

# TERMODINÁMICA y FÍSICA ESTADÍSTICA I

## Tema 2 - TRABAJO, CALOR Y PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA

Trabajo. Procesos cuasi-estáticos (o no). Diagramas  $PV$ . Cálculo del trabajo realizado en diferentes sistemas termodinámicos. Naturaleza física del calor. Trabajo adiabático. Energía interna. El primer principio de la termodinámica.

### BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA:

- Zemansky, Capítulos 3 y 4.
- Aguilar, Capítulo 3.

# Trabajo

Nos referiremos al **TRABAJO EXTERNO** o trabajo realizado por el sistema o sobre el sistema termodinámico en su conjunto.

El trabajo mecánico se define como la energía que se transfiere entre un sistema y el medio que lo rodea cuando entre ambos se ejerce una fuerza que implica desplazamiento. Y se mide mediante el producto escalar de la fuerza por la distancia a lo largo de la cual actúa dicha fuerza:

$$W = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

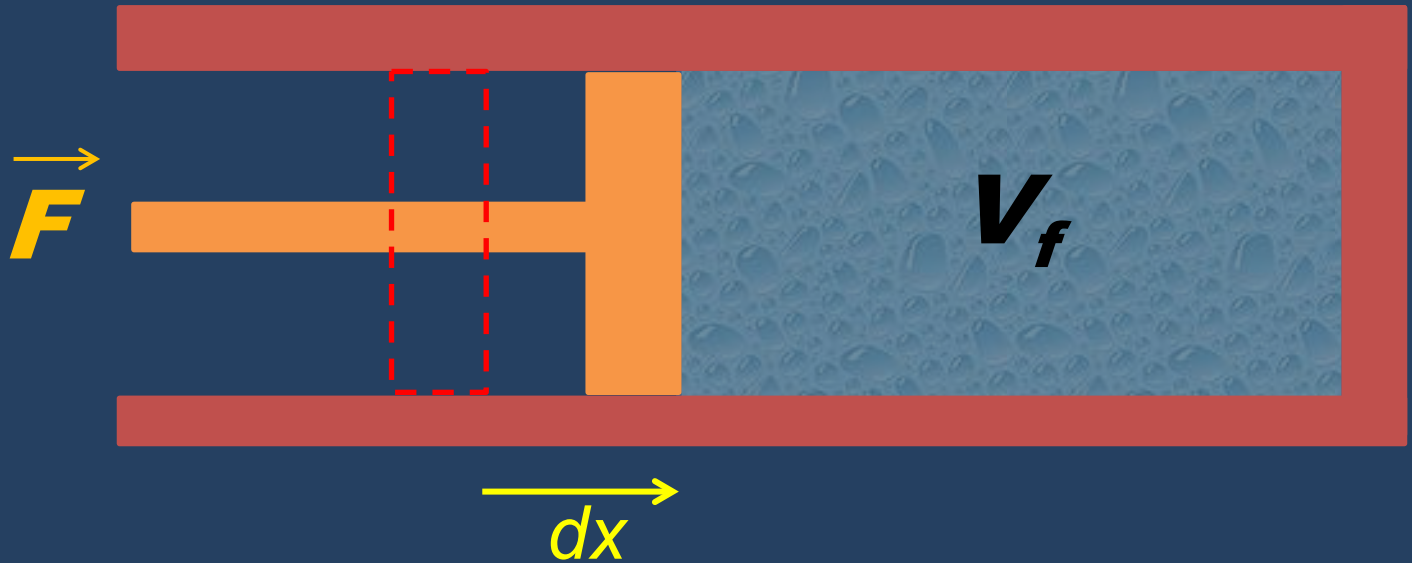
**CRITERIO DE SIGNOS:**



## Trabajo en un sistema hidrostático

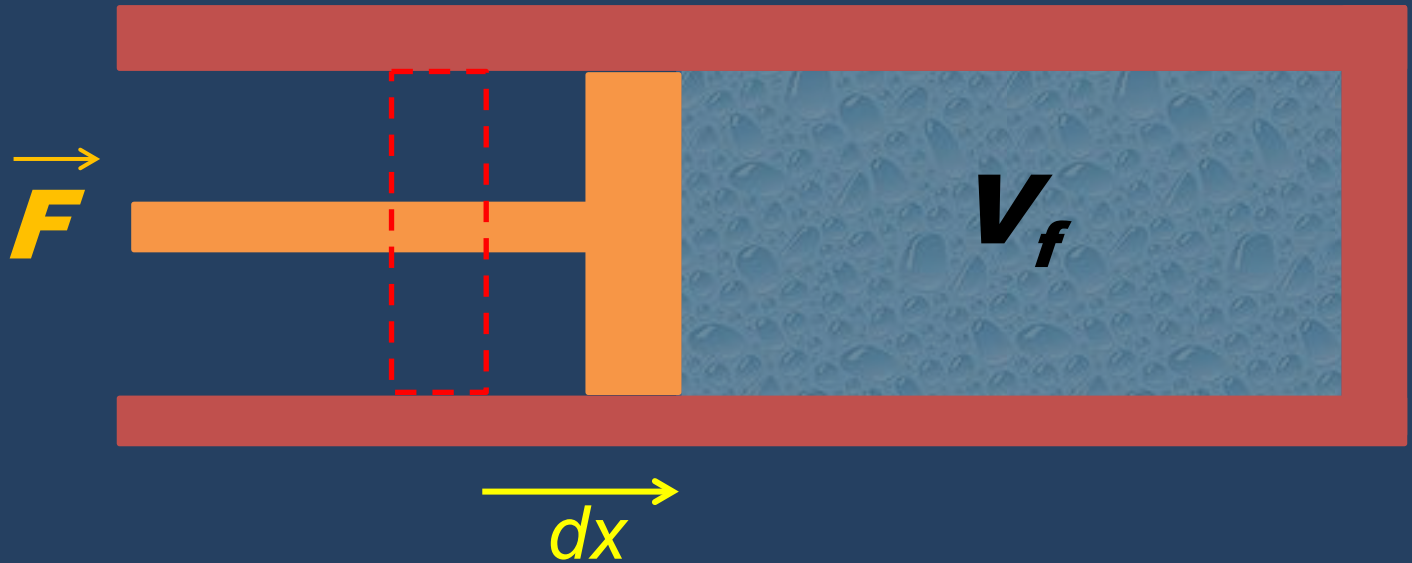


## Trabajo en un sistema hidrostático



$$W = \int_i^f \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_i^f F \cdot dx = \int_i^f (P \cdot A) dx = \int_i^f P \cdot (-dV)$$

## Trabajo en un sistema hidrostático



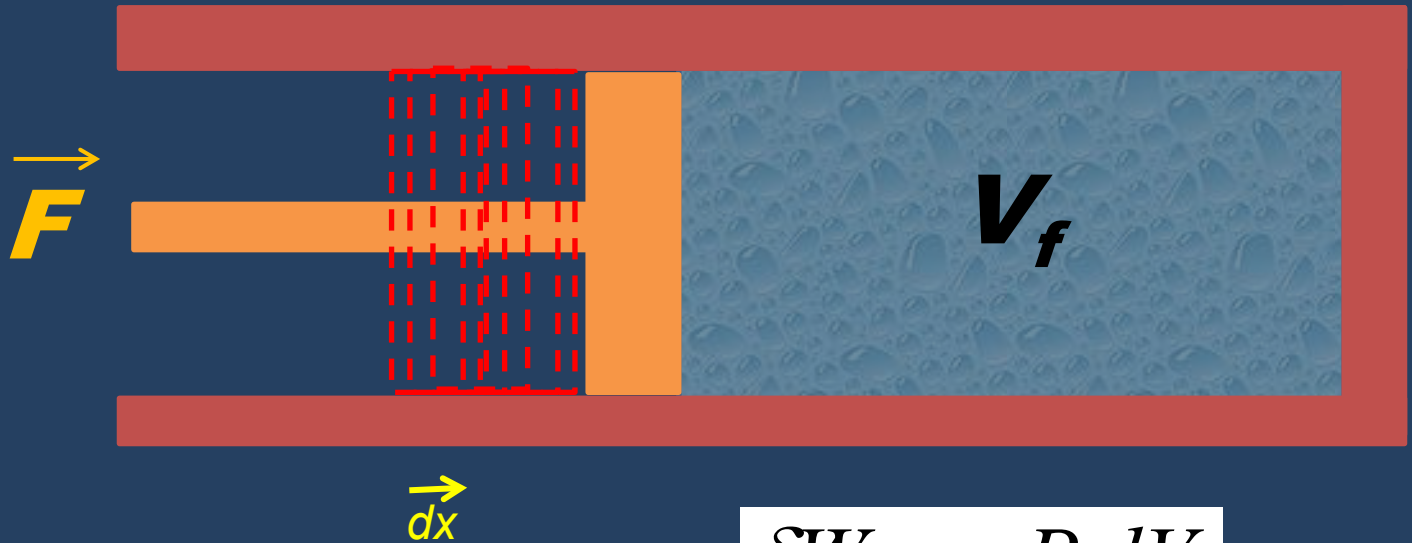
En algunos libros, se usa todavía el “criterio egoísta” o “de ingeniero”:

$$W_{ing} = + \int_i^f P \cdot dV$$

# Trabajo en un sistema hidrostático. Procesos cuasi-estáticos



## Trabajo en un sistema hidrostático: Procesos cuasi-estáticos



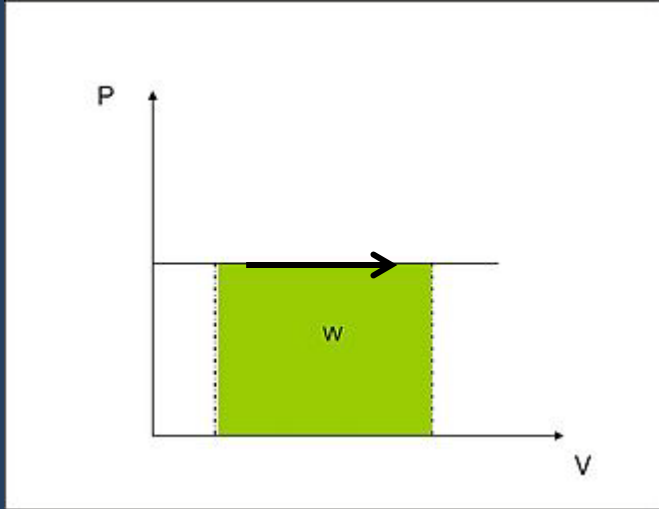
**Equilibrio termodinámico**  $\Rightarrow$  equilibrio mecánico, térmico y químico...

Durante un proceso cuasi-estático, el sistema se encuentra en todo momento infinitesimalmente cerca de un estado de equilibrio termodinámico  $\leftrightarrow$  Las ecuaciones de estado se cumplen durante todo el proceso.

$$W_{i \rightarrow f} = -W_{f \rightarrow i}$$

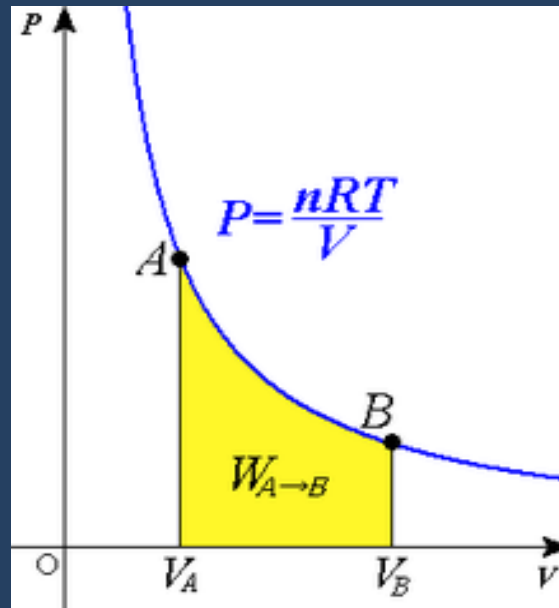
# Trabajo en un sistema hidrostático: Diagramas $PV$

## Proceso isobárico



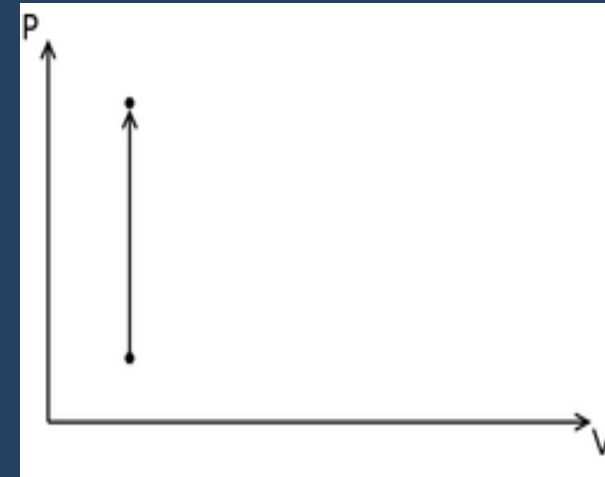
$$-W = W_{ing} = \int_i^f P \cdot dV = P \cdot (V_f - V_i)$$

## Proceso isotérmico



$$-W = W_{ing} = \int_i^f P \cdot dV = \int_i^f \frac{nRT}{V} \cdot dV$$

## Proceso isocórico



$$-W = W_{ing} = 0$$

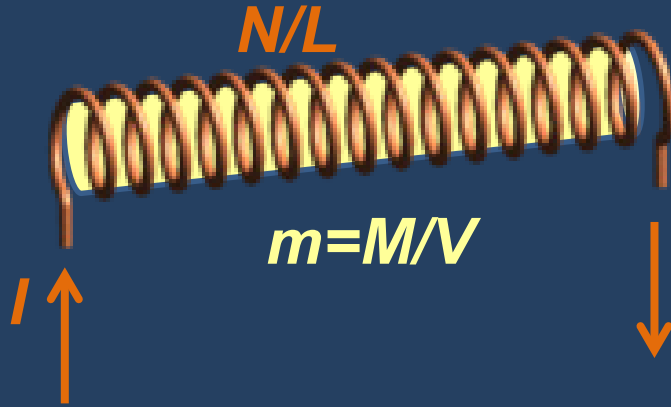


## Trabajo en otros sistemas termodinámicos

$$W = \int_i^f Y \cdot dX$$

Sistema termodinámico	Variable intensiva $Y$	Variable extensiva $X$	Trabajo $\delta W$
Sistema hidrostático	Presión $P$ (Pa)	Volumen $V$ (m <sup>3</sup> )	$-P \cdot dV$
Hilo estirado	Tensión $\tau$ (N)	Longitud $L$ (m)	$\tau \cdot dL$
Lámina superficial	Tensión superficial $\sigma$ (N/m)	Área $A$ (m <sup>2</sup> )	$\sigma \cdot dA$
Pila eléctrica	Fem $\mathcal{E}$ (V)	Carga $Z$ (C)	$\mathcal{E} \cdot dZ$
Sólido dieléctrico	Campo eléctrico $E$ (V/m)	Polarización total $\mathcal{P}$ (C·m)	$E \cdot d\mathcal{P}$
Sólido paramagnético	Campo magnético $\mu_0 H$ (N/A·m)	Imanación $M$ (A·m <sup>2</sup> )	$\mu_0 H \cdot dM$

# Trabajo al variar la imanación en un sólido paramagnético



$$W = \int_i^f Y \cdot dX$$

Ley de Faraday:  $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_m}{dt} = -N \cdot A \frac{dB}{dt}$

Energía consumida durante  $dt$ :

$$\delta W = -\mathcal{E} \cdot dZ = -\mathcal{E} \cdot I \cdot dt$$

Intensidad de campo magnético producida por la corriente del solenoide:

$$H = \frac{N \cdot I}{L} = \frac{N \cdot I \cdot A}{L \cdot A} = \frac{N \cdot A \cdot I}{V}$$

$$\delta W = + N \cdot A \cdot I \cdot dB = V \cdot H \cdot dB$$



## Trabajo al variar la imanación en un sólido magnético

$$\delta W = V \cdot H \cdot dB$$

$$\vec{B} = \mu_0 \left( \vec{H} + \frac{\vec{M}}{V} \right)$$

$\Rightarrow$

$$\begin{aligned} \delta W &= V \cdot H \cdot \mu_0 \cdot (dH + dM/V) \\ &= V \cdot \mu_0 \cdot H \cdot dH + \mu_0 \cdot H \cdot dM \end{aligned}$$

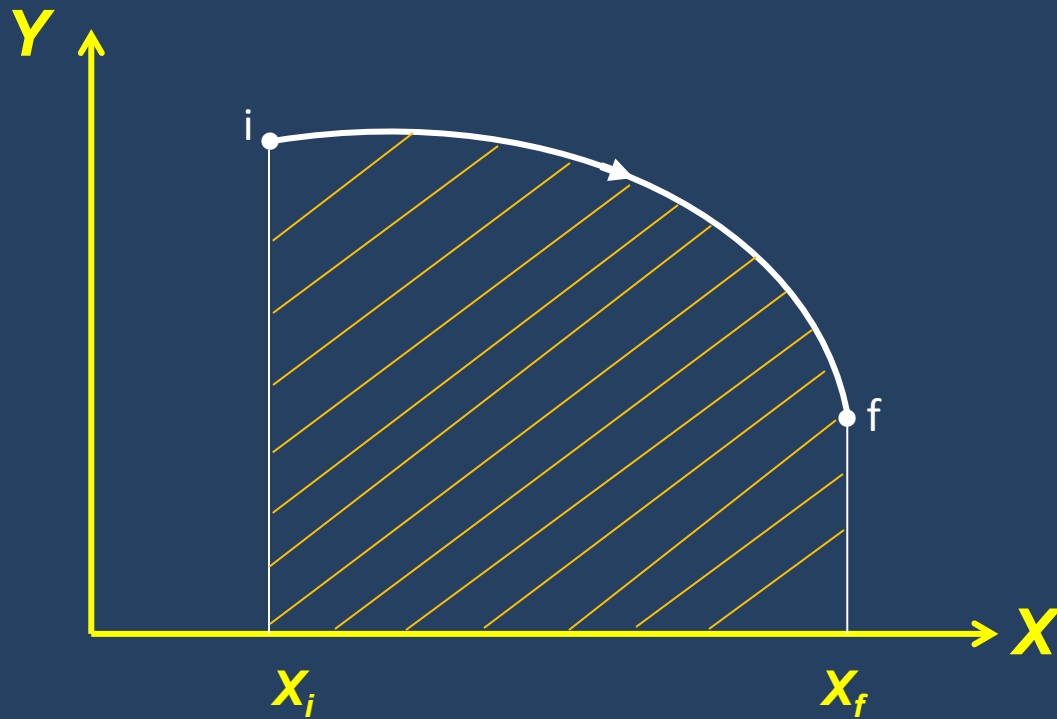
Trabajo necesario para aumentar el campo magnético en el vacío

Trabajo necesario para aumentar la magnetización del material

$$W = \int_i^f (\mu_0 H) \cdot dM$$

El trabajo NO es una función de estado

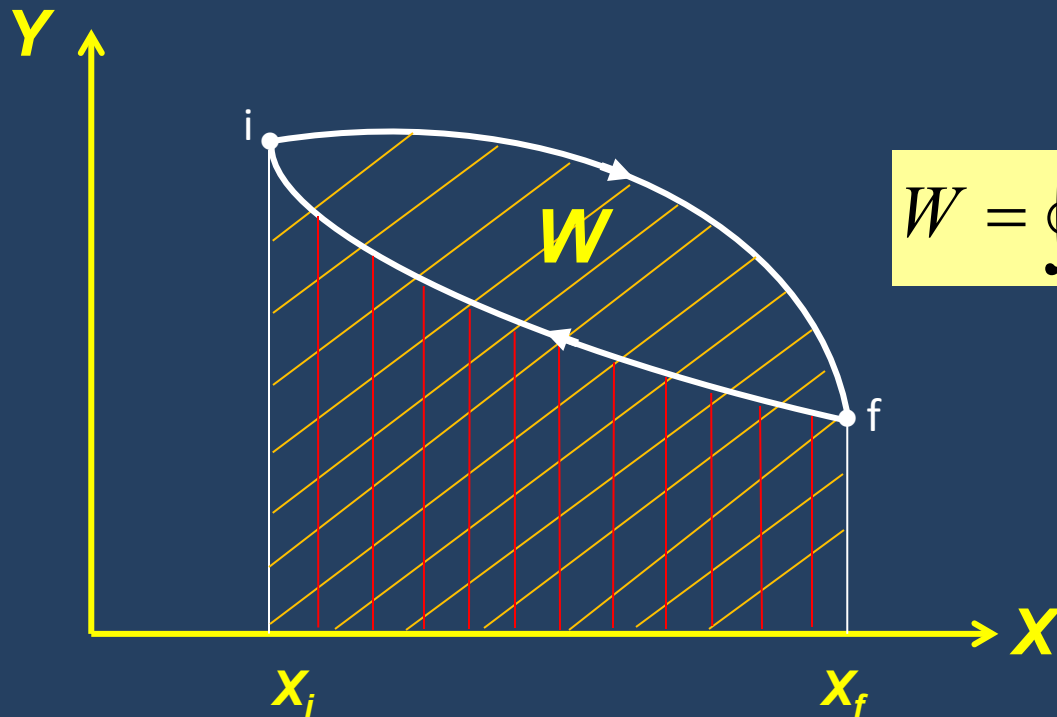
$$W = \int_i^f Y \cdot dX$$



# El trabajo NO es una función de estado

$$W = \int_i^f Y \cdot dX$$

$$\delta W = Y \cdot dX$$



$$W = \oint Y \cdot dX \neq 0$$

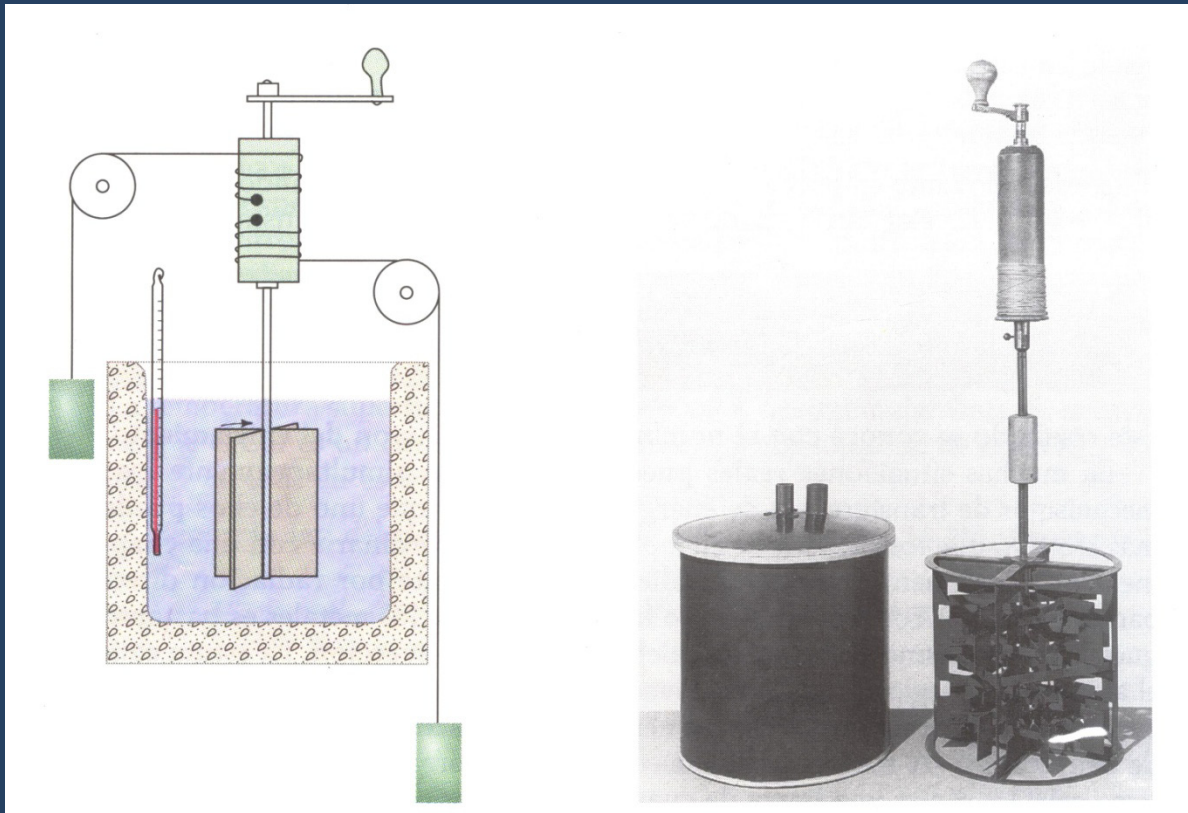
## Calor

*El CALOR se define como la energía que se transfiere de un cuerpo a otro, en general, entre un sistema y su entorno debido a una diferencia de temperaturas.*

- \* Teoría del “calórico” (siglos XVII-XVIII):  
Fluido invisible y sin peso, que se conservaba en total, pudiéndose transferir de un cuerpo a otro
- \* El Conde Rumford de Baviera (h. 1800) comprobó que el metal de los cañones también se calentaba por fricción (trabajo mecánico) sin que ningún otro cuerpo cediese nada de “su calórico”
- \* Experimentos de Joule (siglo XIX):  
demostraron de forma definitiva la equivalencia entre energía mecánica y calor

# Calor

- \* Experimentos de Joule (siglo XIX): demostraron de forma definitiva la equivalencia entre energía mecánica y calor:  $4.184 \text{ J} = 1 \text{ cal}$



## Trabajo adiabático

El TRABAJO realizado en todos los posibles procesos **adiabáticos** utilizables para pasar de un cierto estado inicial a otro estado final es siempre el mismo.

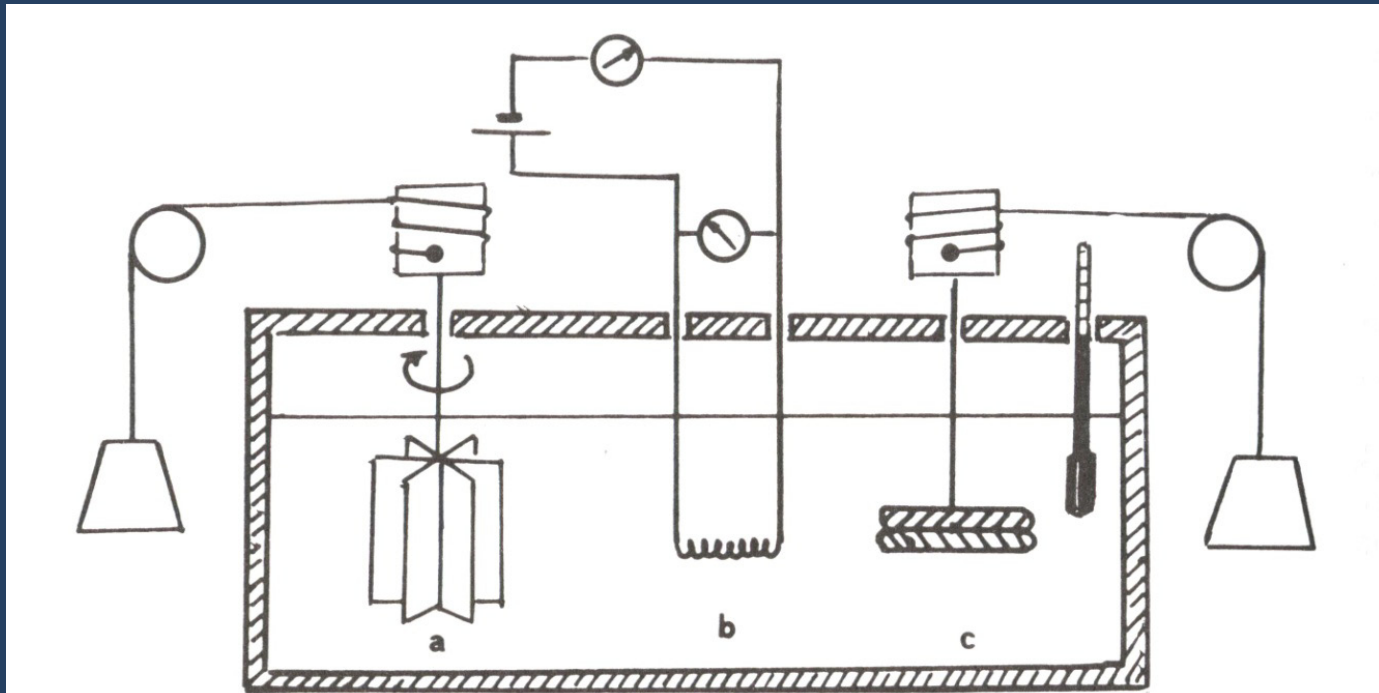


FIG. 3.12. Un sistema experimenta la misma transformación por tres métodos adiabáticos distintos: *a)*, por medio de un agitador de paletas; *b)*, por efecto eléctrico Joule; *c)* frotando un par de discos.



## La función ENERGÍA INTERNA ( $U$ )

⇒ Existe una “función de estado” que sólo depende de las variables termodinámicas del sistema, cuya variación al pasar de un estado a otro es igual al trabajo (adiabático) realizado:

$$W_{adiab} = U_f - U_i$$

$$[ \delta W_{adiab} = dU ]$$

$$dU = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_P dT + \left( \frac{\partial U}{\partial P} \right)_T dP \quad \text{ó} \quad dU = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV$$

# El Primer Principio de la Termodinámica

En general, para procesos no adiabáticos:

$$\Delta U = Q + W$$

Primer Principio de la termodinámica: La variación de la energía interna de un sistema termodinámico es igual a la suma del calor total recibido y al trabajo total realizado sobre el sistema.

(Generalización del principio de conservación de la energía + equivalencia entre energía mecánica y calorífica + existencia de una función de estado “energía interna”  $U$  )

$$dU = \delta Q + \delta W$$

## El Primer Principio de la termodinámica en distintos sistemas termodinámicos

Sistema termodinámico	Variable intensiva $Y$	Variable extensiva $X$	1º Principio de la TD
Sistema hidrostático	Presión $P$	Volumen $V$	$dU = \delta Q - P \cdot dV$
Hilo estirado	Tensión $\tau$	Longitud $L$	$dU = \delta Q + \tau \cdot dL$
Lámina superficial	Tensión superficial $\sigma$	Área $A$	$dU = \delta Q + \sigma \cdot dA$
Pila eléctrica	Fem $\mathcal{E}$	Carga $Z$	$dU = \delta Q + \mathcal{E} \cdot dZ$
Sólido dieléctrico	Campo eléctrico $E$	Polarización total $\mathcal{P}$	$dU = \delta Q + E \cdot d\mathcal{P}$
Sólido paramagnético	Campo magnético $\mu_0 H$	Imanación $M$	$dU = \delta Q + \mu_0 H \cdot dM$