

Universidad Nacional de Río Negro

Física III B – 2022

- **Unidad** 01 – El calor
- **Clase** U02 C03 – 09/30
- **Cont** Ciclos, Eficiencia, Carnot
- **Cátedra** Asorey
- **Web** <https://campusbimodal.unrn.edu.ar/course/view.php?id=24220>



Contenidos: B5331 Física IIIB 2022 alias Termodinámica

Unidad 1

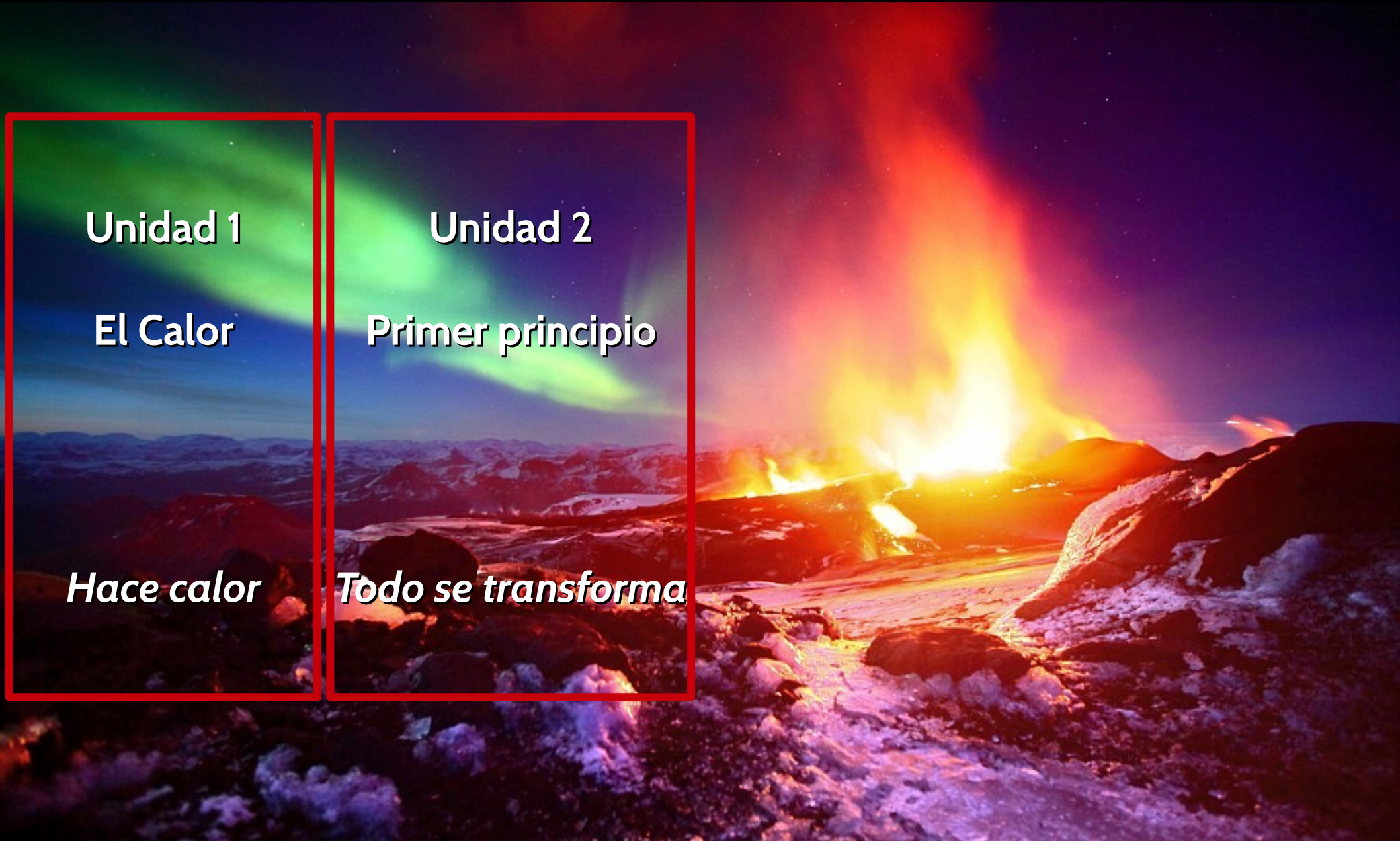
El Calor

Hace calor

Unidad 2

Primer principio

Todo se transforma



Unidad 02: Primer Principio

Del 31/Mar al 19/Abr (7 encuentros)

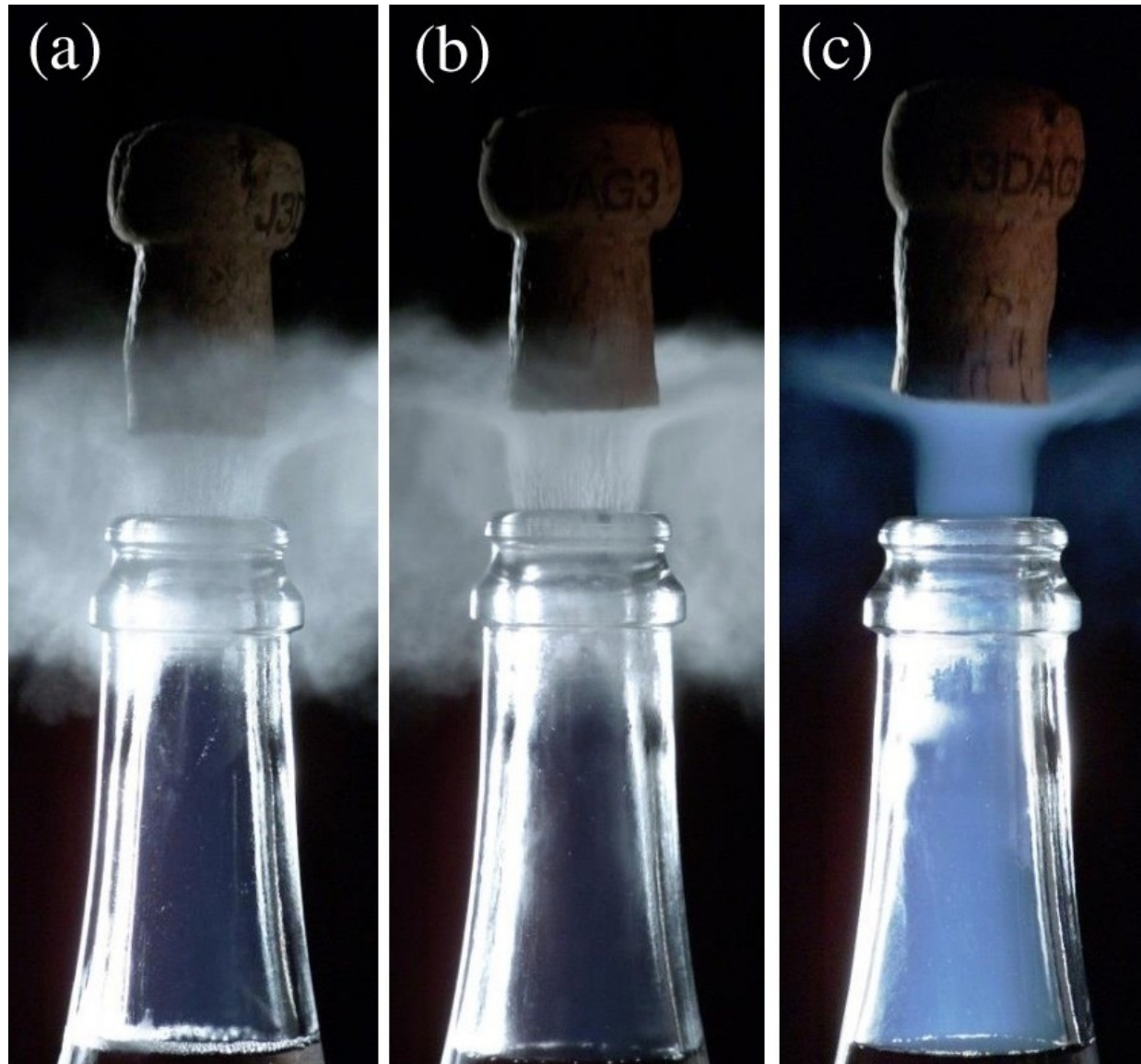
Calor y trabajo. Equivalente mecánico del calor.
Experimento de Joule. Sistemas. Fuentes de calor.
Potenciales termodinámicos. Primer principio.
Máquinas térmicas. Ciclos termodinámicos. Ciclo de Carnot. Eficiencia de una máquina térmica.
Entrega guía 02: Martes 26/Abr 23:59



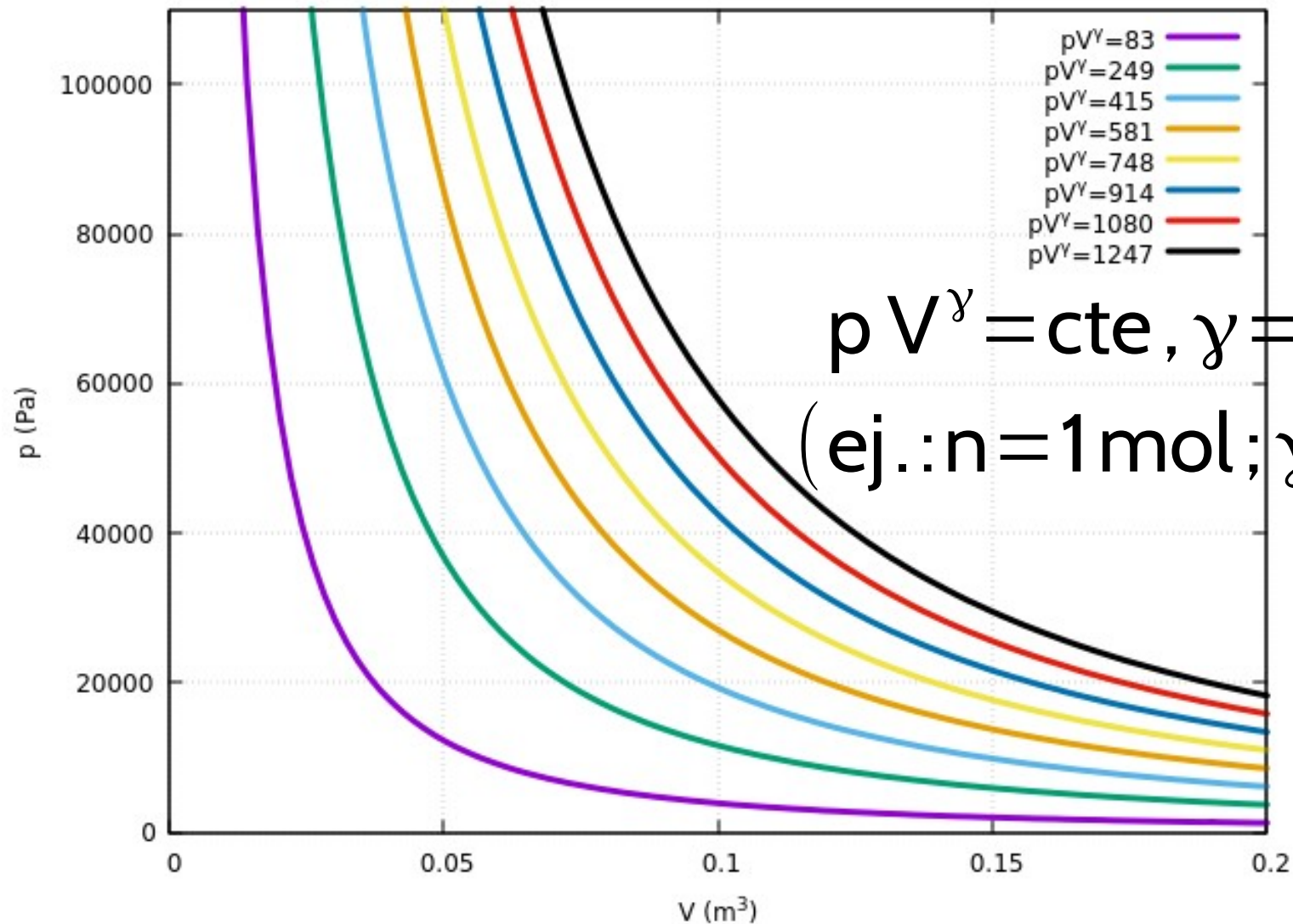
Último caso: No hay intercambio de calor

- No hay intercambio de calor con el medio
 - Recipiente muy aislado (calorímetro); ó
 - Transformación muy rápida (abriendo una Coca Cola)
- En este caso: **$Q = 0$ ← Transformación Adiabática**
- $Q = \Delta U + W \rightarrow 0 = \Delta U + W \rightarrow \mathbf{W = - \Delta U}$
- **En una expansión adiabática, el trabajo se realiza a costa de la energía interna del gas**
- Expansión adiabática → Brusco descenso de T
Y viceversa: en una compresión adiabática, todo el trabajo se convierte en energía interna (Zonda)

Sepa física y sea el alma de la fiesta



Curvas adiabáticas



- **Isobara:**

- $W = p \Delta V$
- $\Delta U = (z/2) n R \Delta T$
- $Q = \Delta U + W$

- **Isoterma:**

- $W = n R T \ln (V_f / V_i)$
- $\Delta U = 0$
- $Q = \Delta U + W \rightarrow Q = W$

$$Q = \Delta U + W$$

- **Isocora:**

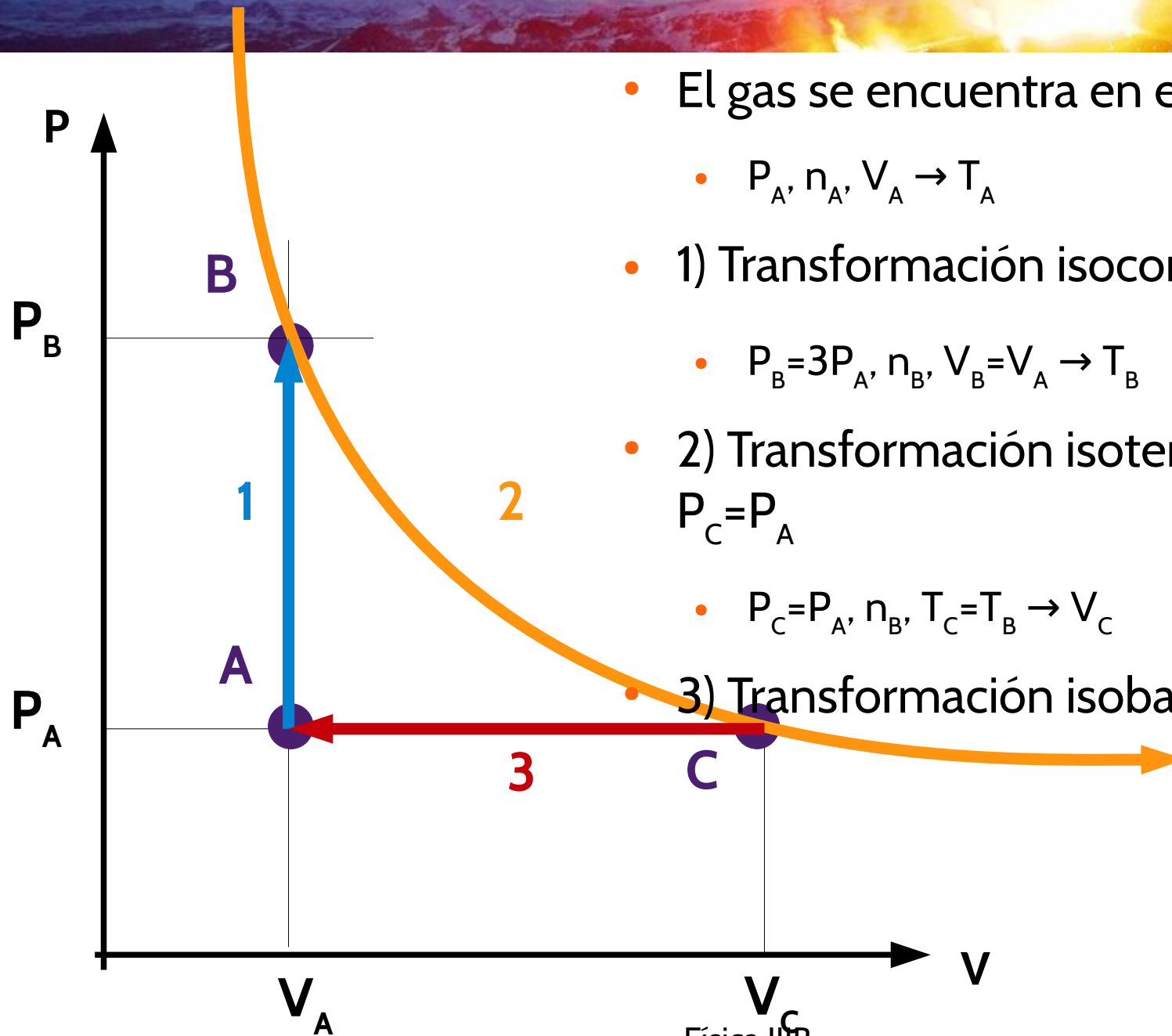
- $W = 0$
- $Q = C_v n \Delta T$
- $Q = \Delta U$

- **Adiabática**

- $W = -\Delta U$
- $\Delta U = (z/2) n R \Delta T$
- $Q = 0 \rightarrow W = -\Delta U$

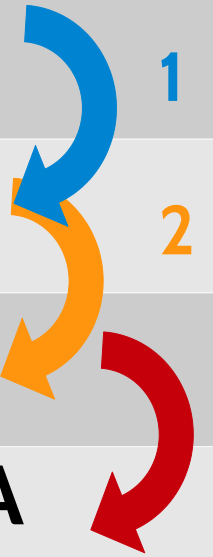
$$PV = n R T$$

Sucesión de transformaciones



- El gas se encuentra en estado A
 - $P_A, n_A, V_A \rightarrow T_A$
- 1) Transformación isocora hasta B, $P_B = 3 P_A$
 - $P_B = 3P_A, n_B, V_B = V_A \rightarrow T_B$
- 2) Transformación isoterma hasta C, $P_C = P_A$
 - $P_C = P_A, n_B, T_C = T_B \rightarrow V_C$
- 3) Transformación isobara hasta A

Cuadro de estados



Estado	p	V	T	n
A	p_A	V_A	T_A	n_A
B	$p_B = 3p_A$	$V_B = V_A$	T_B	n_A
C	$p_C = p_A$	V_C	$T_C = T_B$	n_A
→ A	p_A	V_A	T_A	n_A

- Identificar los datos en el problema
- Determinar datos faltantes con las transformaciones
- Calcular datos faltantes con ec. de estado $\rightarrow pV=nRT$

Cuadro de transformaciones

Transf	Q	W	ΔU
1: isocora	$= \Delta U$	0	$=(z/2) n R (T_B - T_A)$
2: isoterma	$= W$	$= nRT \ln(V_C/V_A)$	0
3: isobara	$= \Delta U + W$	$= P(V_A - V_C)$	$=(z/2) n R (T_A - T_C)$

- Identificar aquellos valores que no cambian en cada transformación
- Dejar el calor Q para el final (evita confusiones)
- En un ciclo $\Delta U_{\text{total}} = 0 \leftarrow$ El gas vuelve a su estado inicial $U_f = U_i$

Entendiendo el ciclo

- A medida que el ciclo avanza, el sistema intercambia calor (Q) y trabajo mecánico (W) con el medio
- El sistema “almacena” energía en forma de energía interna (\rightarrow Temperatura \rightarrow Energía Cinética)
- Al finalizar el ciclo, $U_f = U_i \rightarrow \Delta U = 0$
- Para el ciclo completo, el primer principio garantiza

$$Q = W$$

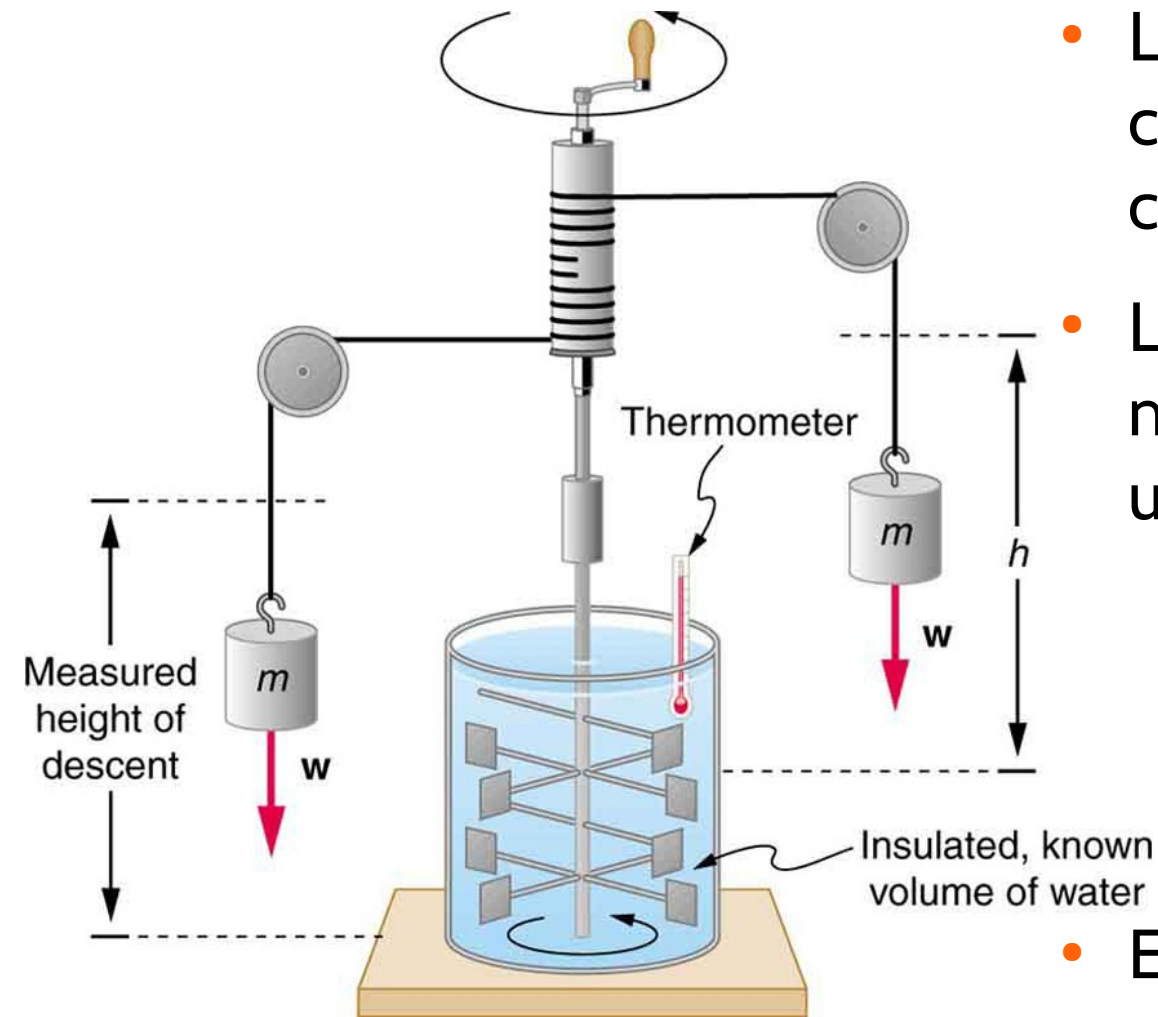
- Pero esos valores son “netos”

Equivalente mecánico del calor

- Es una expresión histórica de la conservación de la energía aplicada a la termodinámica
- La equivalencia explicita que calor y trabajo mecánico son intercambiables
- El calor es una forma de energía
- Las primeras observaciones se dieron por el trabajo de fricción y el calentamiento
- Los trabajos de Joule llevaron al establecimiento de:

caloría (“calor”) \longleftrightarrow joule (“energía”)

Experimento de Joule



- Las dos pesas de masa m conocida, caen una distancia h conocida
- La fricción de las palas en la masa M de agua aislada genera un incremento de T

$$2(mgh) = cM\Delta T$$

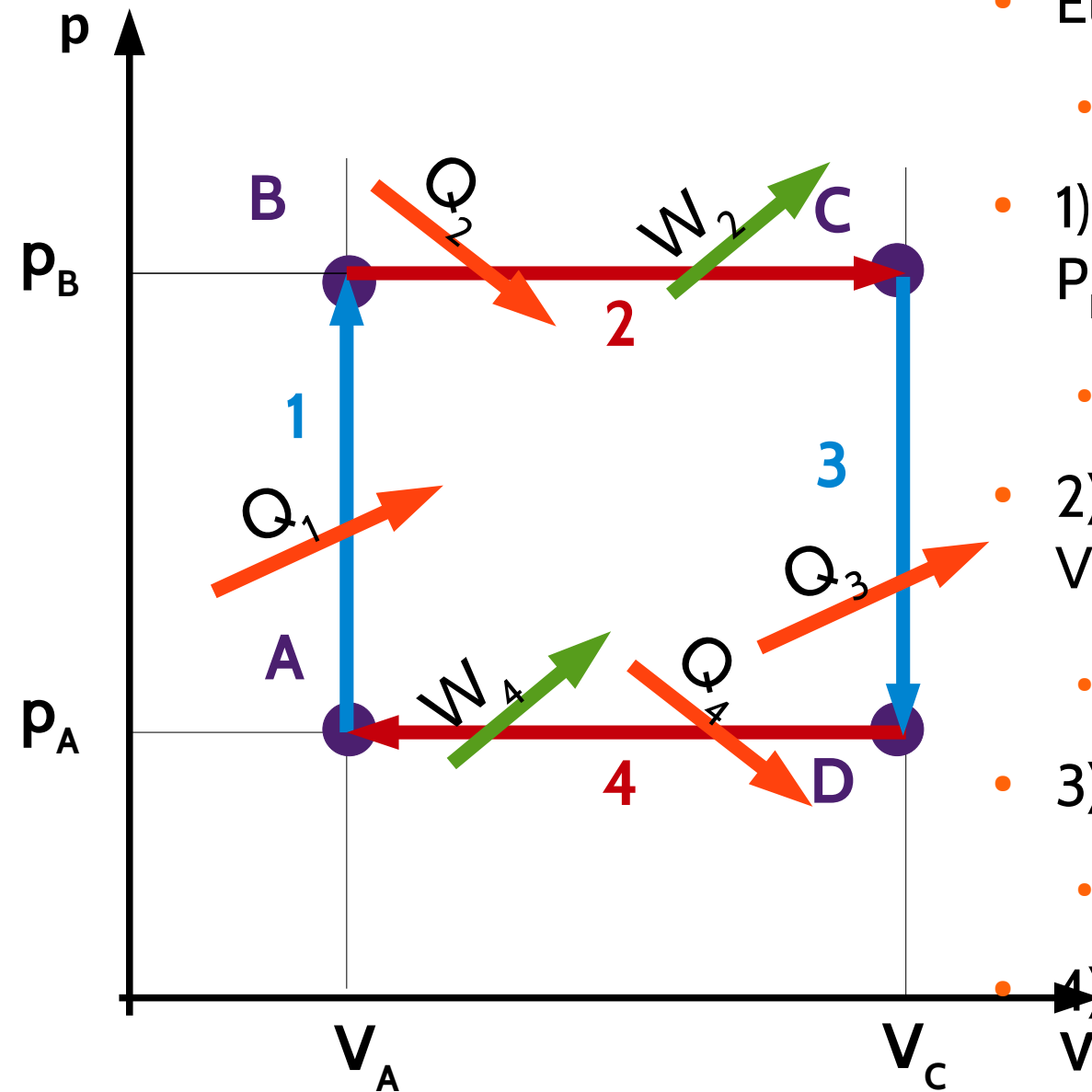
$$c = \frac{2(mgh)}{M\Delta T}$$

- Equivalente mecánico del calor:

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$$

Otro ciclo, el cuadrado letal

$n = \text{cte}$



- El gas se encuentra en estado A
 - $P_A, n_A, V_A \rightarrow T_A$
- 1) Transformación isócora hasta B, $P_B = 3P_A$
 - $P_B = 3P_A, n_A, V_B = V_A \rightarrow T_B$
- 2) Transformación isóbara hasta C, $V_C = 3V_A$
 - $P_C = P_B, n_A, V_C = 3V_B \rightarrow T_C$
- 3) Transformación isócora hasta D
 - $V_D = V_C, n_A, P_D = P_A \rightarrow T_D$
- 4) Transformación isóbara hasta A

Cuadro de estados

Estado	p	V	T	n
A	p_A	V_A	T_A	n_A
1:B	$p_B = 3p_A$	$V_B = V_A$	T_B	n_A
2:C	$p_C = p_B$	$V_C = 3V_B$	T_C	n_A
3:D	$p_D = p_A$	$V_D = V_C$	T_D	n_A
4:A	p_A	V_A	T_A	n_A

Cuadro de transformaciones

Transf	Q	W	ΔU
1 _{A→B} :isócora	$= \Delta U$	0	$=(z/2) n R (T_B - T_A)$
2 _{B→C} :isóbara	$= \Delta U + W$	$= p_B (V_C - V_B)$	$=(z/2) n R (T_C - T_B)$
3 _{C→D} :isócora	$= \Delta U$	0	$=(z/2) n R (T_D - T_C)$
4 _{D→A} :isóbara	$= \Delta U + W$	$= p_D (V_D - V_A)$	$=(z/2) n R (T_A - T_D)$

- **Calor**

- $Q > 0 \leftarrow$ Calor entra al sistema desde una fuente
- $Q < 0 \leftarrow$ Calor sale del sistema \rightarrow No es aprovechable

- **Trabajo**

- $W > 0 \leftarrow$ Trabajo producido por el sistema \rightarrow Útil
- $W < 0 \leftarrow$ Trabajo realizado sobre el sistema \rightarrow Costo
- ¿Qué obtuve luego de un ciclo? \rightarrow Trabajo Neto
- ¿Que tuve que poner para lograr el ciclo? \rightarrow Calor $Q > 0$

- Definimos al rendimiento como

Lo que obtuve

$$\eta = \frac{\text{Lo que obtuve}}{\text{Lo que tuve que poner}}$$

Lo que tuve que poner

- En términos del ciclo,

W_{neto}

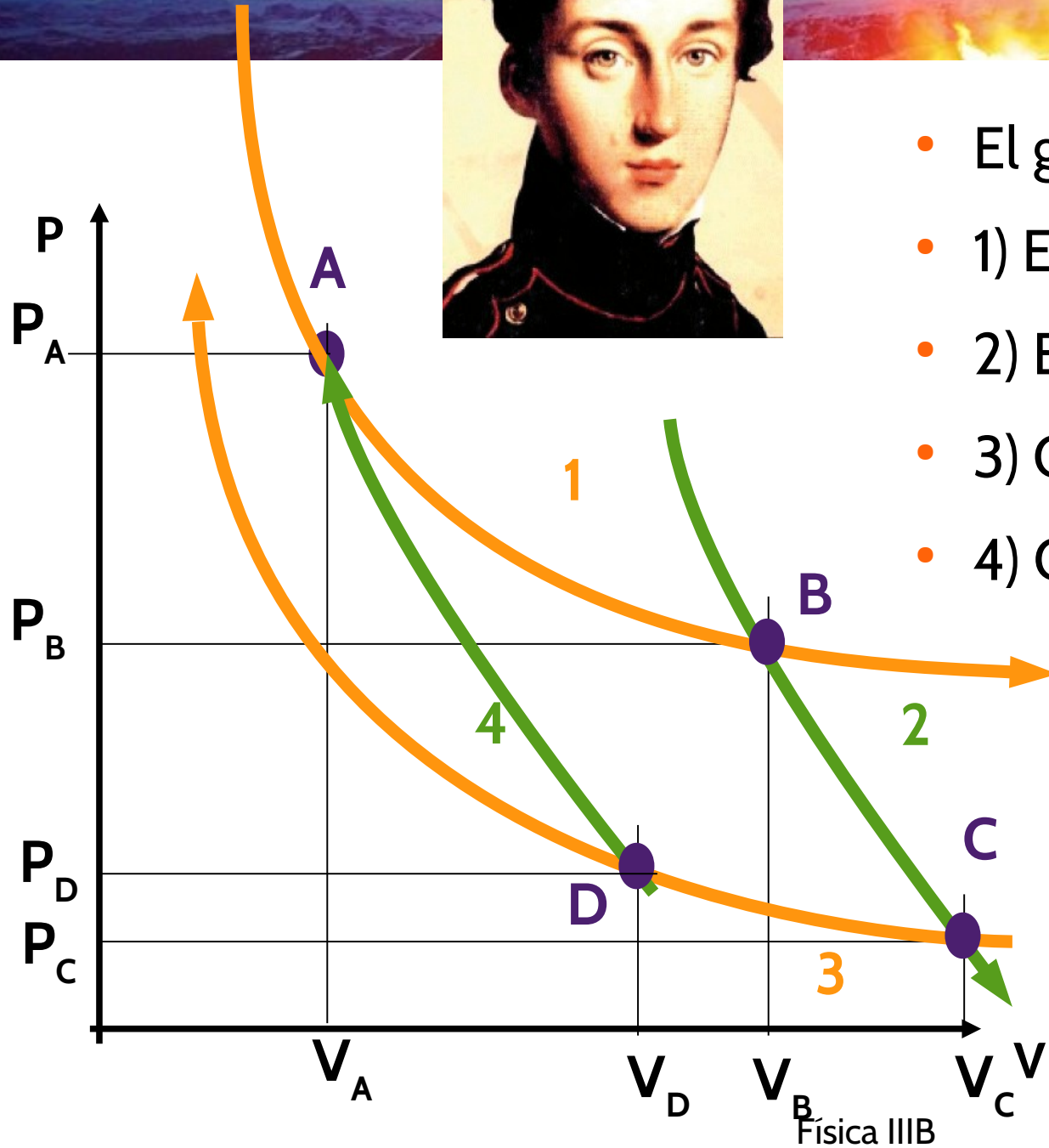
$$\eta = \frac{W_{\text{neto}}}{Q_{>0}}$$

$Q_{>0}$

Reversibilidad termodinámica (volveremos)

- **Proceso Reversible** es aquel en el que el sentido puede invertirse mediante un cambio infinitesimal de las condiciones de entorno
 - Idealización
 - Punto a punto \rightarrow desplazamiento infinitesimal del equilibrio
 - Procesos conservativos
 - Al invertirse el proceso, el sistema regresa al estado inicial
 - Coloquial: procesos muuyyyy lentos
- **Un ciclo reversible** es aquel ciclo en el que todas las transformaciones son reversibles

Otro ciclo → Carnot



- El gas se encuentra en A
- 1) Expansión Isotérmica $A \rightarrow B$
- 2) Expansión Adiabática $B \rightarrow C$
- 3) Compresión Isotérmica $C \rightarrow D$
- 4) Compresión Adiabática $D \rightarrow A$

Ciclo completo reversible
(fuera de escala)

Eficiencia de la máquina de Carnot

- Lo que obtuve / Lo que puse
 - Obtuve: Trabajo neto (Suma de los W)
 - Puse: Calor entrante (Sólo cuento los calores positivos $Q > 0$)
- Entonces, para el ciclo de Carnot

$$\eta = \frac{\sum_i W_i}{\sum_j (Q_j > 0)} \rightarrow \eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_C}{T_A} < 1$$

- T_C : baño térmico de la transformación 3; T_A : térmico de la transformación 1 $\rightarrow T_C < T_A$.
- $T_C \rightarrow$ Baño frío; $T_A \rightarrow$ baño caliente

Maldita termodinámica, 1ra parte

- Vemos que a pesar de ser un gas ideal y todas las transformaciones son reversibles,

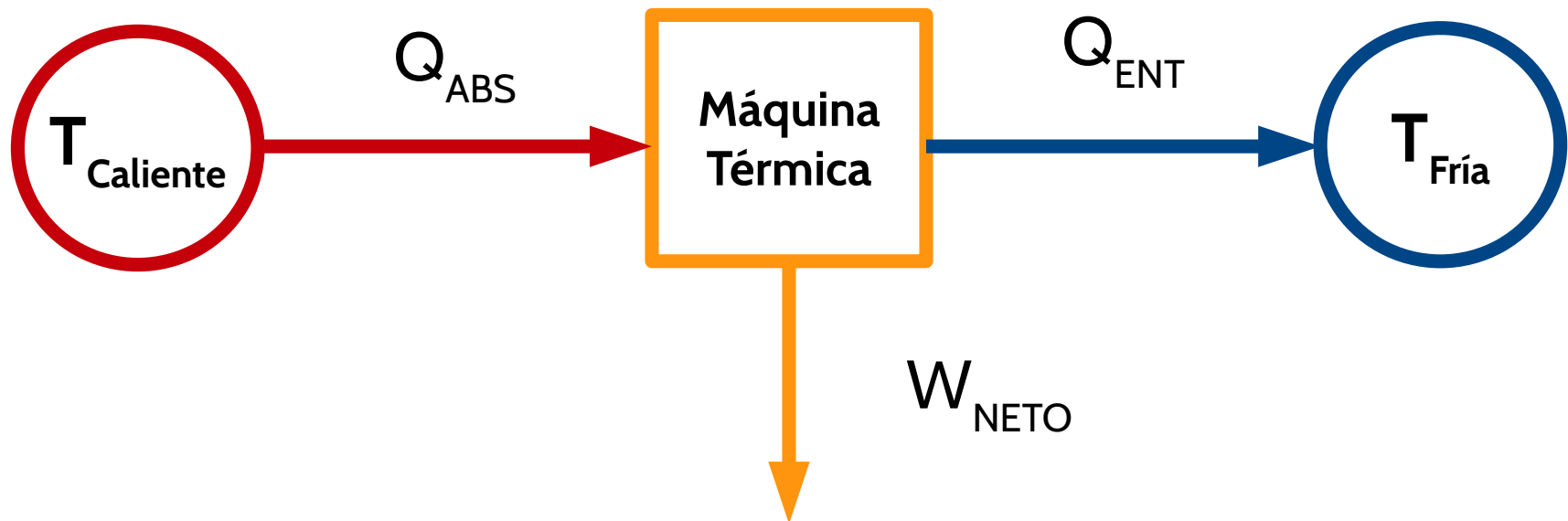
$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_C}{T_A} < 1$$

- El rendimiento de una máquina de Carnot siempre es menor que 1:
- 1^{er} Teorema de Carnot (demostración en la próx. unidad)

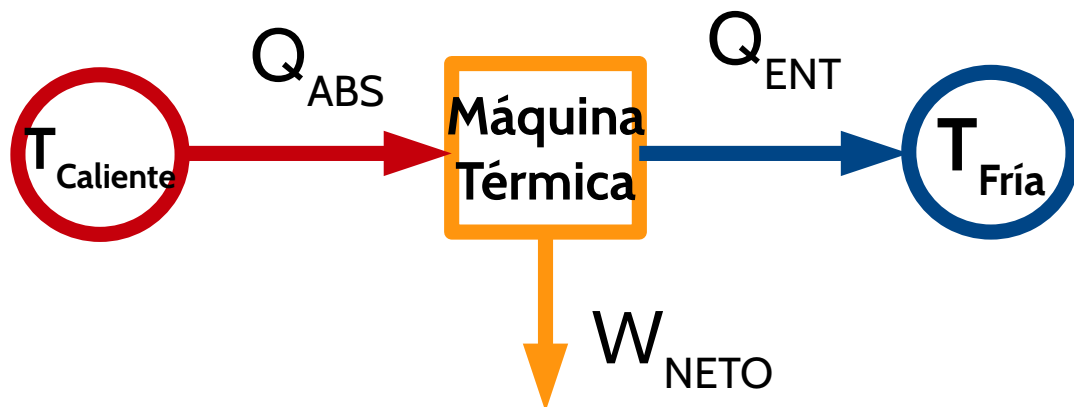
No existe una máquina térmica que funcionando entre dos fuentes térmicas dadas tenga un rendimiento mayor que una máquina reversible (de Carnot).

Máquinas térmicas

- **Máquina térmica:** dispositivo cíclico que absorbe calor de una fuente caliente, realiza un trabajo mecánico y entrega la energía remanente en forma de calor a una fuente fría
- Este calor no es aprovechable por la misma máquina térmica



Y según Carnot....



$$\eta = \frac{Q_{\text{ABS}} - Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} = 1 - \frac{Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} \leq 1 - \frac{T_{\text{Fría}}}{T_{\text{Caliente}}}$$

Máquina térmica – un poco más realista

