicas**
- **El objeto de la termodinámica** es encontrar entre las coordenadas termodinámicas **relaciones generales** coherentes con sus principios.
- **Termodinámica física** (sistemas): gas, vapor, mezcla, sólidos, láminas superficiales, alambres estirados, capacitores eléctricos, termopares y sustancias magnéticas.

**Estado termodinámico**: Valores particulares de las coordenadas termodinámicas de un sistema termodinámico.

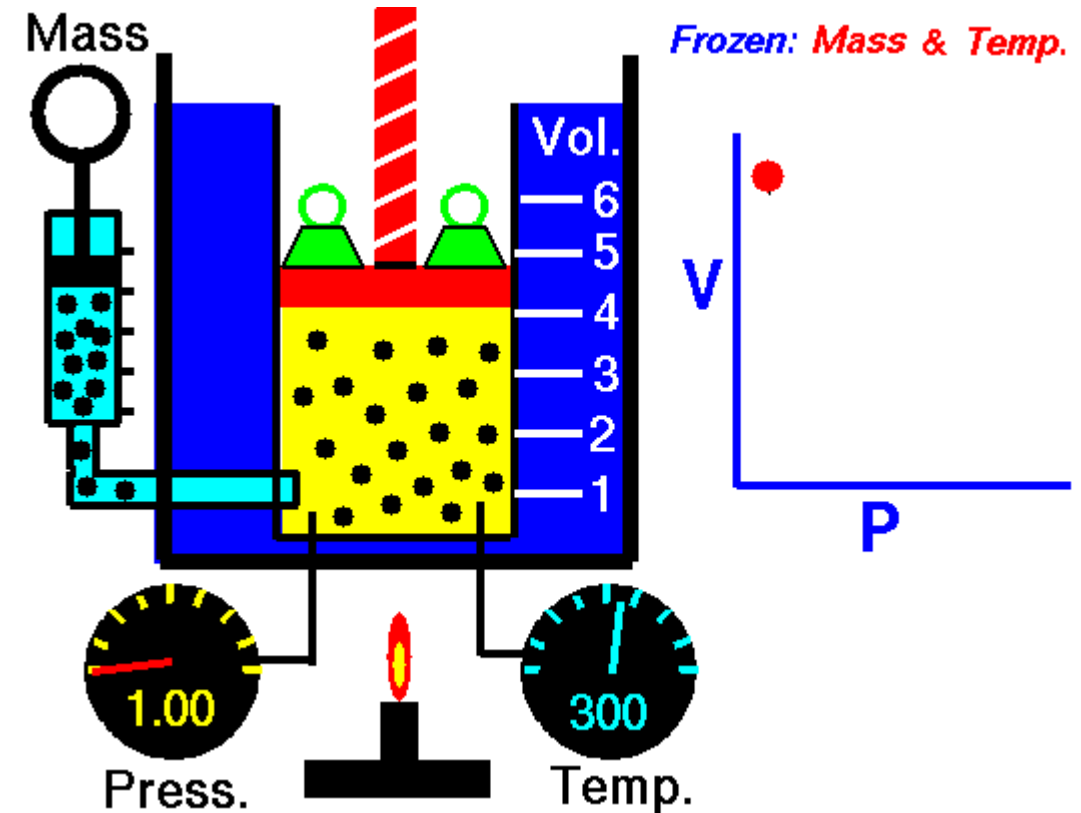


# Equilibrio

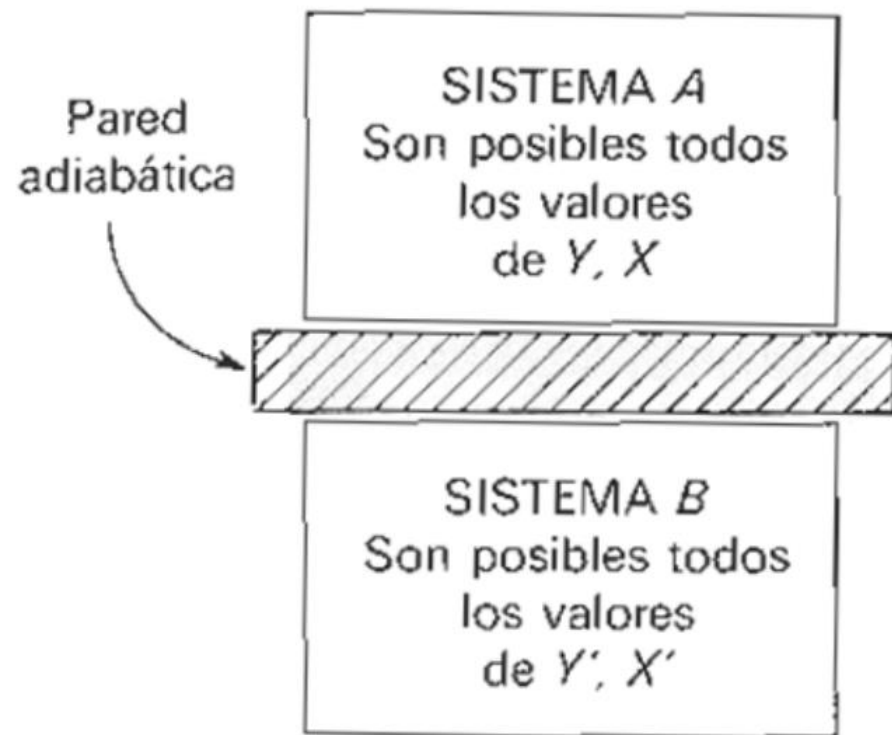
Estado de un sistema en el que  $Y$  y  $X$  tienen **valores definidos**, que permanecen **constantes** mientras no se modifican las condiciones externas.

**Supuesto:** masa y composición constantes

**Descripción:** es hecha únicamente por un par de coordenadas independientes ( $Y, X$ ) como la presión y el volumen en un gas.

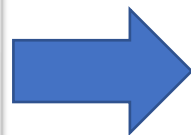
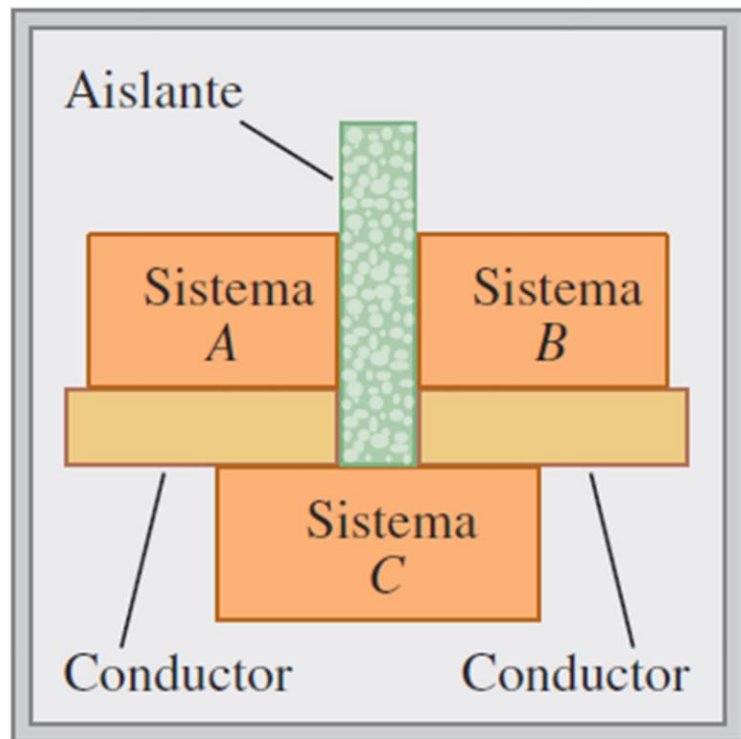


# Equilibrio térmico

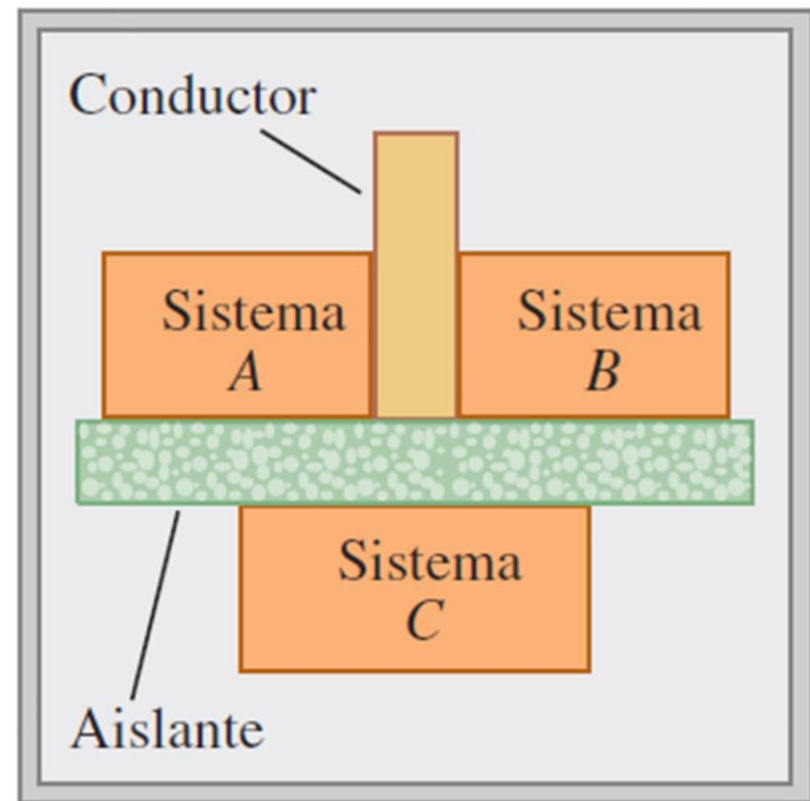


# Ley cero

Si los sistemas *A* y *B* están cada uno en equilibrio térmico con el sistema *C* ...

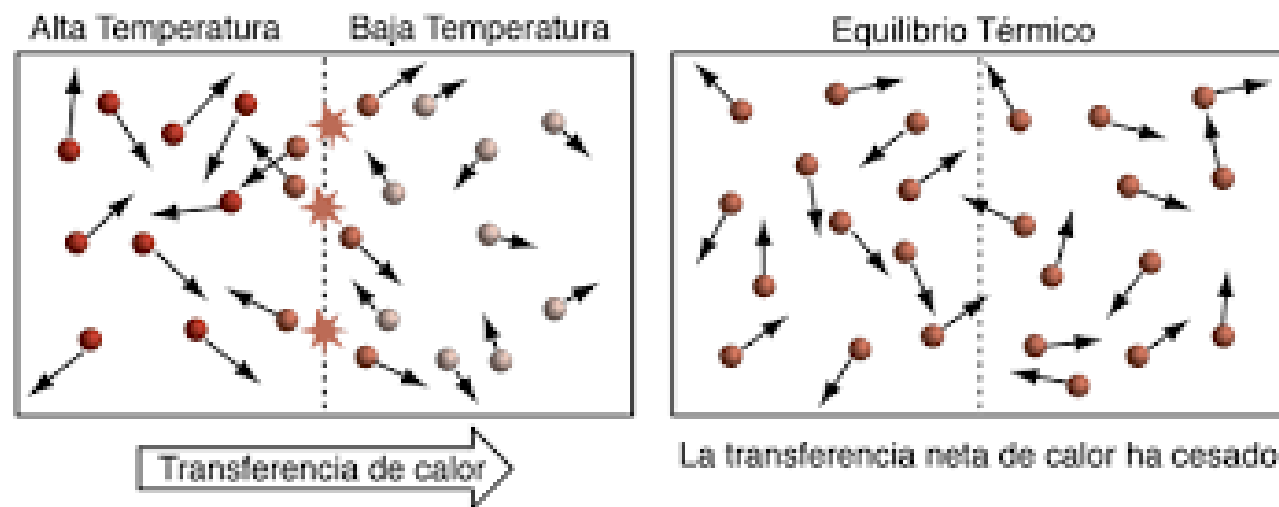


... entonces los sistemas *A* y *B* están en equilibrio térmico entre sí.

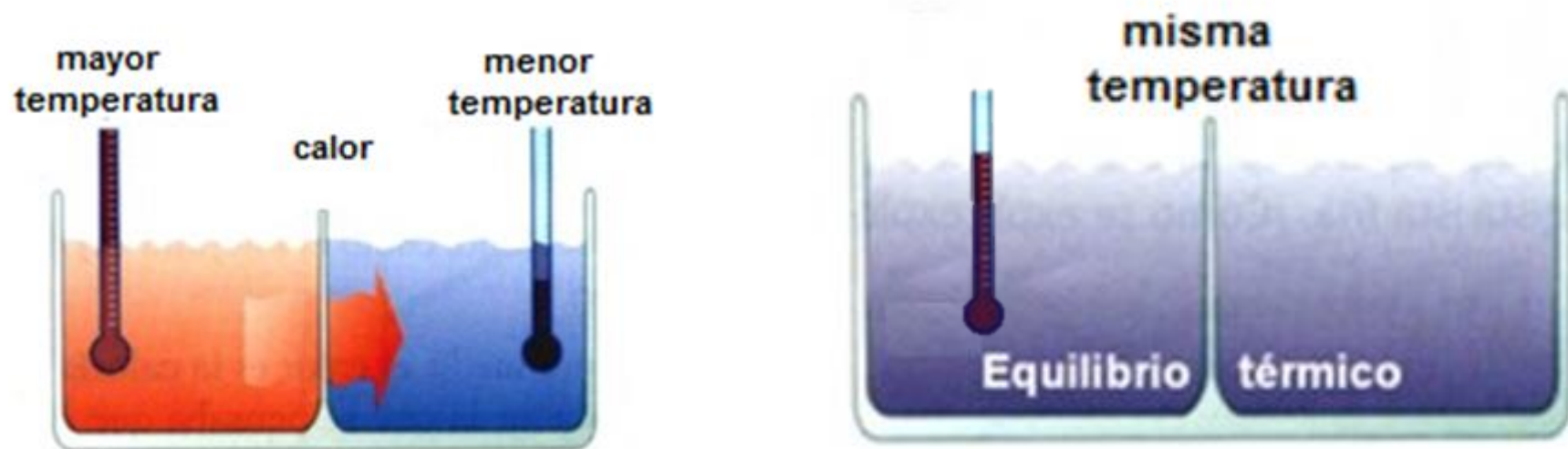




# Situaciones cotidianas de equilibrio térmico



*Existe una cantidad escalar, llamada temperatura, que es una propiedad de todos los sistemas termodinámicos en equilibrio. Dos sistemas están en equilibrio térmico si y sólo si sus temperaturas son iguales.*







Dos objetos, con diferentes tamaños, masas y temperaturas, se ponen en contacto térmico.

¿En que dirección viaja la energía?

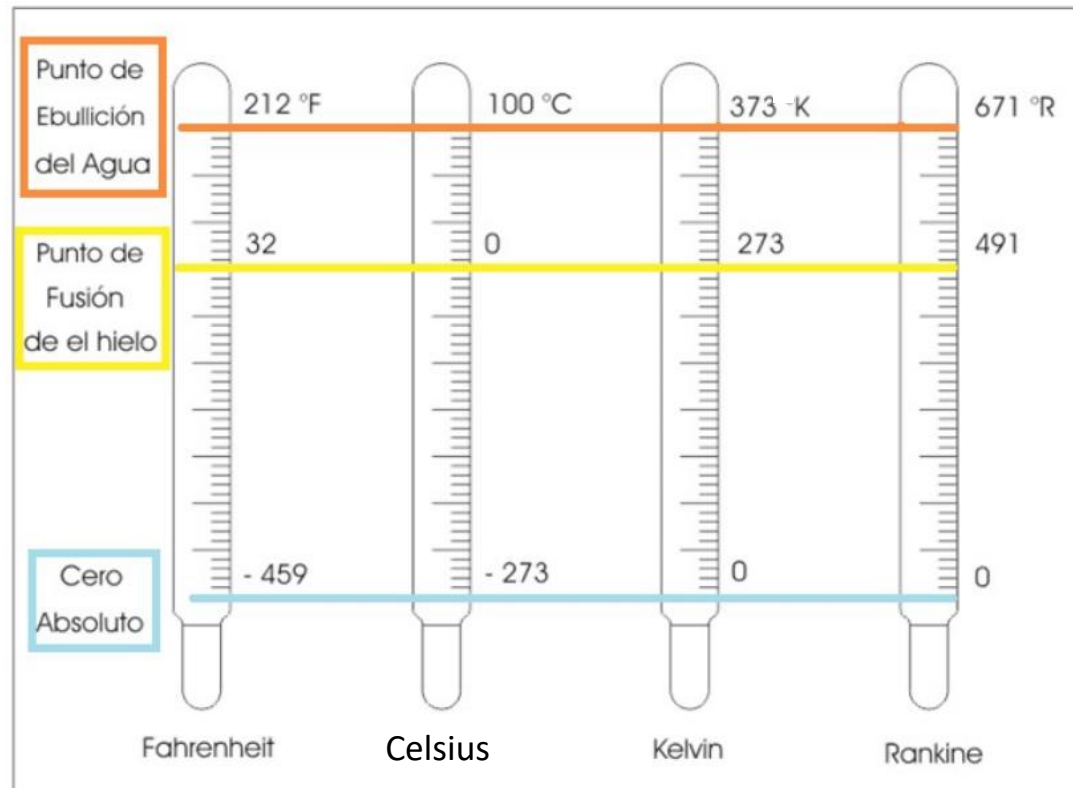
- a) La energía viaja del objeto mas grande al objeto mas pequeño.
- b) La energía viaja del objeto con mas masa al que tiene menos masa.
- c) La energía viaja del objeto con mayor temperatura al objeto con menor temperatura.

La dirección de la transferencia de energía solo depende de la temperatura y no del tamaño del objeto o de cual objeto tenga mas masa.



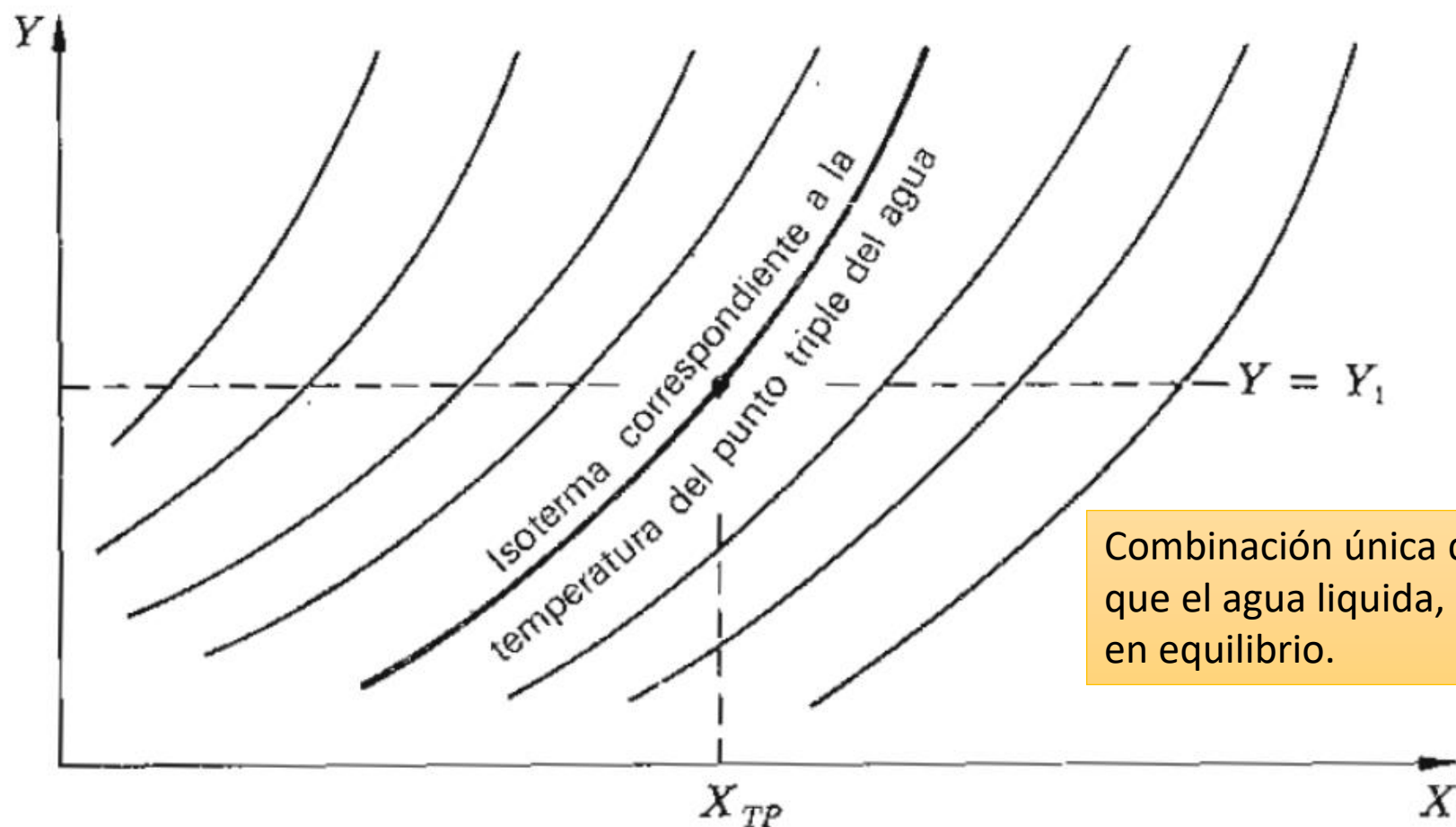
# Escalas de temperatura

La temperatura de todos los sistemas en equilibrio térmico puede representarse mediante un número. El establecimiento de una escala de temperaturas consiste simplemente en la adopción de un conjunto de reglas para asignar un número a un conjunto de isothermas correspondientes y un número distinto a un conjunto diferente de isothermas correspondientes.



$$\theta(X) = aX \quad (Y \text{ const.}).$$

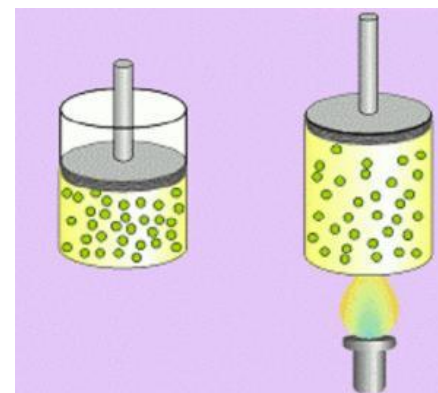
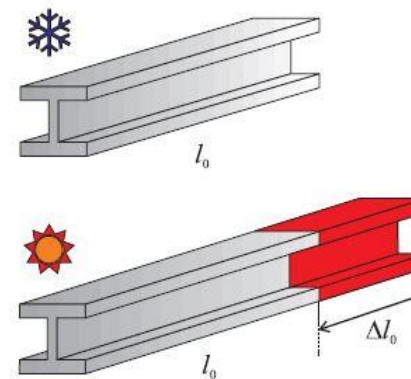
Para fijar una escala de temperaturas empíricas, seleccionamos como patrón un cierto sistema con coordenadas  $Y$  y  $X$ , al cual denominaremos *termómetro*



Combinación única de temperatura y presión en la que el agua líquida, gaseosa y sólida (hielo) coexisten en equilibrio.

# ¿Qué propiedades físicas cambian con la temperatura?

1. Volumen de un líquido.
2. Dimensiones de un sólido.
3. Presión de un gas a volumen constante.
4. Volumen de un gas a presión constante.
5. Resistencia eléctrica de un conductor.
6. Color de un objeto.



$$\theta(X) = aX \quad (Y \text{ const.}).$$

La coordenada  $X$  se denomina *propiedad termométrica*, y la forma de la *función termométrica*  $\theta(X)$  determina la escala de temperatura.

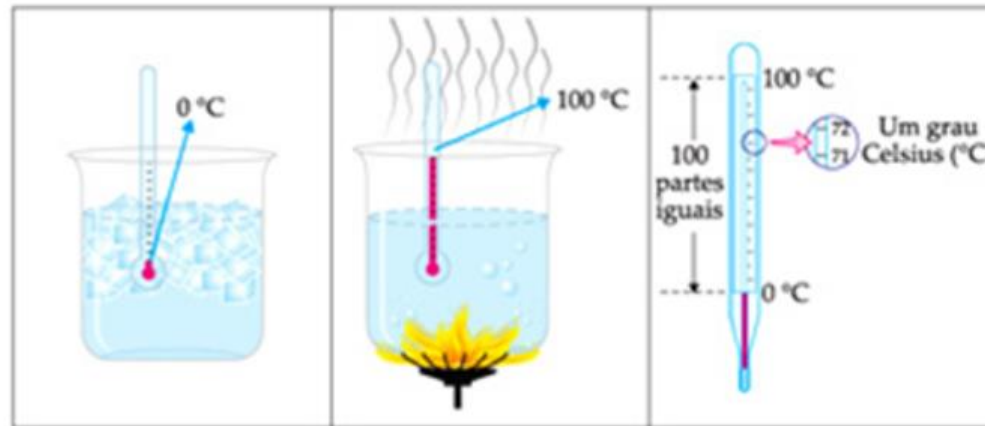
**Tabla      Termómetros y propiedades termométricas**

Termómetro	Propiedad termométrica	Símbolo
Gas (volumen constante)	Presión	$P$
Resistencia eléctrica (tensión constante)	Resistencia eléctrica	$R'$
Termopar (tensión constante)	Fem térmica	$\mathcal{E}$
Vapor de helio (saturado)	Presión	$P$
Sal paramagnética	Susceptibilidad magnética	$\chi$
Radiación del cuerpo negro	Emitancia radiante	$\mathcal{R}_{B, \lambda}$

## escala de temperatura Celsius

*punto de hielo*  $0^{\circ}\text{C}$

*punto de  
vapor del agua*  $100^{\circ}\text{C}$

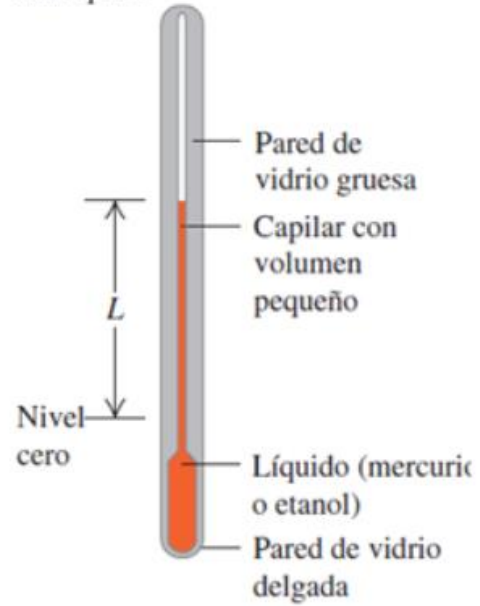


Para convertir de Fahrenheit a Celsius,

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

**Propiedad  
termométrica:**  
Volumen del mercurio

a) Los cambios de temperatura hacen que cambie el volumen del líquido



b) Los cambios de temperatura hacen que cambie la presión del gas







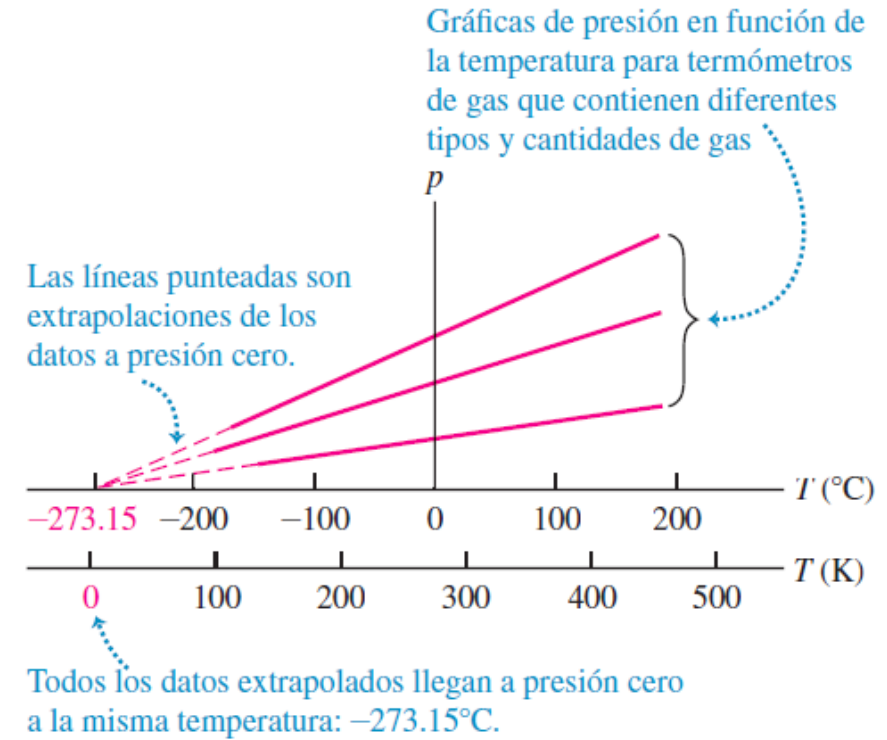
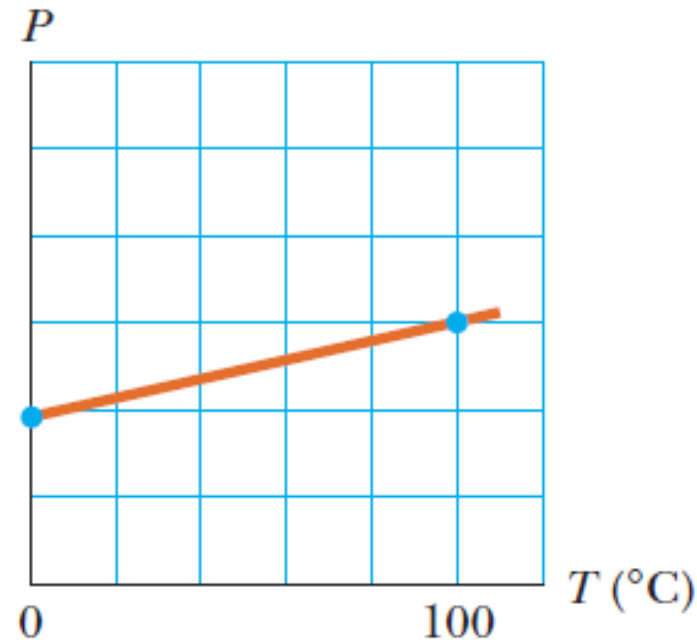
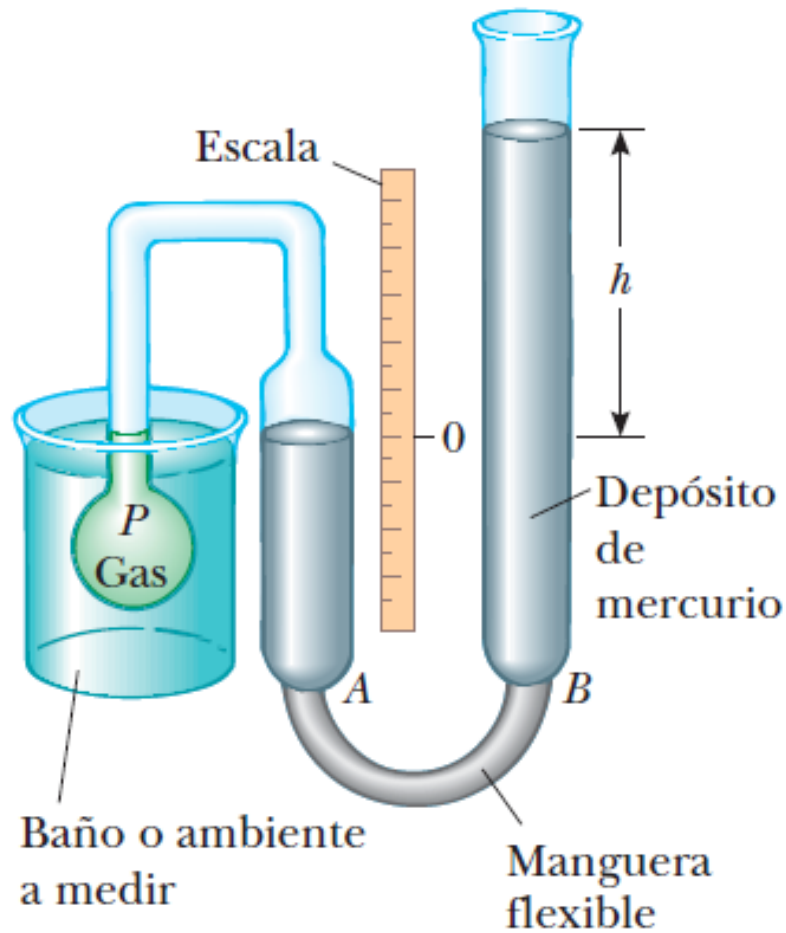
Si se introduce un termómetro en una olla de agua caliente y se registra la lectura de aquel, ¿qué temperatura se registrará?

- i. La temperatura del agua;
- ii. la temperatura del termómetro;
- iii. un promedio igual de las temperaturas del agua y el termómetro;
- iv. un promedio ponderado de las temperaturas del agua y del termómetro, con mayor énfasis en la temperatura del agua;
- v. un promedio ponderado del agua y del termómetro, con mayor énfasis en la temperatura del termómetro.

¿Cuáles de los siguientes tipos de termómetros tienen que estar en equilibrio térmico con el objeto que se mide, con la finalidad de dar lecturas exactas?

- i. Una tira bimetálica;
- ii. un termómetro de resistencia;
- iii. un termómetro para la arteria temporal;
- iv. tanto i como ii
- v. todos: i, ii y iii.

# Escala absoluta de temperatura



$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1} \quad (\text{termómetro de gas a volumen constante, } T \text{ en kelvins})$$



temperatura del punto triple del agua es, *por definición*,  $T_{\text{triple}} = 273.16 \text{ K}$ .

# Escalas de temperatura

$$T = T_{\text{triple}} \frac{P}{P_{\text{triple}}} = (273.16 \text{ K}) \frac{P}{P_{\text{triple}}}$$

	K	C	F
El agua hierve	373	100°	212°
	↑ 100 K	↑ 100 C°	↑ 180 F°
El agua se congela	273	0°	32°
	↓	↓	↓
CO <sub>2</sub> se solidifica	195	-78°	-109°
El oxígeno se licua	90	-183°	-298°
Cero absoluto	0	-273°	-460°

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

$$T_C = T_K - 273.15$$

# Transferencia de calor

```
graph TD; A[Transferencia de calor] --> B[Expansión térmica]; A --> C[Cambio de temperatura]; A --> D[Cambio de fase];
```

Expansión  
térmica

Cambio de  
temperatura

Cambio de  
fase

# Expansión térmica

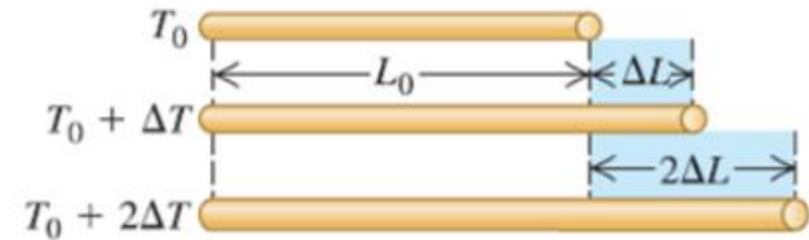
**Tabla**

Coeficientes de expansión lineal

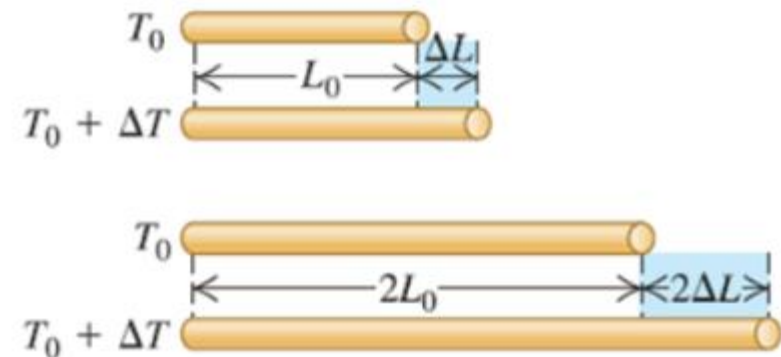
Material	$\alpha$ [ $\text{K}^{-1}$ o $(^\circ\text{C})^{-1}$ ]
Aluminio	$2.4 \times 10^{-5}$
Latón	$2.0 \times 10^{-5}$
Cobre	$1.7 \times 10^{-5}$
Vidrio	$0.4\text{--}0.9 \times 10^{-5}$
Invar (aleación níquel-hierro)	$0.09 \times 10^{-5}$
Cuarzo (fundido)	$0.04 \times 10^{-5}$
Acero	$1.2 \times 10^{-5}$

## Expansión lineal

a) Para cambios de temperatura moderados,  $\Delta L$  es directamente proporcional a  $\Delta T$ .



b)  $\Delta L$  también es directamente proporcional a  $L_0$ .

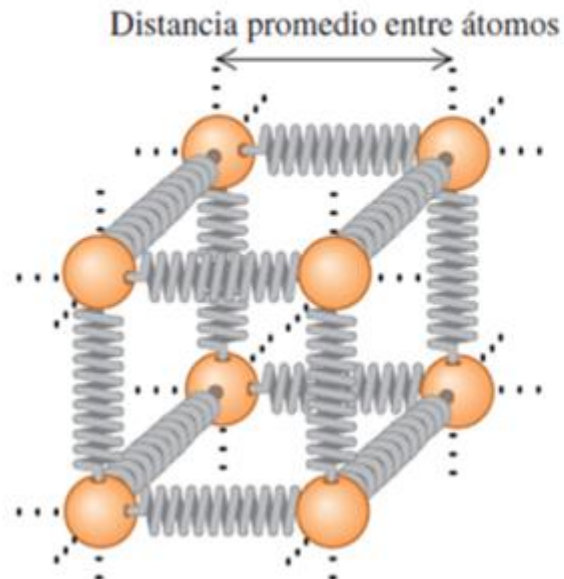


$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (\text{expansión térmica lineal})$$

$\alpha$ , coeficiente de expansión lineal.

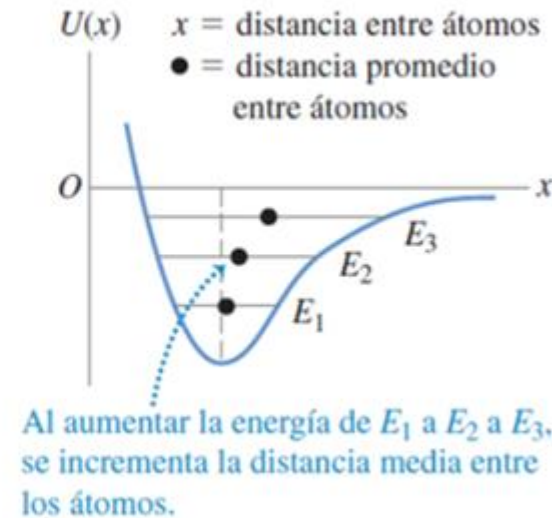
La expansión térmica es una consecuencia del cambio en la separación *promedio* entre los átomos en un objeto

Modelo de las fuerzas entre átomos vecinos de un sólido



A temperaturas ordinarias:  
 Amplitud =  $10^{-11}$  m  
 Frecuencia =  $10^{13}$  Hz.

b) Gráfica de la energía potencial de, "resorte"  $U(x)$

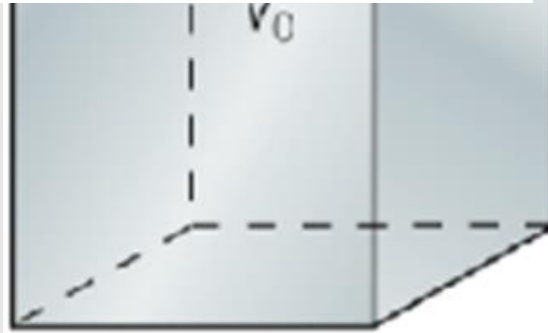


Espaciamiento promedio entre átomos  
 $10^{-11}$  m

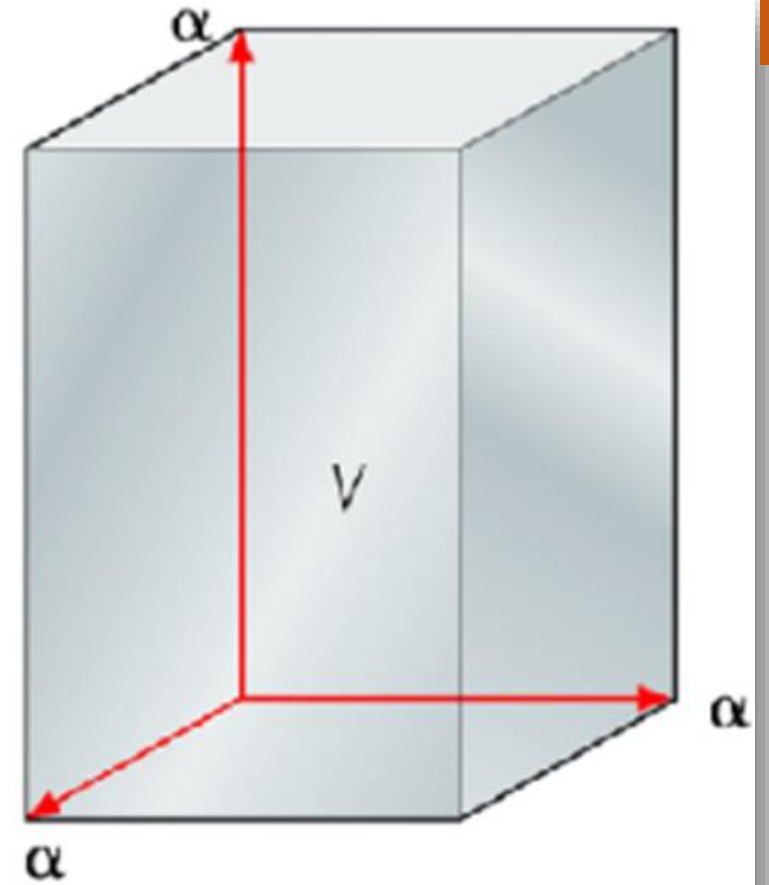
**Tabla**

## Coeficientes de expansión de volumen

Sólidos	$\beta$ [ $\text{K}^{-1}$ o $(^\circ\text{C})^{-1}$ ]	Líquido	$\beta$ [ $\text{K}^{-1}$ o $(^\circ\text{C})^{-1}$ ]
Aluminio	$7.2 \times 10^{-5}$	Etanol	$75 \times 10^{-5}$
Latón	$6.0 \times 10^{-5}$	Disulfuro de carbono	$115 \times 10^{-5}$
Cobre	$5.1 \times 10^{-5}$	Glicerina	$49 \times 10^{-5}$
Vidrio	$1.2\text{--}2.7 \times 10^{-5}$	Mercurio	$18 \times 10^{-5}$
Invar	$0.27 \times 10^{-5}$		
Cuarzo (fundido)	$0.12 \times 10^{-5}$		
Acero	$3.6 \times 10^{-5}$		



$$\beta = 3\alpha$$

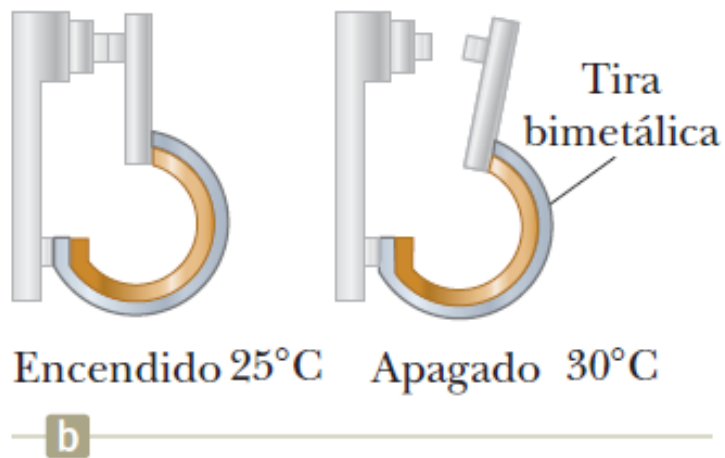
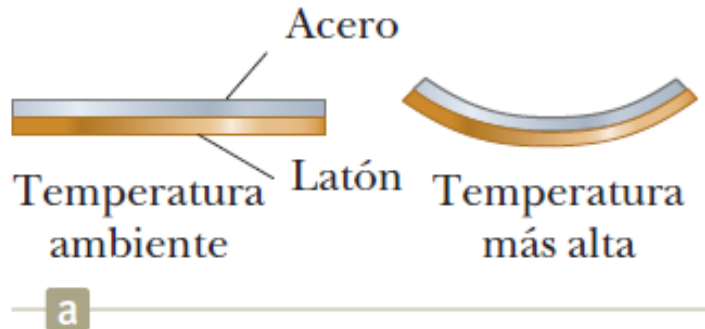


$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T \quad (\text{expansión térmica de volumen})$$

$\beta$  coeficiente de expansión de volumen.

# Expansión térmica de área

$$\Delta A = 2\alpha A_i \Delta T$$

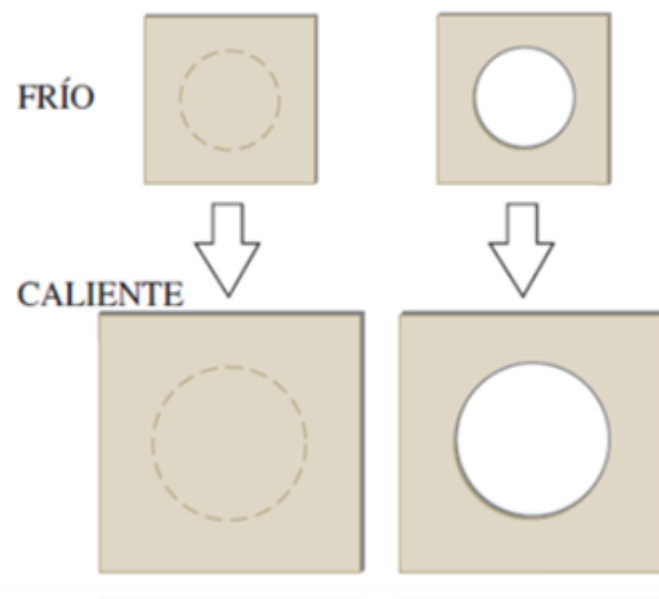


**Tabla 19.1** Coeficientes de expansión promedio para algunos materiales cerca de la temperatura ambiente

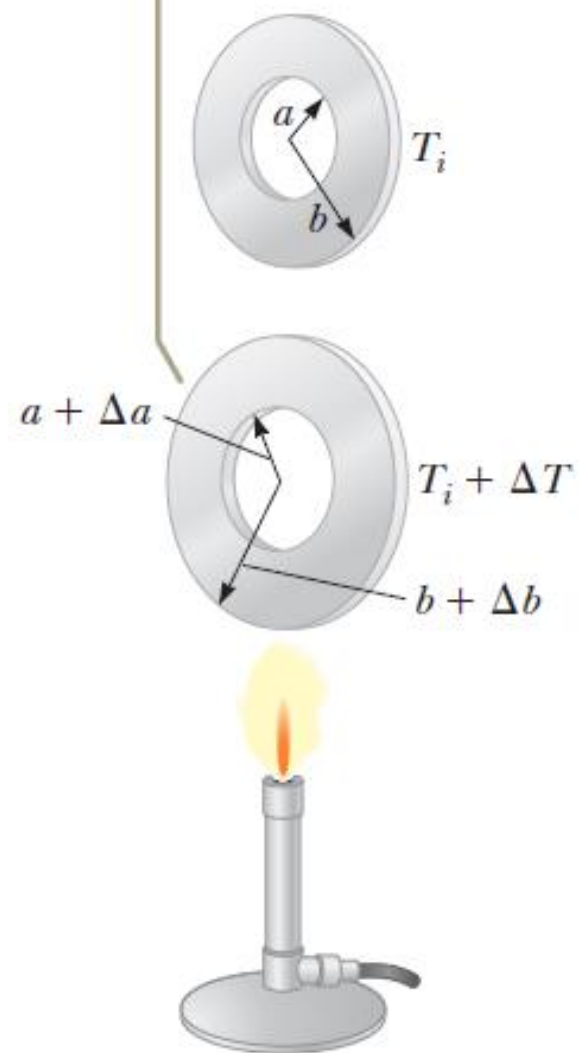
Material (sólidos)	Coeficiente de expansión lineal promedio ( $\alpha$ )( $^{\circ}\text{C}$ ) $^{-1}$	Material (líquidos y gases)	Coeficiente de expansión volumétrica promedio ( $\beta$ )( $^{\circ}\text{C}$ ) $^{-1}$
Aluminio	$24 \times 10^{-6}$	Acetona	$1.5 \times 10^{-4}$
Latón y bronce	$19 \times 10^{-6}$	Alcohol etílico	$1.12 \times 10^{-4}$
Concreto	$12 \times 10^{-6}$	Benceno	$1.24 \times 10^{-4}$
Cobre	$17 \times 10^{-6}$	Gasolina	$9.6 \times 10^{-4}$
Vidrio (ordinario)	$9 \times 10^{-6}$	Glicerina	$4.85 \times 10^{-4}$
Vidrio (Pyrex)	$3.2 \times 10^{-6}$	Mercurio	$1.82 \times 10^{-4}$
Invar (aleación Ni-Fe)	$0.9 \times 10^{-6}$	Trementina	$9.0 \times 10^{-4}$
Plomo	$29 \times 10^{-6}$	Aire <sup>a</sup> a 0°C	$3.67 \times 10^{-3}$
Acero	$11 \times 10^{-6}$	Helio <sup>a</sup>	$3.665 \times 10^{-3}$

<sup>a</sup> Los gases no tienen un valor específico para el coeficiente de expansión volumétrica porque la cantidad de expansión depende del tipo de proceso por el que pasa el gas. Los valores dados aquí suponen que el gas experimenta una expansión a presión constante.

- Si se le pide hacer un termómetro de vidrio muy sensible, ¿Cual de los siguientes líquidos de trabajo seleccionaría?
- (a) Mercurio, (b) alcohol, (c) gasolina, (d) glicerina.



A medida que la rondana se calienta, todas las dimensiones aumentan, incluido el radio del orificio.





Los dientes de una articulación de expansión de un puente. Se requieren estas articulaciones para dar cabida a los cambios de longitud resultado de la expansión térmica.



Sin estas juntas para separar secciones de carretera sobre puentes, la superficie se pandearía debido a expansión térmica en días muy calientes o se fracturaría debido a contracción en días muy fríos.



ning/George Semple

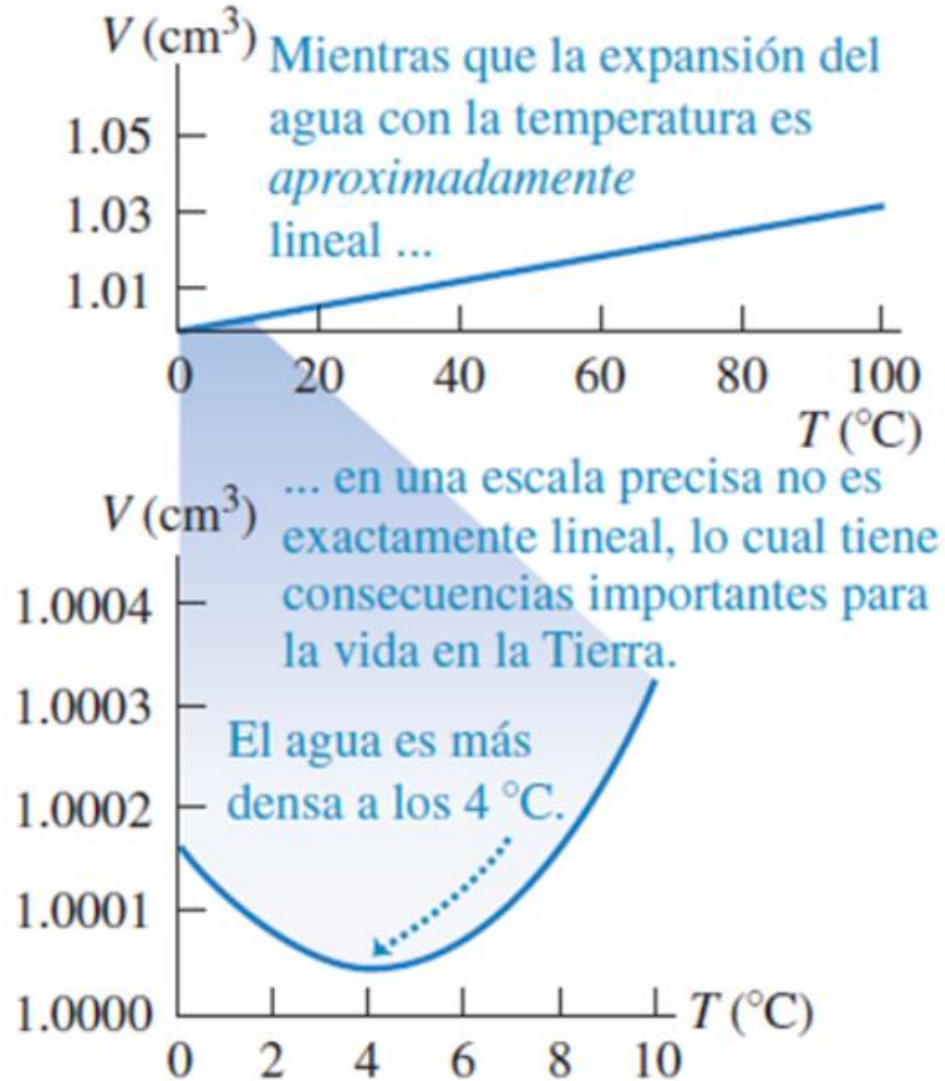
La junta vertical larga se llena con un material suave para permitir que la pared se expanda y contraiga conforme cambia la temperatura de los ladrillos.



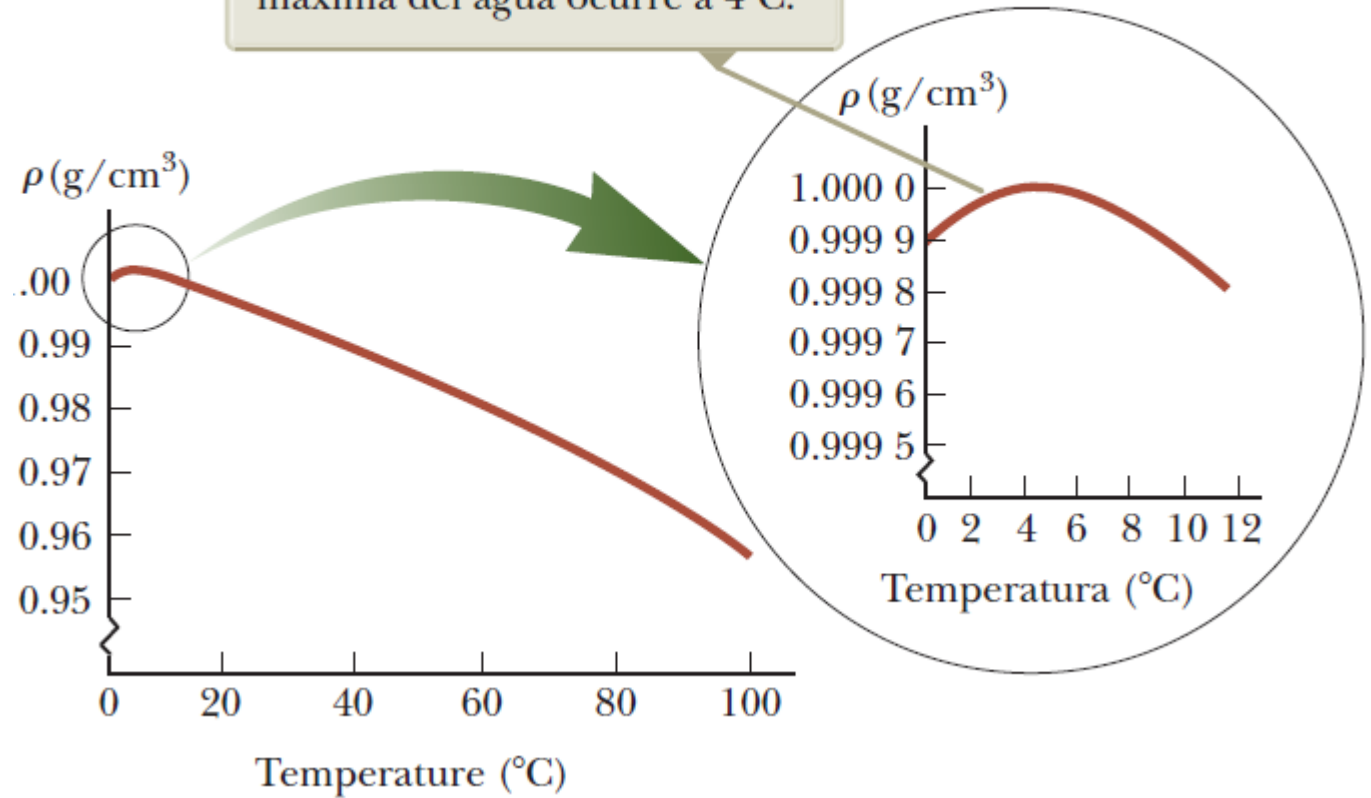
© Cengage Learning/George Semple



# Expansión térmica del agua



Esta porción aumentada de la gráfica muestra que la densidad máxima del agua ocurre a 4°C.



¿Por qué un estanque empieza a congelarse en la superficie, en lugar de hacerlo en el fondo?

Ejemplo 1.

El cero absoluto en la escala Celsius corresponde a  $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Encuentre el valor correspondiente al cero absoluto en la escala Fahrenheit.

$$T_K = T_C + 273.15$$

$$T_c(^{\circ}\text{C}) = T_K - 273.15$$

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

$$\begin{aligned} T_F &= \frac{9(-273.15\text{ }^{\circ}\text{C})}{5} + 32^{\circ}\text{F} \\ &= -459.67\text{ }^{\circ}\text{F} . \end{aligned}$$

## Ejemplo 2

Ordene de mayor a menor las siguientes temperaturas:

i.  $0.00^{\circ}\text{C}$ ; ii.  $0.00^{\circ}\text{F}$ ; iii.  $260.00\text{ K}$ ; iv.  $77.00\text{ K}$ ; v.  $-180.00^{\circ}\text{C}$ .

**i, iii, ii, v, iv.**

## Ejemplo 3

Suponga que una sartén con comida caliente se enfría de 98 a 76°F. Exprese estas temperaturas tanto en grados Celsius como en Kelvin, y calcule  $\Delta T = T_2 - T_1$  en ambos casos.

98 °F	36.7°C	309.7 K
76°F	24.4°C	297.4 K
$\Delta T = -22$ °F	$-12.3$ °C	$-12.3$ K

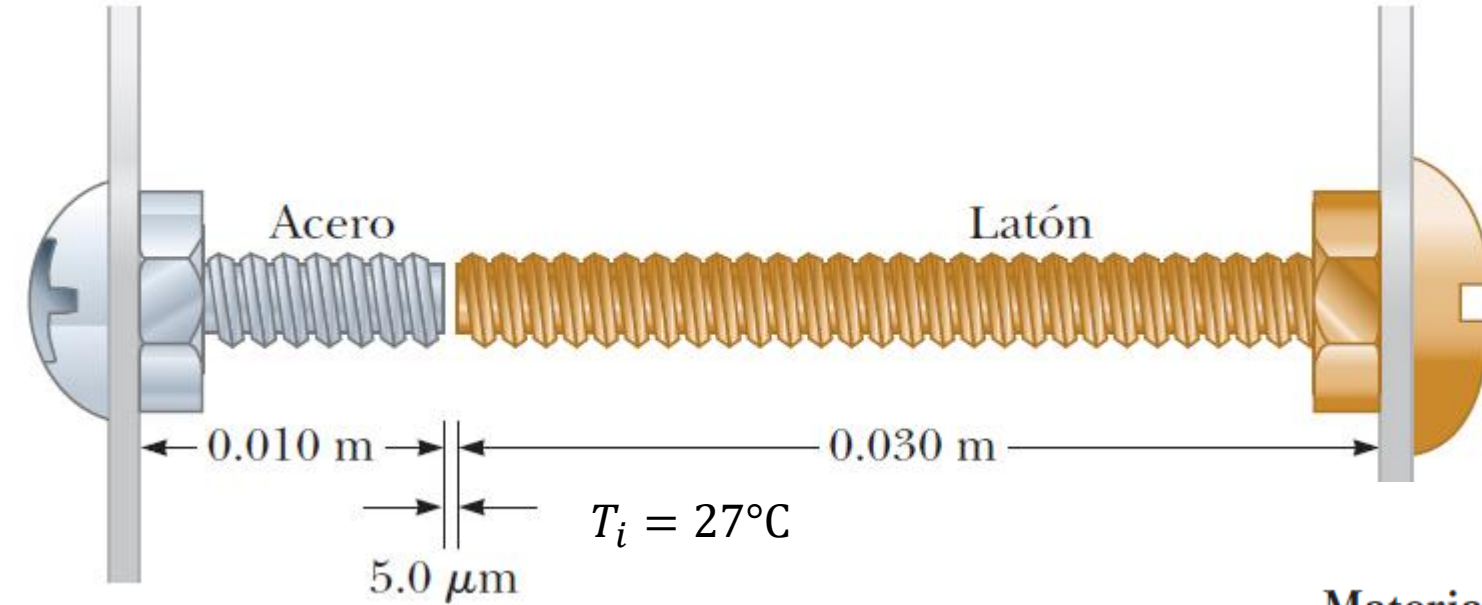
## LOS DATOS *HABLAN*

### Escalas de temperatura

Cuando a los estudiantes se les planteó un problema consistente en hacer conversiones entre las escalas de temperatura Celsius, Fahrenheit y Kelvin, más del 46% dio una respuesta incorrecta. Errores comunes:

- Olvidar que las ecuaciones (17.1) y (17.2) se aplican *temperaturas*, no a *diferencias de temperaturas*. Para convertir una diferencia de temperatura en F° a una en C°, multiplique por  $\frac{5}{9}$ ; para convertir una diferencia de temperaturas en C° a una en F°, multiplique por  $\frac{9}{5}$ .
- Olvidar que las diferencias de temperatura son iguales en las escalas Celsius y Kelvin. Aumentar la temperatura 5 C° es lo mismo que aumentar 5 K.

# Ejemplo 4: Expansión térmica



¿A que temperatura se tocan los tornillos?

$$T_f = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$$

¿Qué pasa con los extremos de los tornillos a medida que la temperatura

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T$$

Material  
(sólidos)

Coeficiente de  
expansión lineal  
promedio  
( $\alpha$ )( $^{\circ}\text{C}$ ) $^{-1}$

Aluminio	$24 \times 10^{-6}$
Latón y bronce	$19 \times 10^{-6}$
Concreto	$12 \times 10^{-6}$
Cobre	$17 \times 10^{-6}$
Vidrio (ordinario)	$9 \times 10^{-6}$
Vidrio (Pyrex)	$3.2 \times 10^{-6}$
Invar (aleación Ni-Fe)	$0.9 \times 10^{-6}$
Plomo	$29 \times 10^{-6}$
Acero	$11 \times 10^{-6}$

Ver vídeo de aplicación de dilatación térmica

<https://youtu.be/iBoBfoLrDXE>

GRACIAS