Termodinámica Kawaii: La Receta del Equilibrio Mecánico

Derivando el equilibrio termodinámico paso a pasito. (Nivel Universitario)

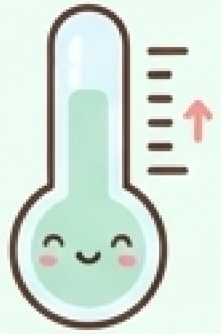
Asumiremos gas monoatómico → N constante.

Variables Extensivas

U, V, S, N

¡Se pueden sumar/restar y multiplicar/dividir! Dependen de la masa.

Variables Intensivas



$X \rightarrow T, P, \mu$

¡No dependen de la masa! Definen el estado del sistema.

$$dU = Tds - Pdv + \mu dn$$

Energía térmica.

$\delta Q = Tds \rightarrow ds = \frac{\delta Q}{T}$

Energía mecánica.

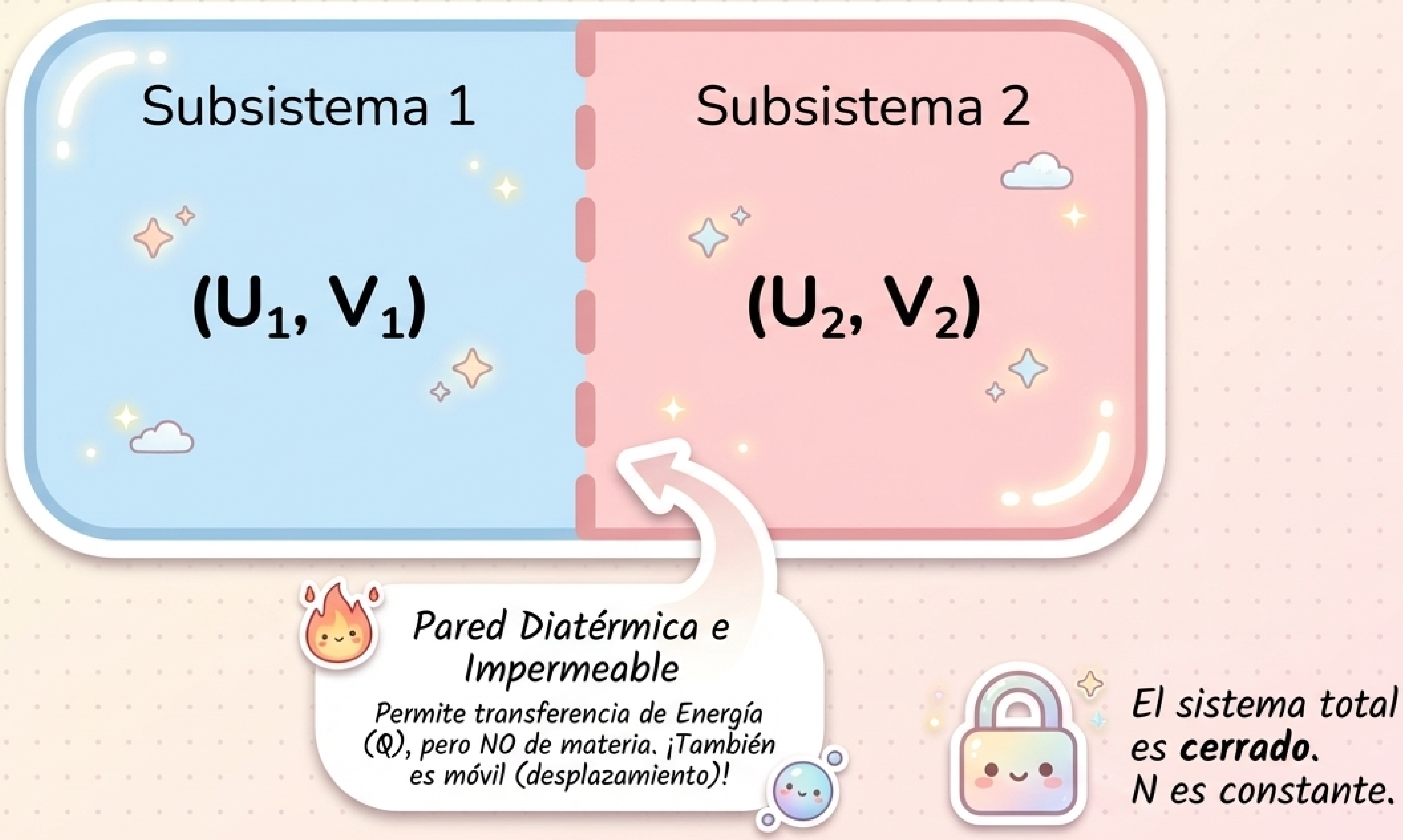
Trabajo (δW) bajo N constante.

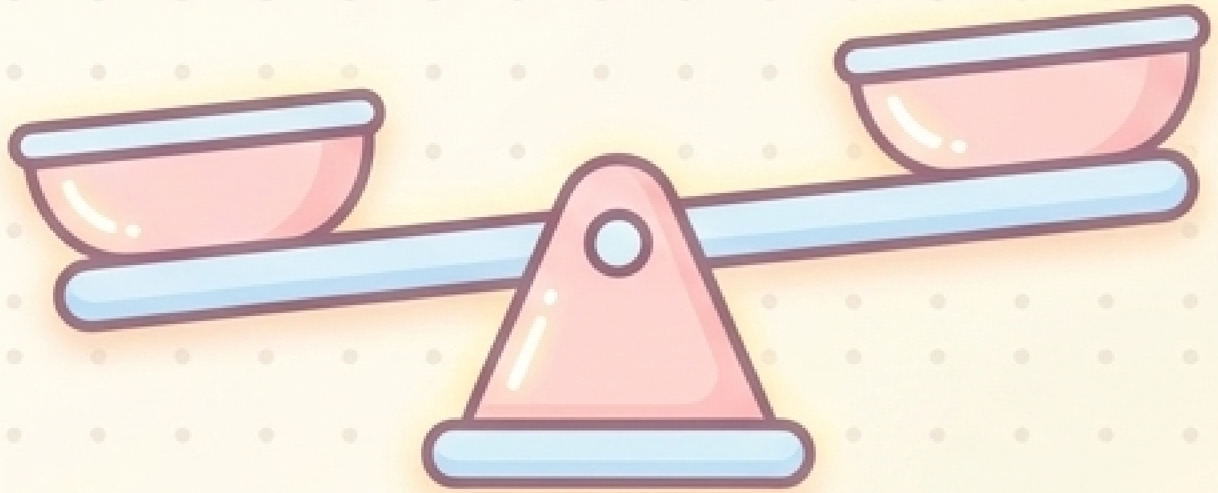
Energía química.

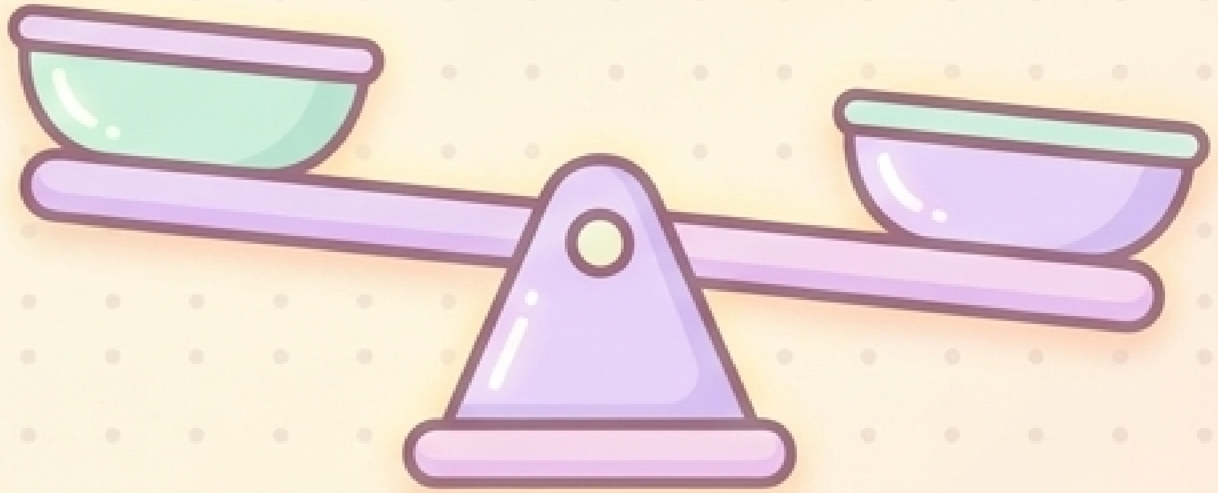
$$dU = \frac{\partial U}{\partial S}ds + \frac{\partial U}{\partial V}dv + \frac{\partial U}{\partial N}dn$$

$T = \frac{\partial U}{\partial S}$ $\quad -P = \frac{\partial U}{\partial V}$ $\quad \mu = \frac{\partial U}{\partial N}$

Para alcanzar el Equilibrio Termodinámico, la Entropía (S) debe ser **máxima** → $dS = 0$.


Subsistema 1
(U_1, V_1)
Subsistema 2
(U_2, V_2)
Pared Diatérmica e Impermeable
Permite transferencia de Energía (Q), pero NO de materia. ¡También es móvil (desplazamiento)!
El sistema total es **cerrado**.
N es constante.





Conservación de Energía

$$U_1 + U_2 = cte$$

$$\downarrow$$

$$dU_1 + dU_2 = 0 \rightarrow dU_1 = -dU_2$$

$$\mathbf{dU_1 = -dU_2}$$

Lo que un subsistema gana en energía, el otro lo pierde.

Conservación de Volumen

$$V_1 + V_2 = cte$$

$$\downarrow$$

$$dV_1 + dV_2 = 0 \rightarrow dV_1 = -dV_2$$

$$\mathbf{dV_1 = -dV_2}$$

Si uno se expande, el otro se comprime obligatoriamente.

Expandiendo la Entropía Total ($S = S_1 + S_2$)

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial U}\right)_{V,N} dU + \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_{U,N} dV + \left(\frac{\partial S}{\partial N}\right)_{U,V} dN$$

$$dS = \left[\left(\frac{\partial S_1}{\partial U_1}\right) dU_1 + \left(\frac{\partial S_1}{\partial V_1}\right) dV_1\right] + \left[\left(\frac{\partial S_2}{\partial U_2}\right) dU_2 + \left(\frac{\partial S_2}{\partial V_2}\right) dV_2\right]$$

Identidades Útiles

$$\frac{\partial S}{\partial U} = \frac{1}{T}$$

$$\frac{\partial S}{\partial V} = \frac{P}{T}$$

$$dS = \left[\left(\frac{\partial S_1}{\partial U_1}\right) dU_1 + \left(\frac{\partial S_1}{\partial V_1}\right) dV_1\right] + \left[\left(\frac{\partial S_2}{\partial U_2}\right) dU_2 + \left(\frac{\partial S_2}{\partial V_2}\right) dV_2\right]$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial U}\right) \to \frac{1}{T} \qquad \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right) \to \frac{P}{T} \qquad dU_2 \to -dU_1 \qquad dV_2 \to -dV_1$$

Reescrito agrupando términos:

$$dS = \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) dU_1 + \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2}\right) dV_1 = 0$$

Recuerda: ¡Buscamos S_{max}, por lo que $dS = 0$!

NotebookLM

Paso 1: Como ya existe equilibrio térmico, $T_1 = T_2$.

$$dS = \cancel{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}^{0} dU_1 + \left(\frac{P_1}{T} - \frac{P_2}{T}\right) dV_1 = 0$$

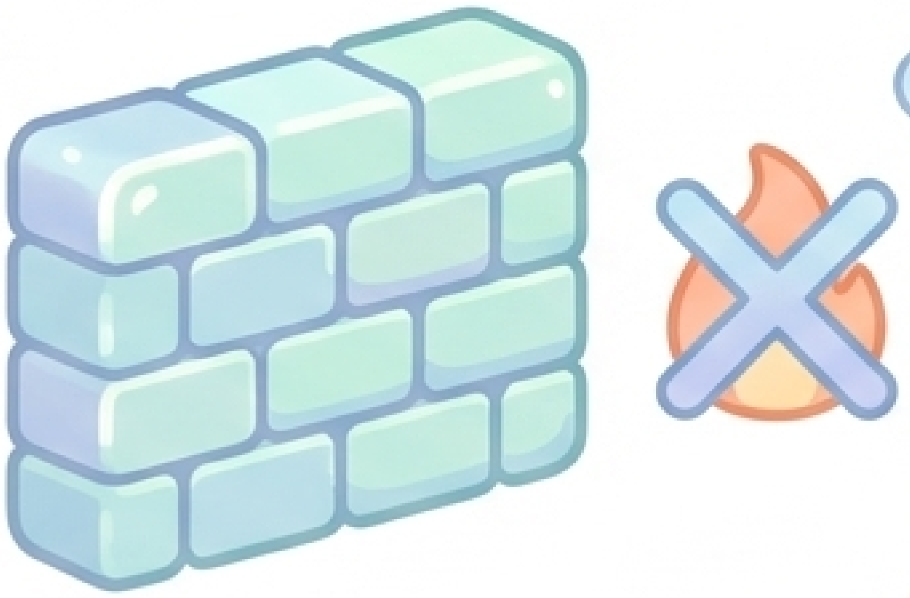
Paso 2: Lo que queda: $dS = \left(\frac{P_1}{T} - \frac{P_2}{T}\right) dV_1 = 0$

Como el volumen puede cambiar ($dV_1 \neq 0$), la única forma de que la ecuación sea cero es que los términos del paréntesis se anulen.

$P_1 = P_2 \rightarrow$ ¡Equilibrio Mecánico Logrado!

Bonus Tip: Tipos de Paredes Termodinámicas

Pared Adiabática



$\delta Q = 0$

No permite la transferencia de calor.

Pared Diatérmica

$\delta Q \neq 0$

Sí permite la transferencia de calor.

¡Guarda este apunte para tu próximo examen de Termo! 💖✨