



Departamento de Física
Universidad de Jaén

Termodinámica

- ✓ **Introducción: Calor y Temperatura**
 - ✓ **Primer Principio**
 - ✓ **Segundo Principio**

1- Introducción

- **TERMODINÁMICA** es la ciencia que estudia, interpreta y explica las interacciones energéticas que se establecen entre distintos sistemas. Iniciada por Carnot (s. XIX, 1824).
- Antes, James Watt (s.XVIII, 1775) construyó la primera máquina de vapor funcional.
- Sistemas Termodinámicos: partes del Universo Termodinámico separados del resto por paredes.

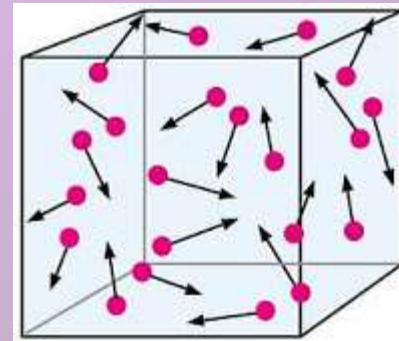


Tipos de Paredes:

Diatérmana	Adiabática
Deformable	Rígida
Impermeable	Permeable

1- Introducción

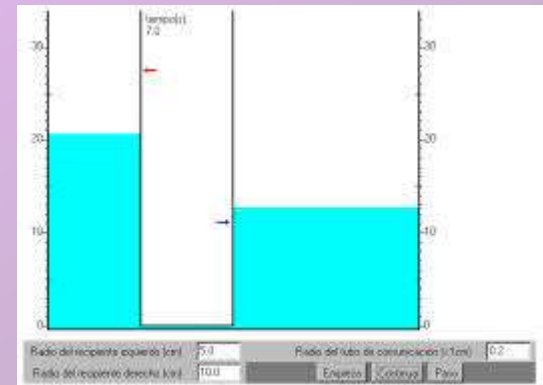
- Para analizar los sistemas los caracterizaremos mediante **Variables Termodinámicas** que describen su Estado (interno)
- Tipos de Variables: Macroscópicas → Termodinámica
- Microscópicas → Mecánica Estadística
- Mecánica Cuántica
- Dentro de la Macroscópicas:
- Extensivas: m, V, n
- Intensivas: P, T, ρ



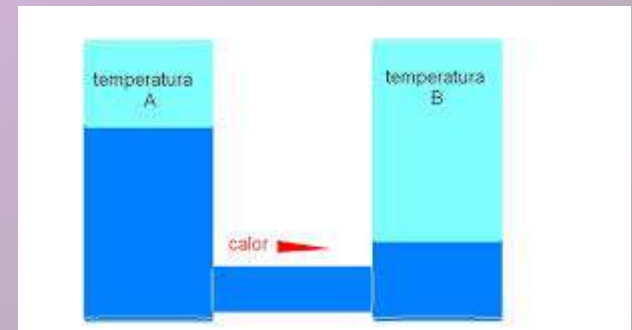
1- Introducción

- ¿Sabemos diferenciar los conceptos de **CALOR** y **TEMPERATURA**?
- Ejemplo) Filamento $\rightarrow 1500\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Poco calor
Radiador $\rightarrow < 100\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Mucho calor

- ¿En qué sentido se transfiere el calor entre dos sistemas?



- “El calor es una forma de energía mientras que la temperatura es el nivel al que se almacena dicha energía”.



1- Introducción

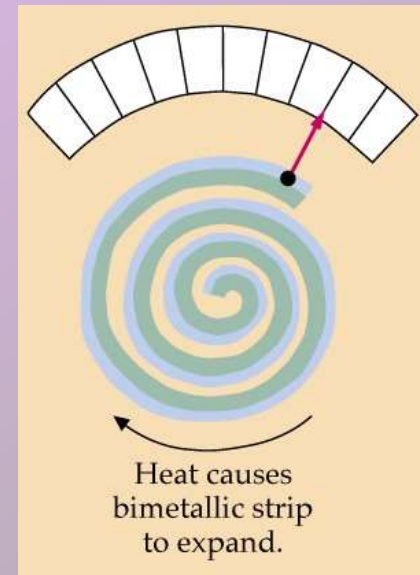
■ Tipos de Termómetros:

- De líquidos: limitados por su solidificación y ebullición.
- De gases: dilatan más que los líquidos $\Rightarrow$ son más precisos.
- Pirómetros: para medir temperaturas elevadas:
 - De Presión, Resistencia eléctrica, Ópticos.

Escala Celsius o Centígrada: $0\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Escala Fahrenheit: $32\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 212\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\frac{t_C}{100} = \frac{t_F - 32}{180}$$



2 – Dilatación Térmica

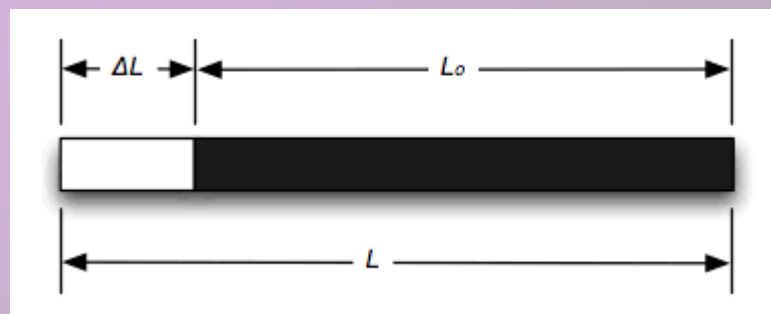
- **Dilatación Térmica:** es la variación de volumen que sufren los cuerpos cuando cambia su temperatura.

- Dilatación Lineal (sólidos): $\Delta l = \alpha l_0 \Delta t$

$$\Delta l = l_T - l_0 \quad \longrightarrow \quad l_T = l_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

$\alpha \rightarrow$ **Coef. de dilatación lineal** ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

“Es el aumento de longitud producido en una barra de longitud unidad cuando se calienta en 1°C ”.



2 – Dilatación Térmica

- Dilatación Superficial (sólidos):

$$\Delta S = \alpha_s S_0 \Delta t$$

$$\Delta S = S_T - S_0 \quad \longrightarrow \quad S_T = S_0 (1 + \alpha_s \Delta t)$$

$\alpha_s \rightarrow$ Coef. de dilatación superficial ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Si: $S_0 = a_0 \cdot b_0;$

$$S_T = a_T \cdot b_T$$

$$a_T = a_0 (1 + \alpha \Delta t);$$

$$b_T = b_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

$$S_T = S_0 (1 + \alpha \Delta t)^2 \approx S_0 (1 + 2 \alpha \Delta t)$$

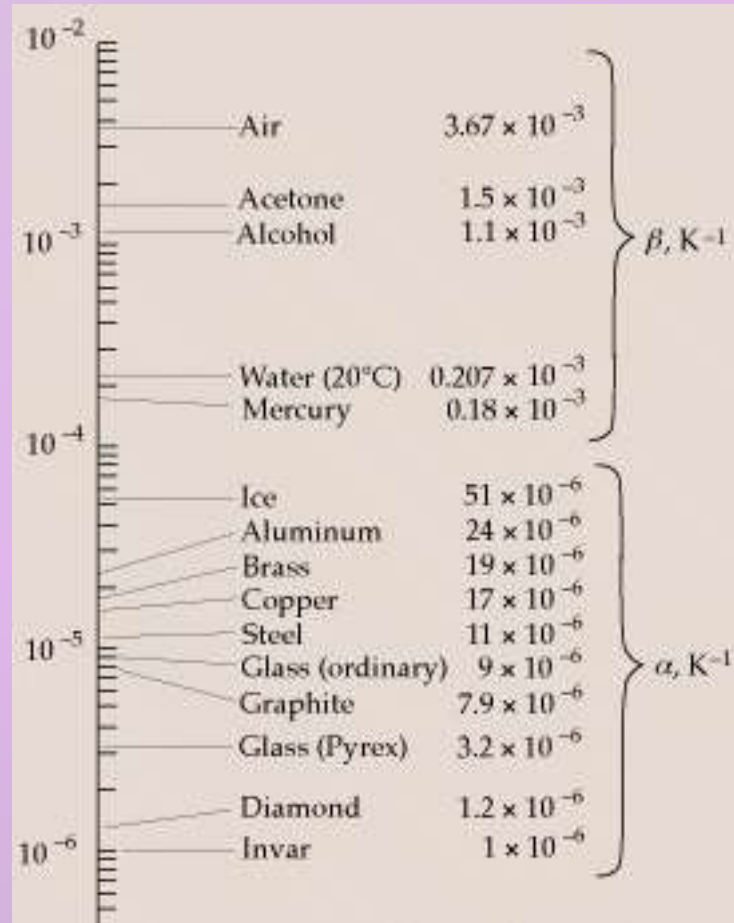
$$\Rightarrow \boxed{\alpha_s = 2 \alpha}$$

- Dilatación de Volumen:

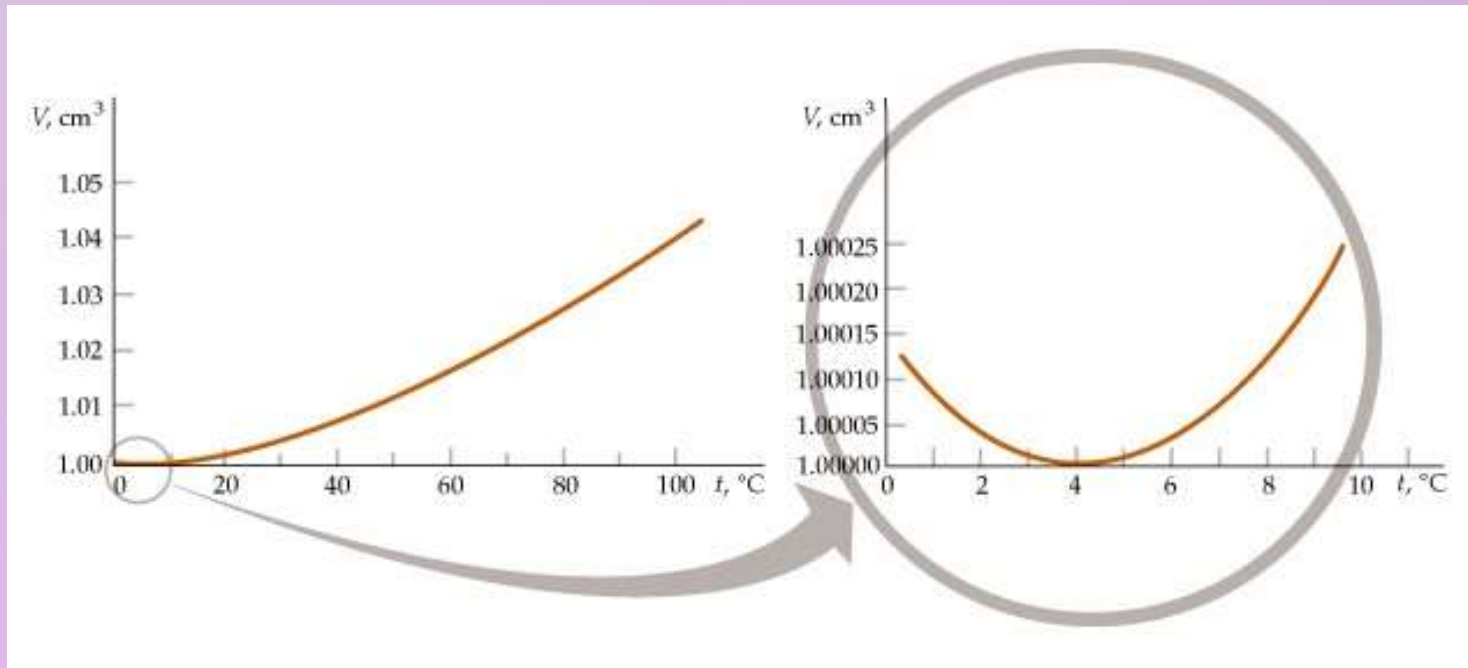
$$V_T = V_0 (1 + \beta \Delta t)$$

$$\boxed{\beta = 3 \alpha}$$

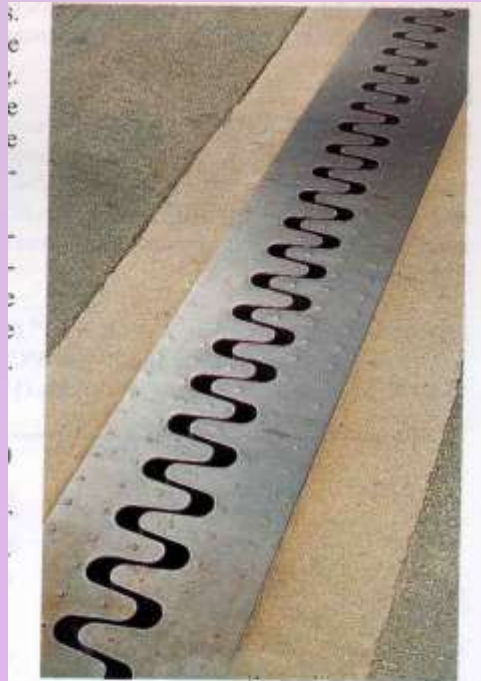
2 – Dilatación Térmica



2 – Dilatación Térmica



2 – Dilatación Térmica



17.12 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.



Dilatación térmica: el calor extremo en un día de julio en el parque Asbury, New Jersey, causó que las vías del tren se doblaran. (Wide World Photos)

4 – Dilatación de gases

- Los gases se pueden calentar de dos formas:

A) Presión constante:

$$V_T = V_0 (1 + \alpha_g \Delta t)$$

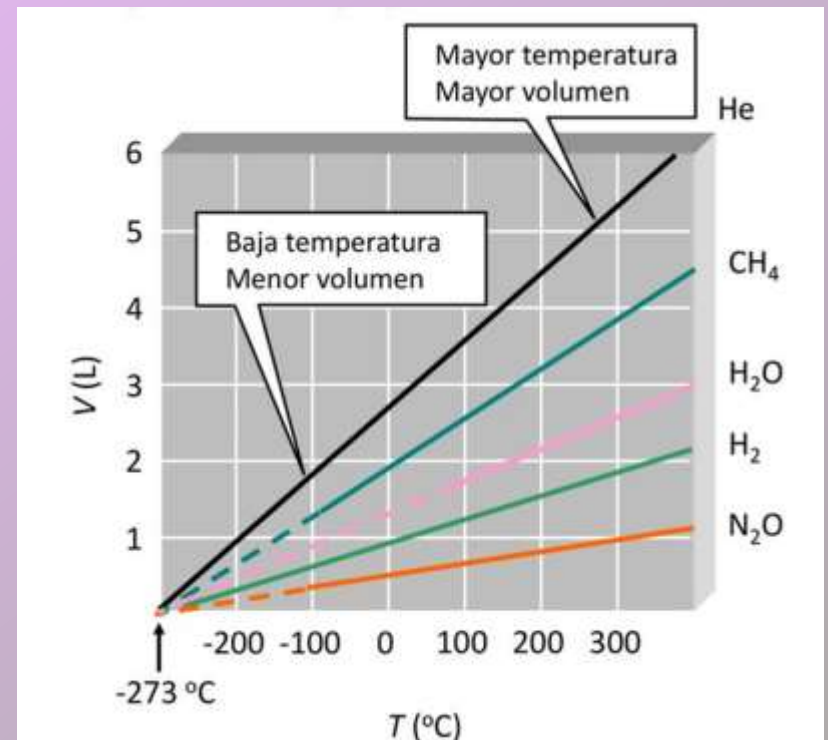
B) Volumen constante:

$$P_T = P_0 (1 + \alpha_g \Delta t)$$

$$\alpha_g = \frac{1}{273.16} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

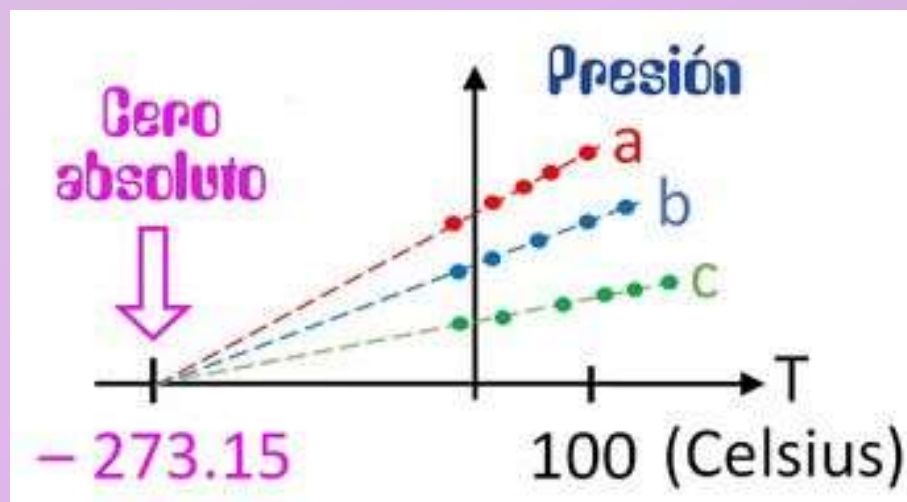
$\alpha_g \rightarrow$ **Coef. de dilatación de los gases.** No depende del gas.

- ¿Cuánto podemos comprimir por enfriamiento cualquier gas?



4 – Dilatación de gases

- Este enfriamiento también se puede hacer a volumen constante con la presión.



- Observamos que V final será cero cuando enfriamos a esa temperatura:

$$V_{final} = V_0(1 + \alpha_g \Delta T) = 0$$

$$\Rightarrow \alpha_g \Delta T = -1 \quad \Rightarrow \Delta T = -1/\alpha_g = -273.16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5 – Ecuación de Estado de los gases

- Un volumen negativo no tiene sentido
⇒ No se puede bajar de esta temperatura
⇒ es un límite inferior, que se denomina Cero Absoluto.
- Este punto puede ser usado como punto de partida para una nueva escala de temperaturas: **Escala Absoluta o Kelvin.**

$$T(^{\circ}\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$$

- Considerando esta escala y partiendo de 0°C :

$$V_T = V_0 (1 + \alpha_g (t - t_0)) = V_0 (1 + \frac{t}{273}) = V_0 (\frac{t + 273}{273}) = V_0 (\frac{T}{T_0})$$

- A otra temperatura: $V' = V_0 (\frac{T'}{T_0}) \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{V}{T} = \frac{V'}{T'}}$

5 – Ecuación de Estado de los gases

- Haciendo lo mismo con la ecuación de dilatación de la presión:

$$\frac{P}{T} = \frac{P'}{T'}$$

Leyes de Guy-Lussac

- Combinando ambas ecuaciones a temperatura constante, se obtiene la de **Boyle-Mariotte**:

$$P V = P' V'$$

- Y con todas juntas:

$$\frac{P V}{T} = \frac{P' V'}{T'}$$

- Añadiendo la **Ley de Avogadro**: Para iguales presión y temperatura el volumen es proporcional (k cte. de Boltzman), solo, a la cantidad de moléculas de gas (N), independientemente de su masa.
- Al igual que el coef. de dilatación era el mismo para todos los gases. ¿Porqué?

$$\frac{P V}{T} = k N$$

5 – Ecuación de Estado de los gases

- Para no usar números tan grandes se define el número de Avogadro: número de moléculas que hay en una cierta cantidad de gas, un mol: $6.023 \cdot 10^{23}$. Y midiendo la cantidad de gas por número de moles (n):

$$N = n N_A \quad \Rightarrow \quad \frac{P V}{T} = k n N_A$$

$$\boxed{R = k N_A}$$



$$P V = n R T$$

➤ Ec. de estado de los gases perfectos o de Clapeyron

✓ $R \rightarrow$ Cte. Universal de los gases

$$R = 6.023 \cdot 10^{23} \text{ (moléculas/mol)} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ (J/°K)} = 8.31 \text{ J/mol °K}$$

6 – Calorimetría

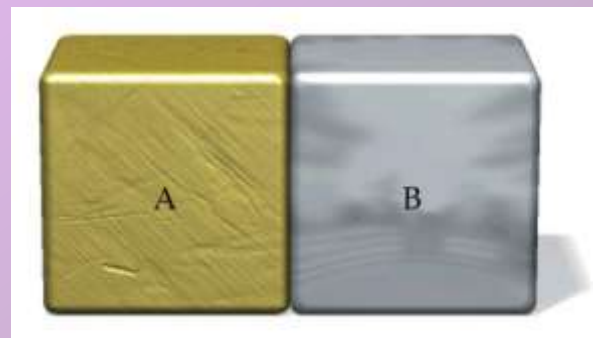
- **Calor:** es la energía transferida de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperaturas.
- La cantidad de energía térmica Q , necesaria para elevar la temperatura de un cuerpo es proporcional a la masa y a la variación de temperatura:

$$Q = m c \Delta t$$

$c \rightarrow$ **Calor Específico**

$C = m c \rightarrow$ **Capacidad calorífica**

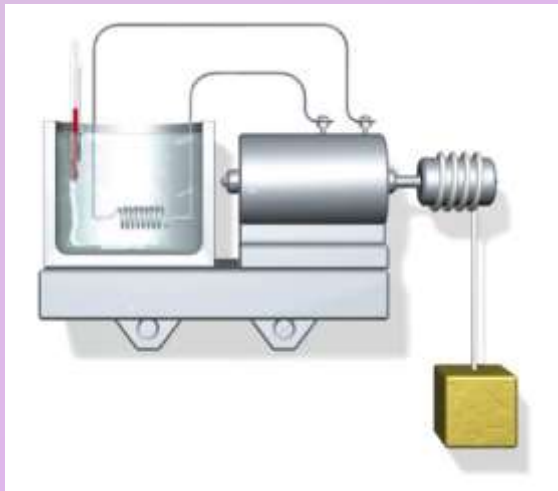
$$c = \frac{Q}{m \Delta t} \quad \longrightarrow \quad \frac{\text{cal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \equiv \frac{\text{J}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$



- ✓ **Caloría:** es la cantidad de energía térmica necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua un grado centígrado.

6 – Calorimetría

Equivalente mecánico del calor (Joule): $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$



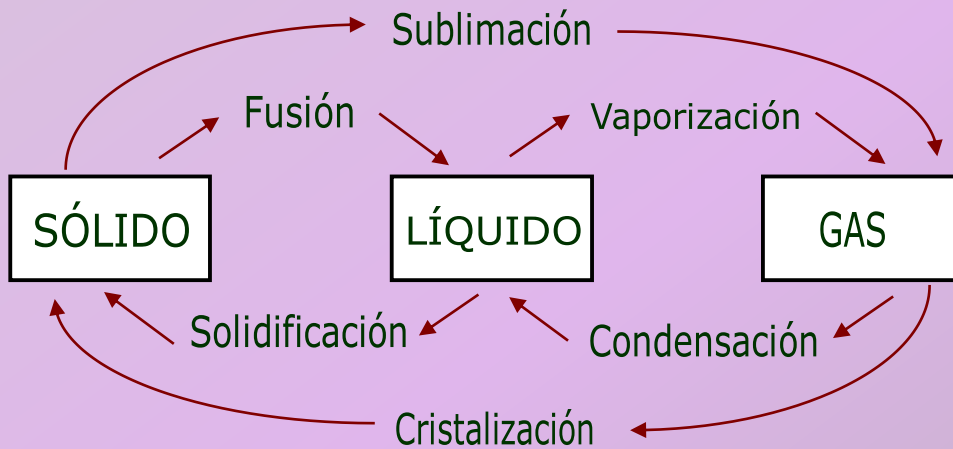
6 – Calorimetría

Tabla de calores específicos de diferentes sustancias (clima costero)

Sustancia	c (kJ / kg °K)	c (cal / g °K)
Agua	4.18	1
Etanol	2.4	0.58
Aluminio	0.9	0.215
Bismuto	0.123	0.03
Cobre	0.386	0.092
Hielo	2.05	0.49
Mercurio	0.14	0.033
Oro	0.126	0.03
Marmol	0.879	0.212
Vidrio	0.84	0.2
Sal	0.879	0.212

6 – Calorimetría

- Cambio de fase: en ellos la materia pasa de un estado a otro, intercambiando calor pero a una temperatura constante, llamada Temperatura de cambio de estado.



- La Energía intercambiada se denomina Calor Latente de cambio de estado (L). Será el número de calorías necesarias para cambiar de fase un gramo de sustancia:

$$Q = L m$$

6 – Calorimetría

Tabla de cambios de estado.

Sustancia	Punto de Fusión (°C)	Calor de Fusión (kJ / kg)	Punto de Vaporización (°C)	Calor de Vaporización (kJ / kg)
Agua	0	334	100	2256
Hidrógeno	-259	58.6	-253	452
Nitrógeno	-210	25.5	-196	201
Oxígeno	-219	13.8	-183	213
Etanol	-114	104.2	78	854
Mercurio	-39	11.8	357	272
Azufre	1019	38.1	444	326
Plomo	327	24.5	1750	871
Plata	960	88.3	2193	2336
Oro	1063	64.5	2660	1578
Cobre	1083	134	1187	5069

6 – Calorimetría

■ Transferencia del Calor:

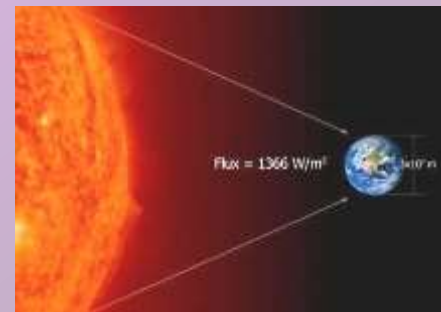
- CONDUCCIÓN



- CONVECCIÓN



- RADIACIÓN



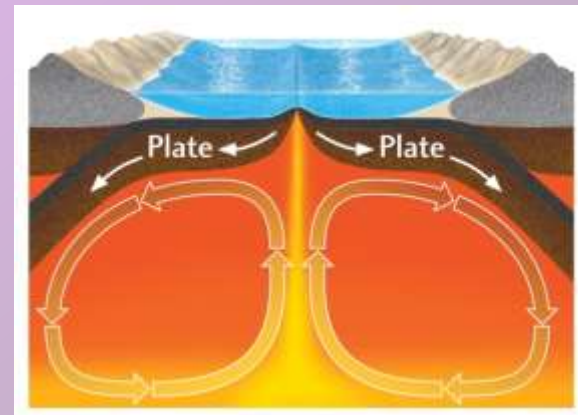
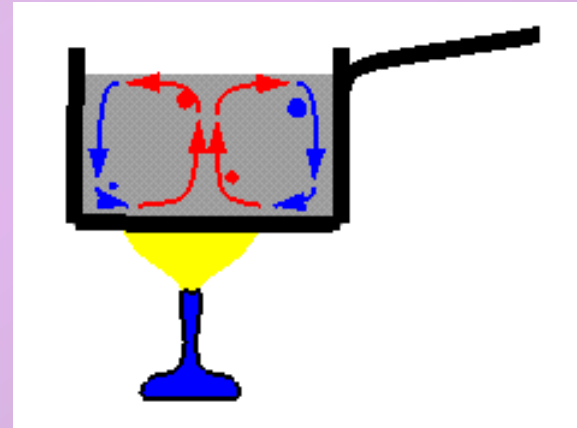
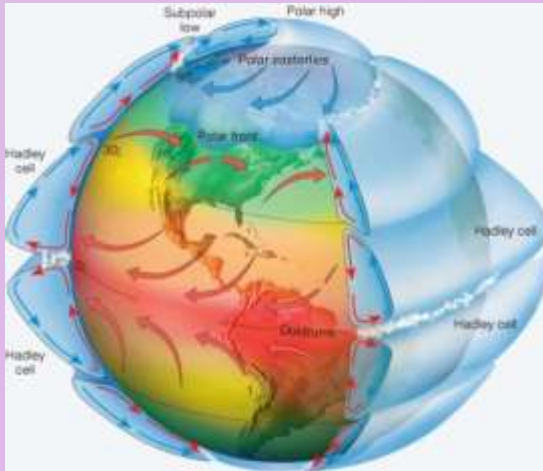
6 – Calorimetría

■ Conducción:

Material	k ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	
Vapor de agua	0.025	} Malos conductores
→ Aire	0.026	
Agua líquida	0.61	
→ Mercurio	8.4	
Espuma de poliestireno	0.036	}
Papel	0.13	
Vidrio	0.35-1.3	
Hielo	2.2	
→ Plomo	34	} Buenos conductores
Acero	45	
Aluminio	204	
Cobre	380	

6 – Calorimetría

- Convección:

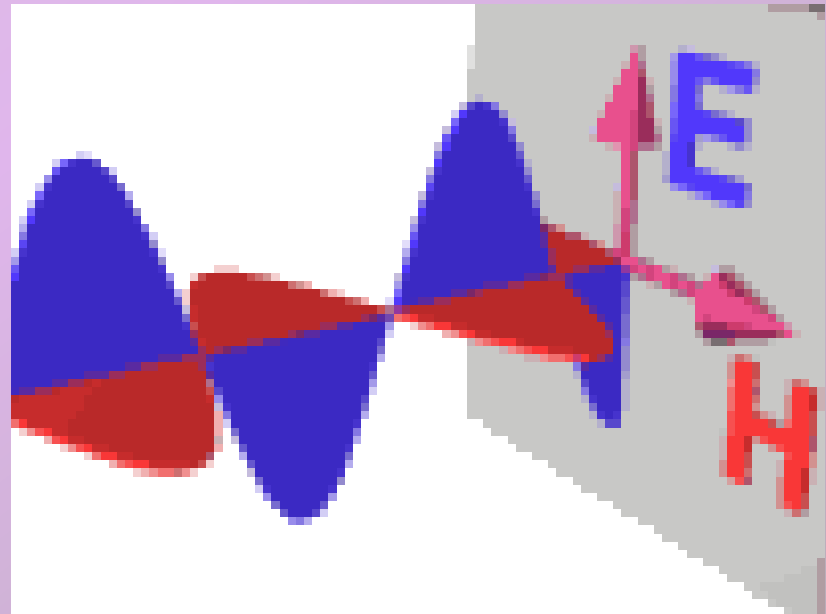


6 – Calorimetría

- Radiación:

$$\vec{E} = E_0 e^{j(kz - \omega t + \delta)} \hat{u}_x$$

$$\vec{B} = B_0 e^{j(kz - \omega t + \delta)} \hat{u}_y$$



ELECTROMAGNETIC RADIATION SPECTRUM

