

# Termodinámica

estudio de las transformaciones de energía donde intervienen calor, trabajo mecánico y otros aspectos de la energía, así como la relación entre estas transformaciones y las propiedades de la materia.

# Veamos algunos conceptos básicos...

**Sistema termodinámico:** región del espacio con su contenido



**Frontera o contorno** (real o imaginaria)  **Medio exterior o entorno**

pueden permitir o impedir el intercambio de materia o energía con el entorno

**Permiten**

**Si**

**No**

Cambio de Volumen.	MOVILES	RIGIDAS o FIJAS
Flujo de Calor.	DIATERMICA	ADIABATICAS
Flujo de Materia	PERMEABLES	IMPERMEABLES

**Sistema termodinámico, pueden ser:**

- **AISLADO** no intercambia ni energía ni materia con sus alrededores.
- **CERRADO** intercambia energía ( calor y/o trabajo) con los alrededores.
- **ABIERTO** puede intercambiar materia y energía con los alrededores.

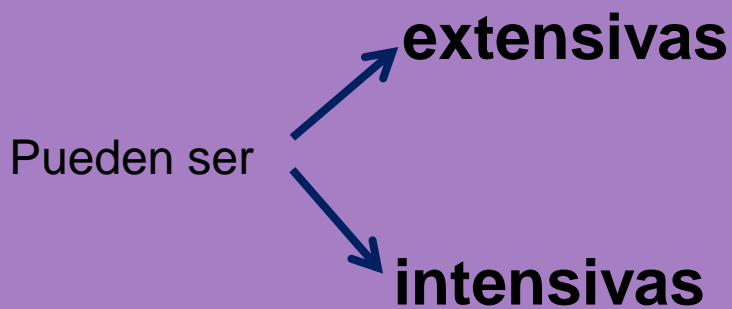
## **Estado del sistema**

En Termodinámica el estado del sistema queda caracterizado por una serie de variables macroscópicas, llamadas **variables o magnitudes termodinámicas.**

# Variables termodinámicas

pueden ser de tres tipos:

- **Variables de composición:** especifican la cantidad de cada uno de los componentes. Por ejemplo, la masa de cada uno.
- **Variables mecánicas:** son aquellas que proceden de una interacción mecánica, como presión, volumen, pero también aquellas que proceden de otras ramas de la Física como el Electromagnetismo (intensidad del campo eléctrico o magnético, etc.).
- **Variables térmicas:** son las que surgen de los postulados propios de la Termodinámica o combinaciones de éstas con variables mecánicas.



son **globales**, es decir, dependen del tamaño del sistema y son aditivas. Ejemplos son el **volumen, la masa**, etc.

son **locales** (están definidas en cada parte del sistema y son, por lo tanto, independientes de su tamaño) y no son aditivas, como por ejemplo, la **temperatura, la presión**, etc.

no todas las variables termodinámicas son independientes entre sí

**variables de estado:** las que si lo son

**funciones de estado:** variables que son función de las variables de estado

## Equilibrio Termodinámico

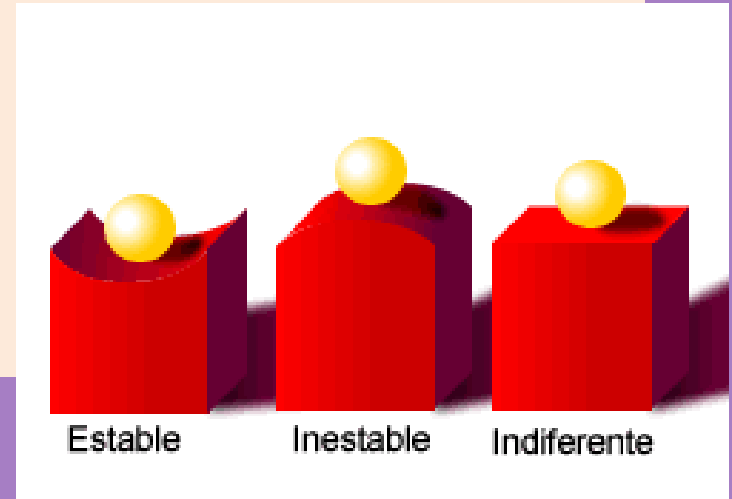
Cuando las variables toman un valor constante en el tiempo se dice que el sistema ha alcanzado el estado de **EQUILIBRIO TERMODINAMICO**.

Implica tres equilibrios distintos:

1. **Equilibrio TERMICO:** **T** idéntica en todos los puntos del sistema
2. **Equilibrio MECANICO:** **P** idéntica en todos los puntos del sistema
3. **Equilibrio QUIMICO (o Material):** **C** Composición química idéntica

**El equilibrio puede ser:**

- ESTABLE** si modificando ligeramente las condiciones del sistema este vuelve a su estado original,
- INESTABLE** si no vuelve y
- METAESTABLE** si vuelve para cambios arbitrariamente pequeños pero no para cambios mayores.



## Procesos Termodinámicos

Es una transformación en la que alguna de las variables que caracteriza el sistema se modifica en el tiempo.

Hay un **estado inicial** y un **estado final**

# Temperatura

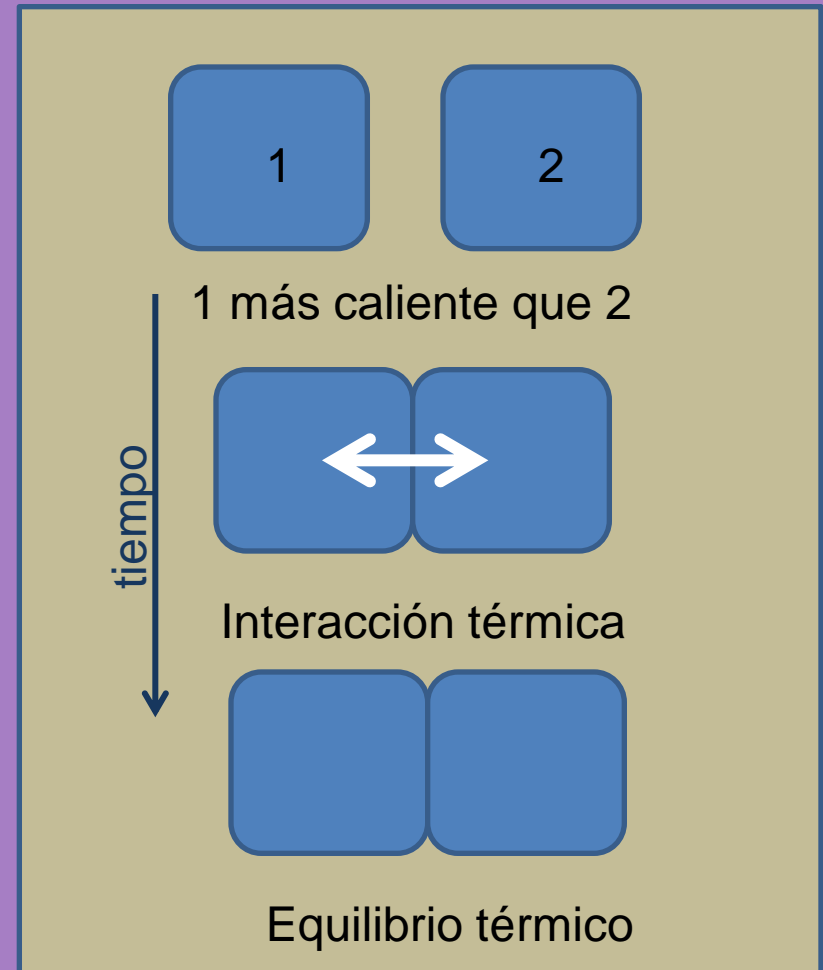
En Termodinámica la temperatura es un concepto esencial

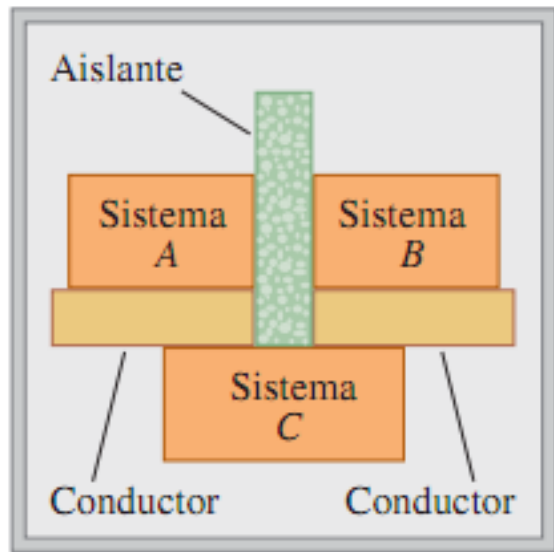
Su definición correcta es complicada

Misma habitación =  $T^*$  equilibrio térmico



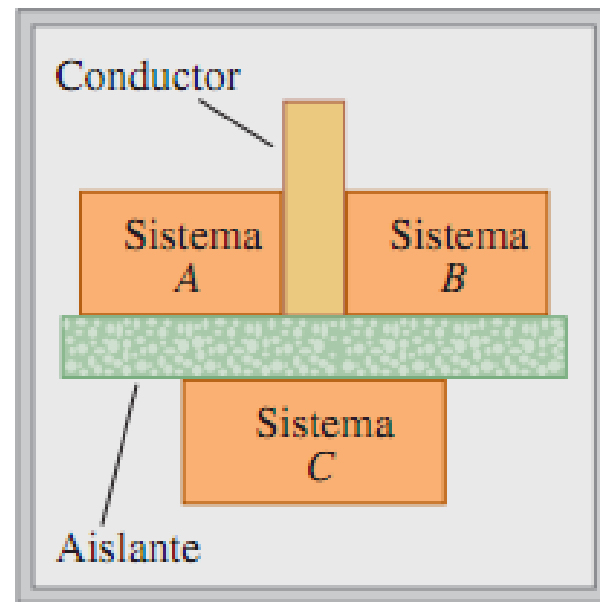
**≠ sensación**





Esperamos hasta que se establece el equilibrio térmico; entonces, A y B están en equilibrio térmico con C pero, ¿están en equilibrio térmico entre sí?

Para probarlo....



Los experimentos indican que nada sucede; no hay cambios adicionales en A ni en B.

Si inicialmente C está en equilibrio térmico con A y con B, entonces A y B también están en equilibrio térmico entre sí.

Este resultado se llama **principio cero de la termodinámica**.



# PRINCIPIO CERO DE LA TERMODINAMICA

1. Dos sistemas en contacto a través de una pared diatérmica un tiempo suficiente, alcanzan el equilibrio térmico.
2. Dos sistemas en equilibrio térmico con un tercero, se encuentran en equilibrio térmico entre sí.

Se define **temperatura empírica**,  $\Theta$ ,

Propiedad que tienen en común todos los sistemas que se encuentran en equilibrio térmico entre sí.

El conjunto de estados que tienen la misma temperatura empírica se denomina **isoterma**.

Establecer una **escala termométrica** implica tomar valores numéricos a las distintas isotermas

Implica elegir un **termómetro** y una **variable termométrica**,  $X$ , es decir, escoger la variable que va a cambiar con la temperatura,

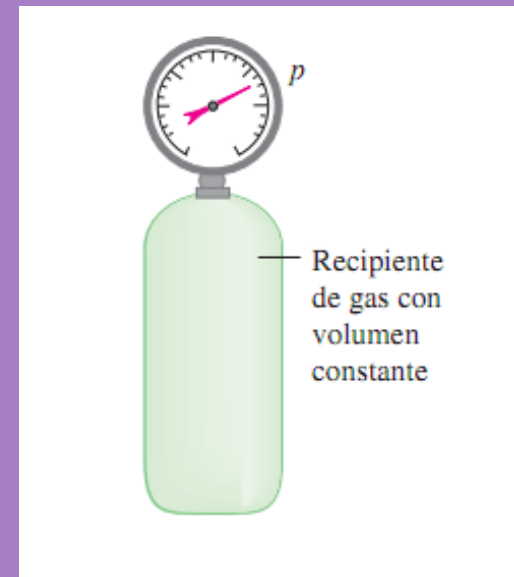
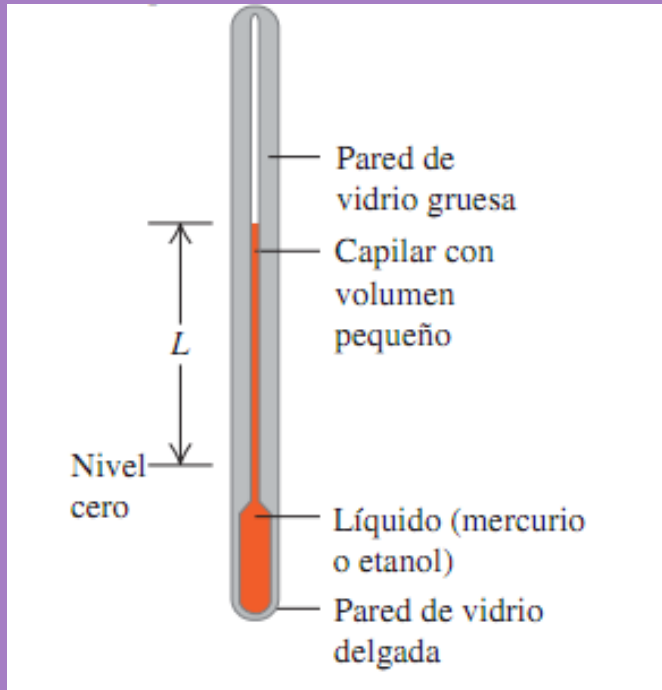
$$\Theta = \Theta(X)$$

En función de estos conceptos, el **PRINCIPIO CERO DE LA TERMODINAMICA.....**

**Si el sistema C es un termómetro, cuando A, B y C se encuentran en equilibrio térmico, la lectura del termómetro se estabiliza, el termómetro mide la temperatura tanto de A como de B; por lo tanto, ambos tienen la misma temperatura.**

**Dos sistemas están en equilibrio térmico si y sólo si tienen la misma temperatura.**

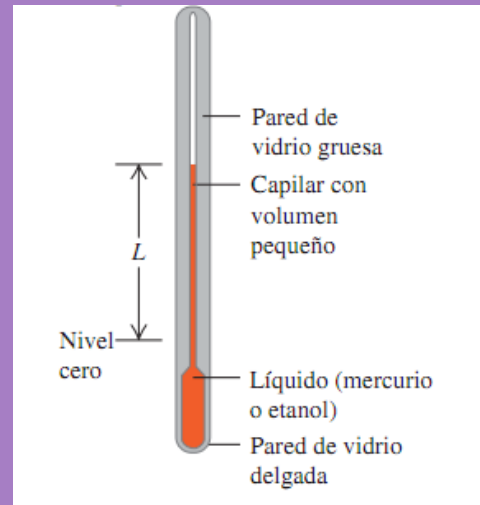
# Termómetros y escalas de temperatura



Todas estas propiedades nos dan un número ( $L$ ,  $p$ ,  $R$ ) que varía con la calidez y la frialdad, así que pueden usarse para hacer un termómetro.

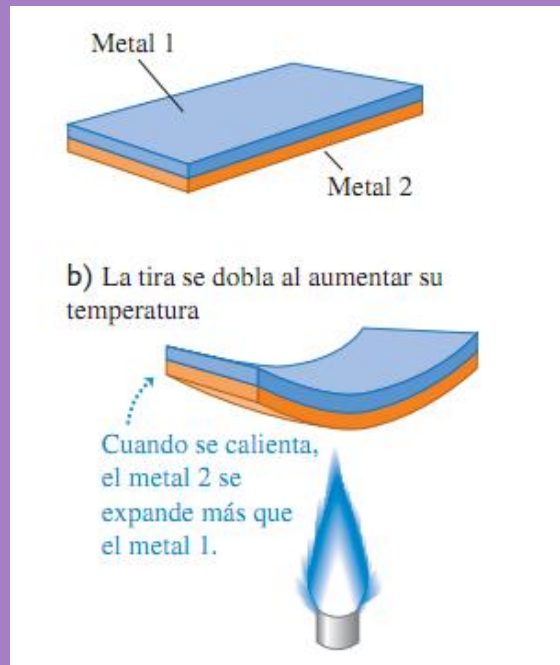
# Termómetros y escalas de temperatura

## TERMÓMETRO DE ALCOHOL O MERCURIO

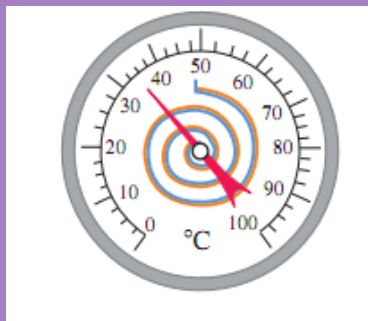


escala de temperatura Celsius

una tira bimetálica



termómetro para la arteria temporal



un sensor infrarrojo en el termómetro mide la radiación desde la piel



## Escala de temperatura Fahrenheit

La temperatura de congelación del agua es de 32 °F y la de ebullición es de 212 °F, ambas a presión atmosférica estándar.

Hay 180 grados entre la congelación y la ebullición, así que 1 °F representa un cambio de temperatura sólo  $100/180$  o  $5/9$  de 1 °C.

Para convertir temperaturas de Celsius a Fahrenheit

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

Para convertir de Fahrenheit a Celsius

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

# Termómetros de gas y la escala Kelvin

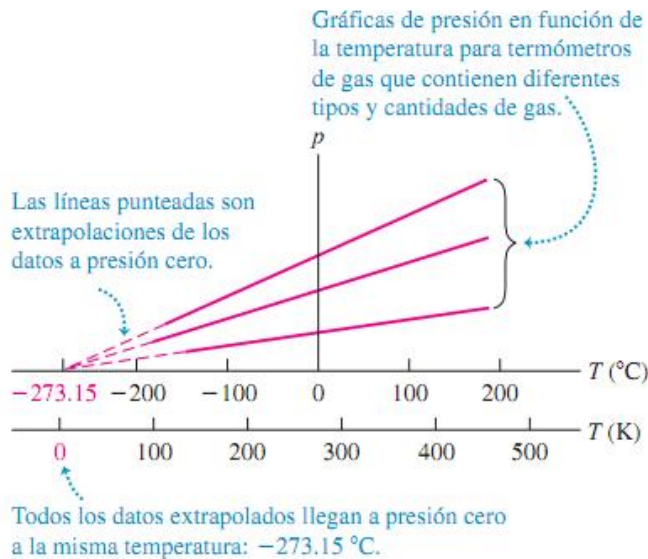
..... un termómetro que se acerca al ideal

El principio de un termómetro de gas muestra que la presión de un gas a volumen constante aumenta con la temperatura.

a) Termómetro de gas con volumen constante



b) Gráfica de presión contra temperatura a volumen constante para tres distintos tipos y cantidades de gas



## Escala de temperatura Kelvin

físico inglés Lord Kelvin  
(1824-1907)

**Las unidades tienen el mismo tamaño que las de la escala Celsius, pero el cero se desplaza de modo que**  
 **$0\text{ K} = -273.15\text{ °C}$  y  $273.15\text{ K} = 0\text{ °C}$**

$$T_K = T_C + 273.15$$

# La escala Kelvin y temperatura absoluta

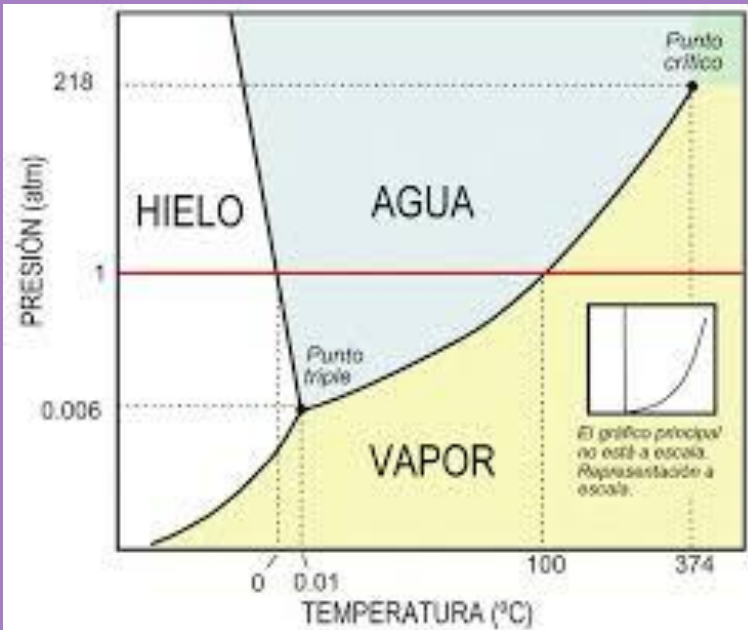
Se define la escala Kelvin usando un termómetro de gas con sólo una temperatura de referencia.

Se define el cociente de cualesquiera dos temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  en la escala Kelvin, como el cociente de las presiones correspondientes de termómetro de gas  $p_1$  y  $p_2$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1}$$

Se necesita definir un punto, un estado, y el elegido es el **punto triple del agua**, donde coexiste agua sólida (hielo), agua líquida y vapor de agua.

La temperatura del punto triple del agua es, por definición,  
 $T_{\text{triple}} = 273.16 \text{ K}$ , que corresponden a  $0.01 \text{ }^\circ\text{C}$ .



$$T = T_{\text{triple}} \frac{p}{p_{\text{triple}}} = (273.16 \text{ K}) \frac{p}{p_{\text{triple}}}$$

### 17.6 Usos correcto e incorrecto de la escala Kelvin.

0.00 °C

Hielo y agua

Las temperaturas Kelvin se miden en kelvins ...

$T = 273.15 \text{ K}$  ◀ ¡CORRECTO!

... no en "grados Kelvin".

$T = 273.15 \text{ }^\circ\text{K}$  ◀ ¡INCORRECTO!



**17.7** Relaciones entre las escalas de temperatura Kelvin (K), Celsius (C) y Fahrenheit (F). Las temperaturas se redondearon al grado más cercano.

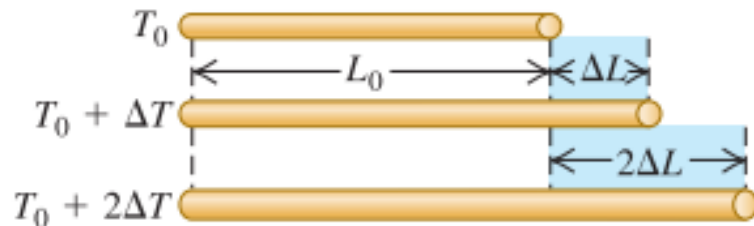
	K	C	F
El agua hierve	373	100°	212°
	↑ 100 K ↓	↑ 100 C° ↓	↑ 180 F° ↓
El agua se congela	273	0°	32°
CO <sub>2</sub> se solidifica	195	-78°	-109°
El oxígeno se licua	90	-183°	-298°
Cero absoluto	0	-273°	-460°

escala de temperatura absoluta

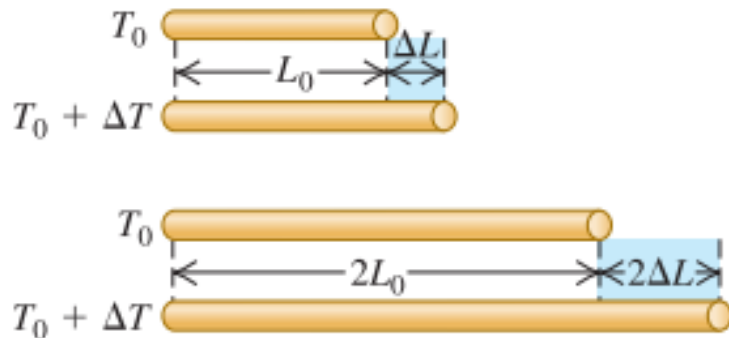
# Expansión térmica

## Expansión lineal

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



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



unidades de  $\alpha$  son  $K^{-1}$ , o bien,  $(C^\circ)^{-1}$

coeficiente de expansión lineal.

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

**aproximadamente** correcta para cambios de temperatura pequeños

Si un cuerpo tiene longitud  $L_0$  a la temperatura  $T_0$ , su longitud  $L$  a la temperatura  $T = T_0 + \Delta T$  es

$$L = L_0 + \Delta L = L_0 + \alpha L_0 \Delta T = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

# Expansión de volumen

Si el cambio de temperatura  $\Delta T$  no es muy grande

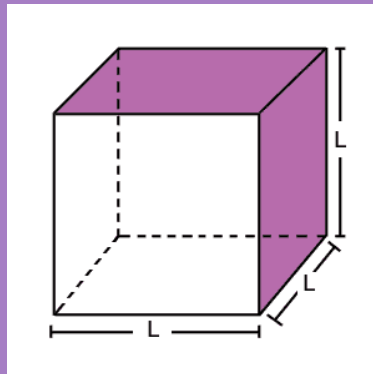
**Tabla 17.2** Coeficientes de expansión de volumen

Sólidos	$\beta$ [ $\text{K}^{-1}$ o $(\text{C}^\circ)^{-1}$ ]	Líquido	$\beta$ [ $\text{K}^{-1}$ o $(\text{C}^\circ)^{-1}$ ]
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	$3.6 \times 10^{-5}$		

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

coeficiente de expansión de volumen.

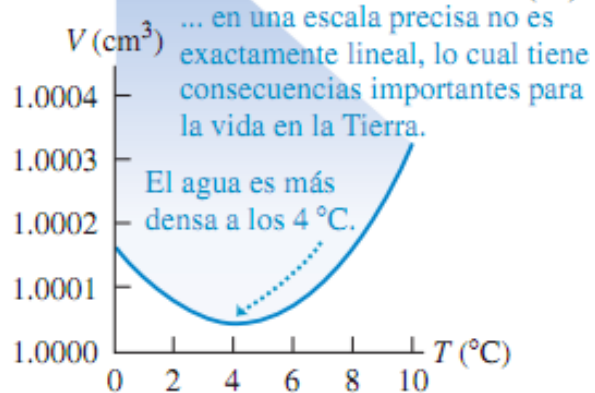
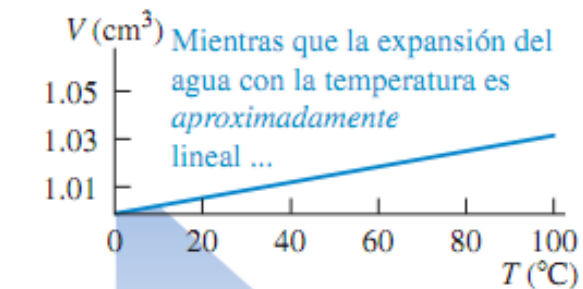
Para materiales sólidos, hay una relación sencilla entre el coeficiente de expansión de volumen  $\beta$  y el coeficiente de expansión lineal  $\alpha$ .



$$\beta = 3\alpha$$

# Expansión térmica del agua

**17.12** Volumen de un gramo de agua en el intervalo de temperaturas de 0 °C a 10 °C. A los 100 °C, el volumen ha aumentado a 1.034 cm<sup>3</sup>. Si el coeficiente de expansión de volumen fuera constante, la curva sería una línea recta.



Investiguemos .....

# Esfuerzo térmico

**17.13** 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.

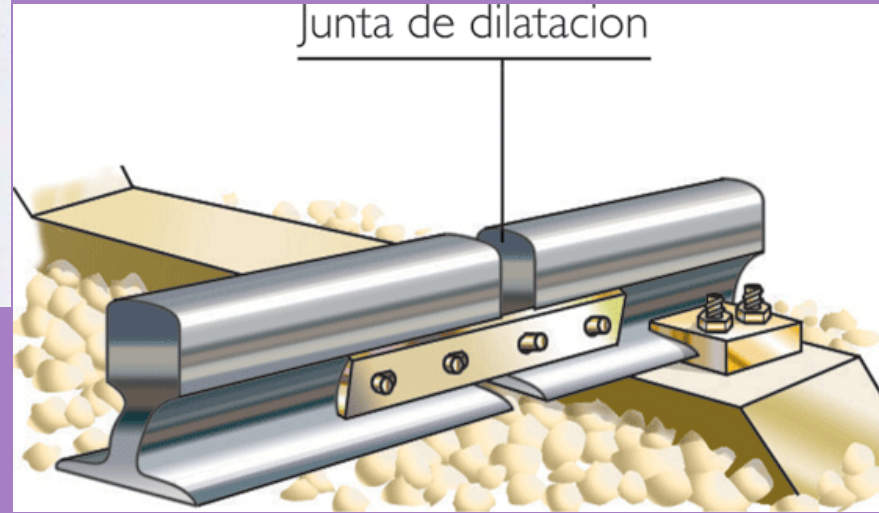


Para calcular los esfuerzos térmicos en una varilla sujeta, tendremos que calcular qué tanto se expandiría (o contraería) si no estuviera sujeta, y luego calcular el esfuerzo necesario para comprimirla (o estirla) a su longitud original.

**Tarea para el hogar ....**



En los puentes metálicos los rodillos compensan las dilataciones y contracciones, que pueden ser de más de 50 cm. entre el invierno y el verano: es suficiente colocar rodillos en un solo extremo.



**Si hay diferencias de temperatura dentro de un cuerpo, habrá expansión o contracción no uniformes, y pueden inducirse esfuerzos térmicos. Es factible romper un taza de vidrio vertiendo en él agua muy caliente; el esfuerzo térmico entre las partes caliente y fría excede el esfuerzo de rotura del vidrio, agrietándolo. El mismo fenómeno hace que se rompa un cubo de hielo si se deja caer en agua tibia. Los vidrios resistentes al calor, como Pyrex, tienen coeficientes de expansión excepcionalmente bajos y una resistencia elevada.**

**Continuará.....**