

Universidad Nacional de Río Negro

Física III B – 2022

- **Unidad** 02 – Primer principio
- **Clase** U02 C05 - 11/30
- **Cont** Máquinas térmicas, I
- **Cátedra** Asorey
- **Web** <https://campusbimodal.unrn.edu.ar/course/view.php?id=24220>



Contenidos: B5331 Física IIIB 2022 alias Termodinámica

Unidad 1

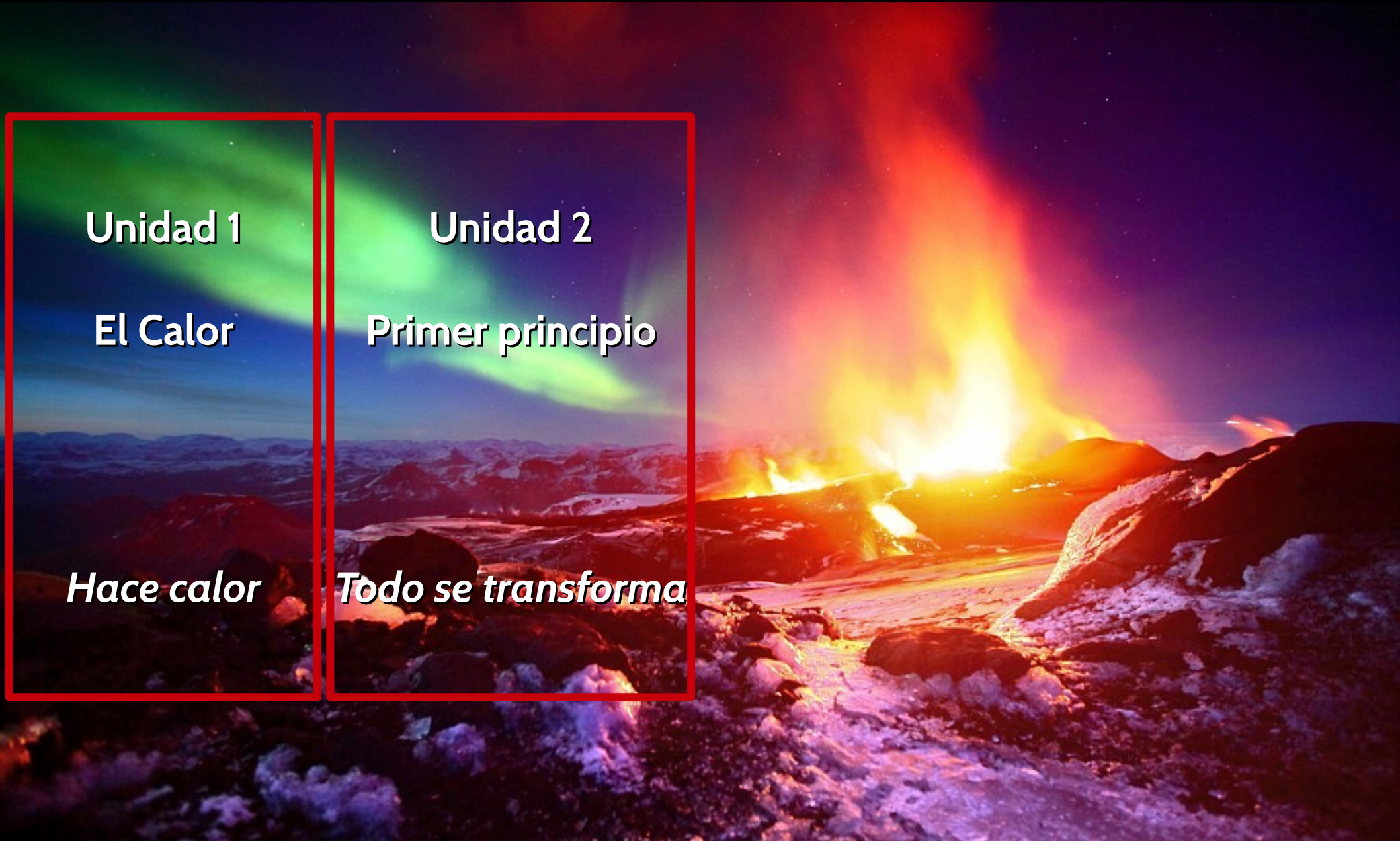
El Calor

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



- **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:**

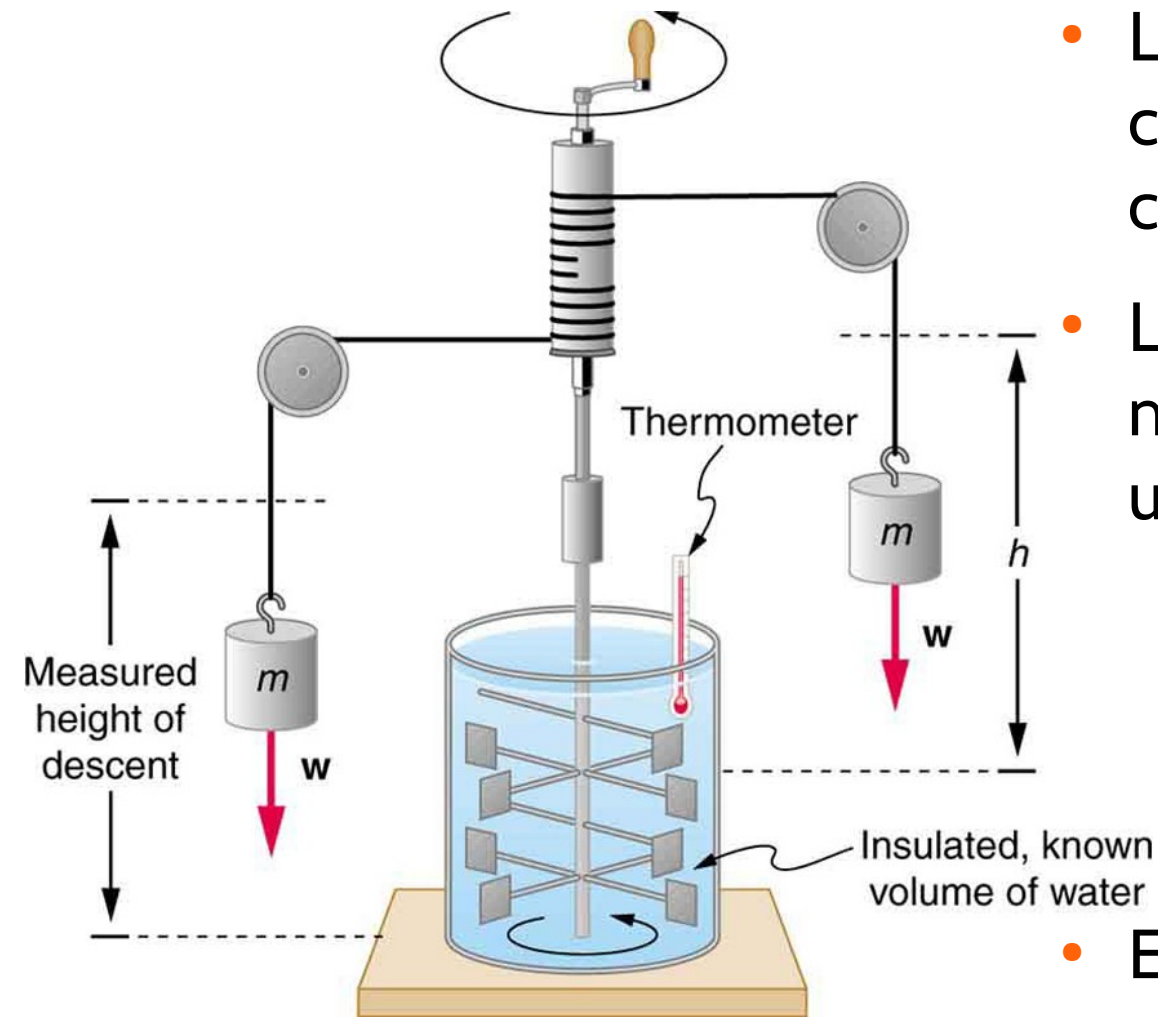
- $W = 0$
- $Q = C_v n \Delta T$
- $Q = \Delta U$

- **Adiabática**

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

$$PV = n R T$$

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

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

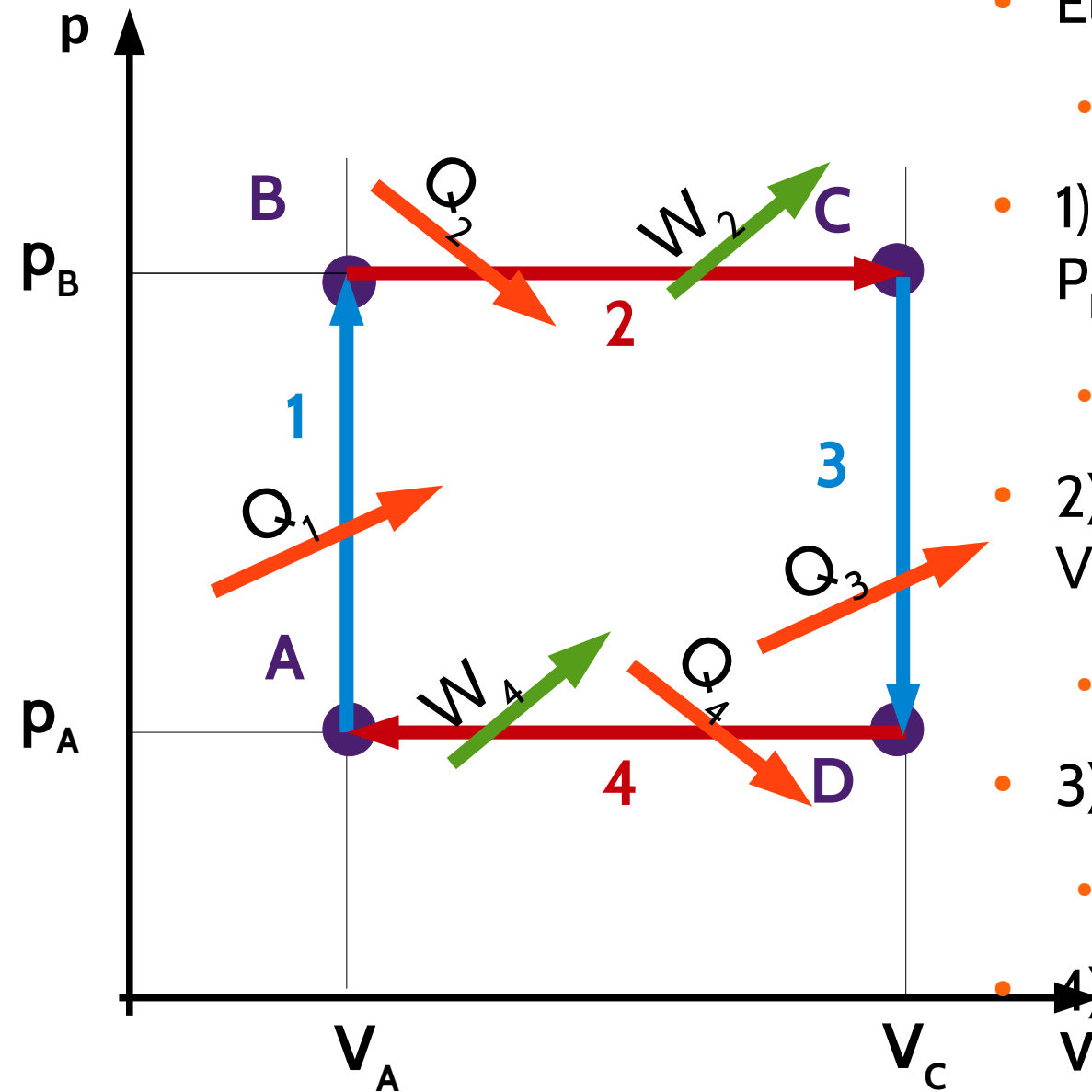
$$c = \frac{2(mgh)}{M\Delta T}$$

- 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,
 $P_B = 3 P_A$
 - $P_B = 3 P_A, n_A, V_B = V_A \rightarrow T_B$
- 2) Transformación isóbara hasta C,
 $V_C = 3 V_A$
 - $P_C = P_B, n_A, V_C = 3 V_B \rightarrow T_C$
- 3) Transformación isócora hasta D
 - $V_D = V_C, n_A, P_D = P_A \rightarrow T_D$
- 4) Transformación isóbara hasta A

- Definimos al rendimiento como

Lo que obtuve

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

Lo que tuve que poner

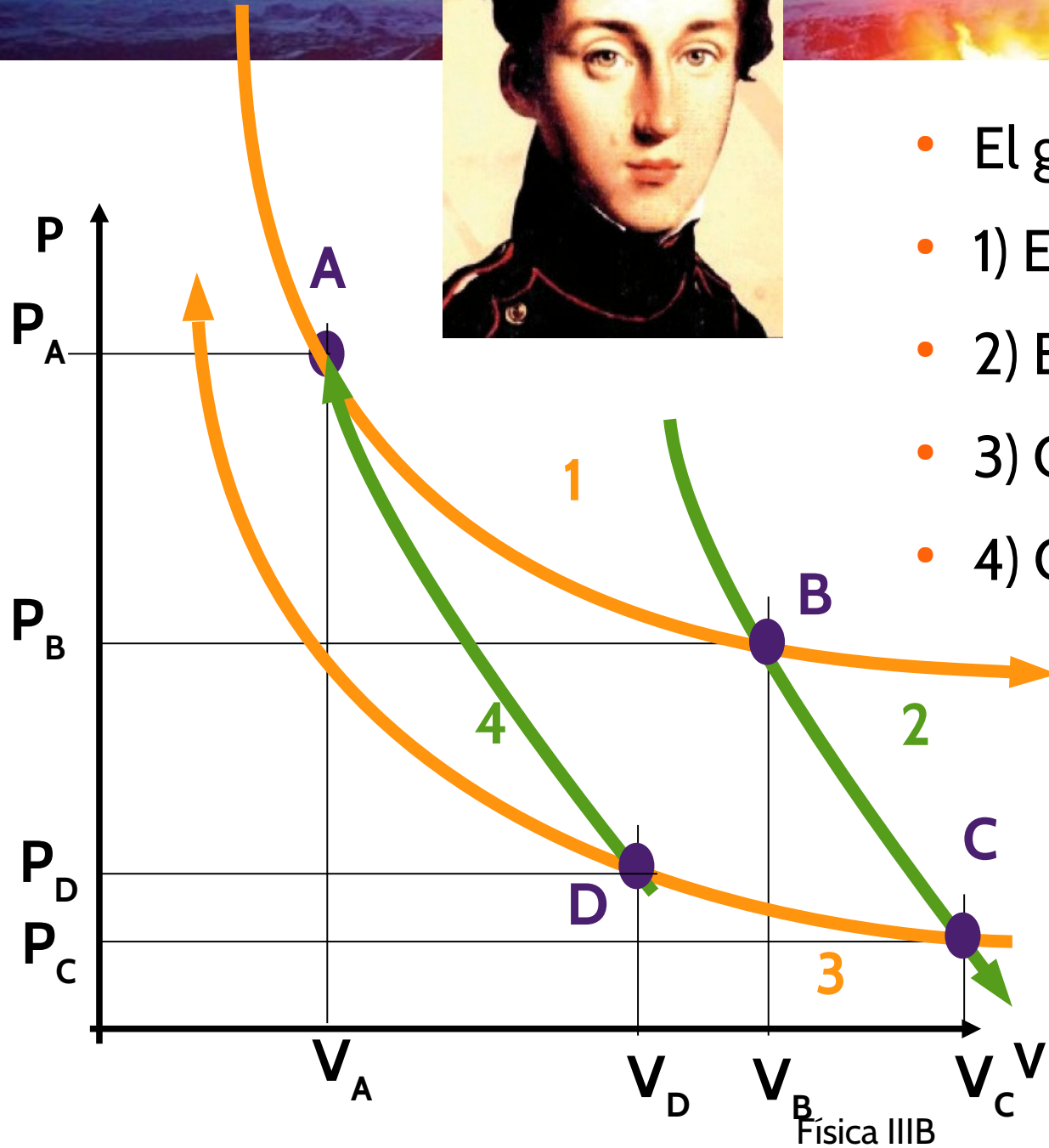
- En términos del ciclo,

W_{neto}

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

$Q_{>0}$

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)**

Maldita termodinámica, 1ra parte

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

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

- 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).

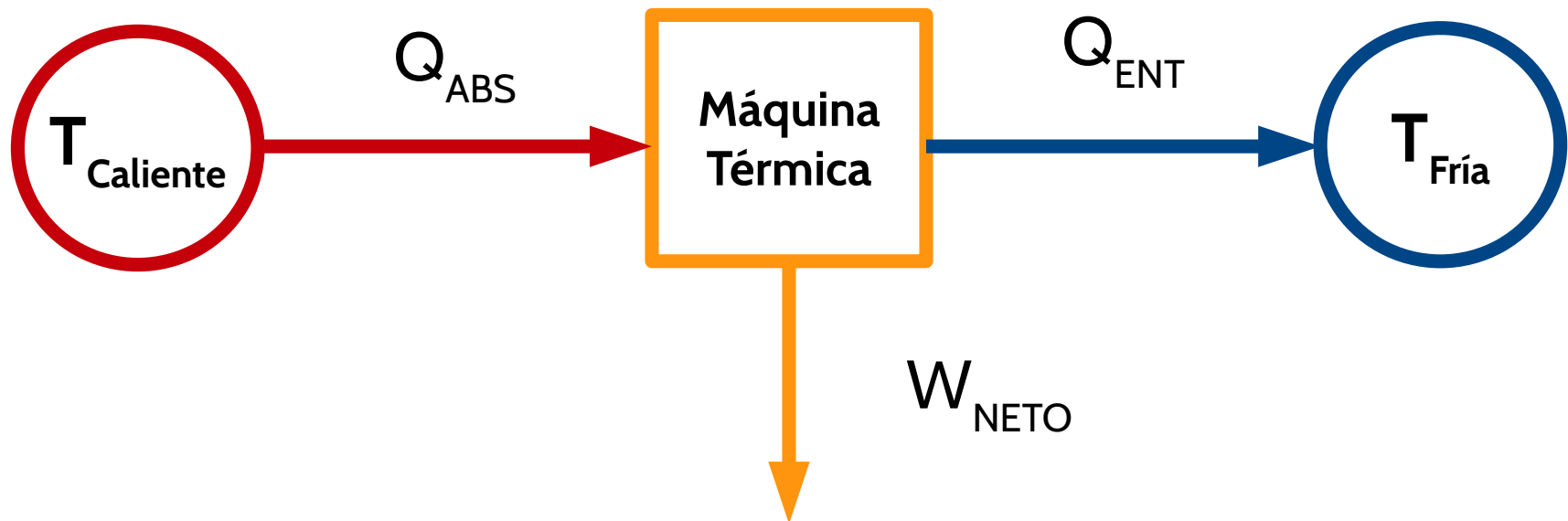


Trabajo asincrónico guía 02

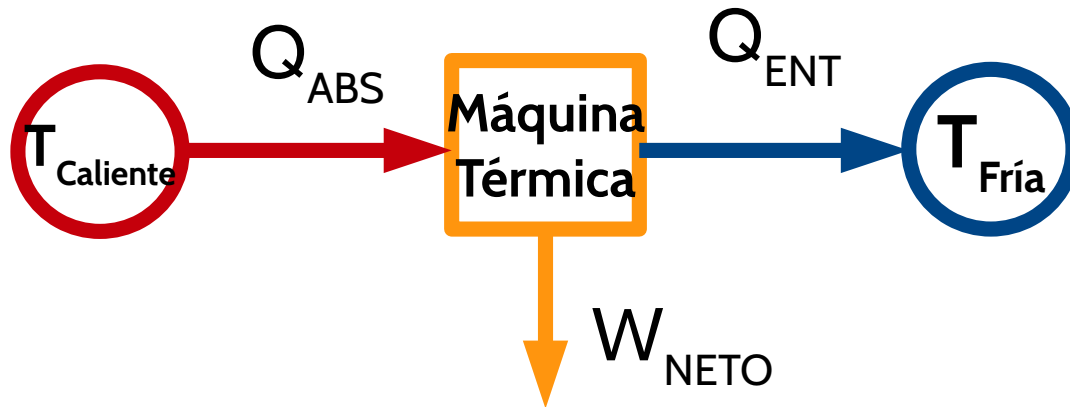
Trabajaremos en forma grupal y asincrónica en la guía 02, ejercicios 23, 24, 27, 28 y 29.

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

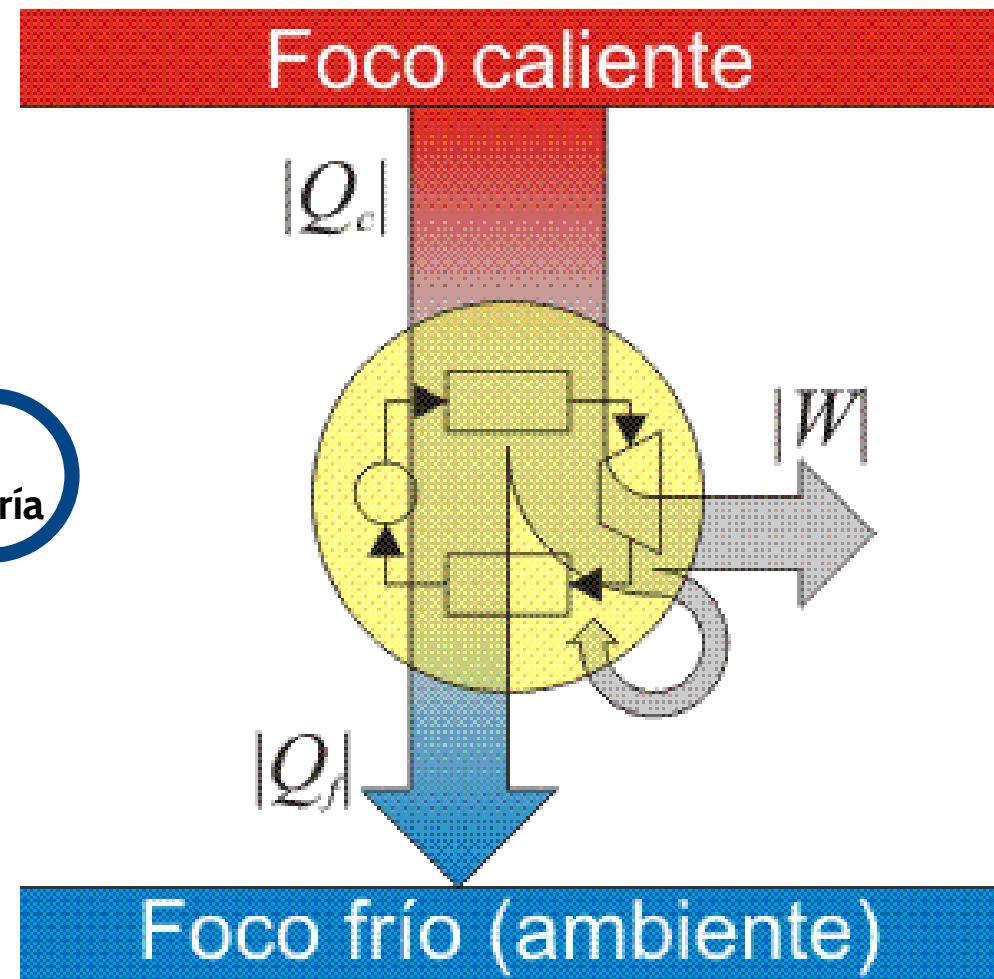
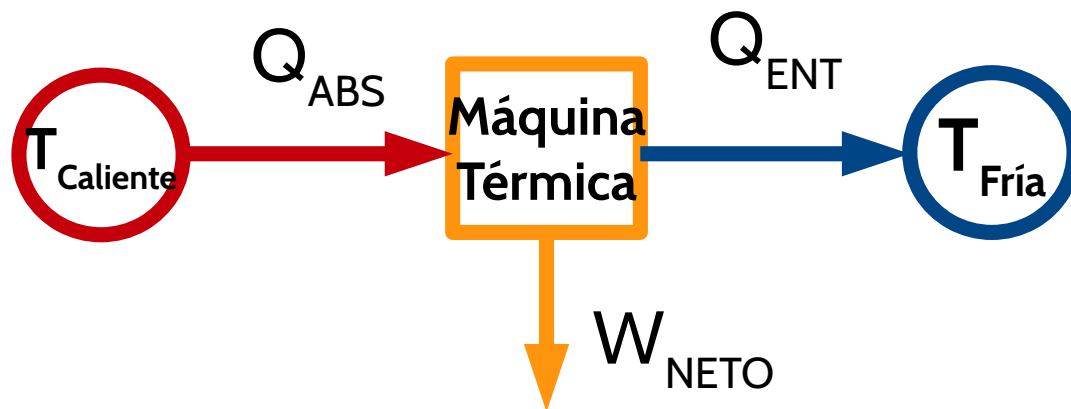


Y según Carnot....

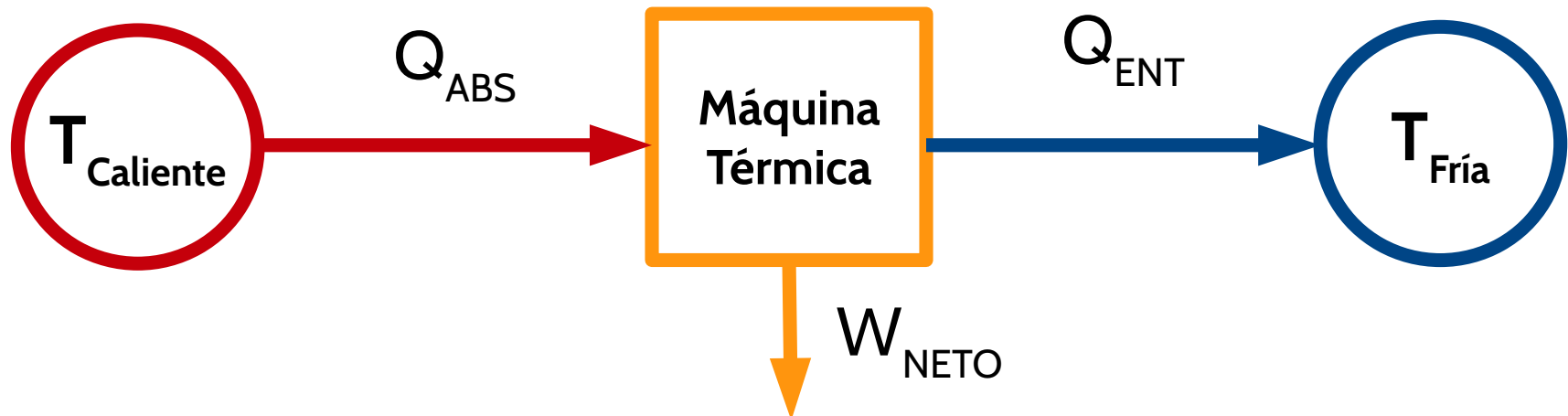


$$\eta = \frac{Q_{\text{ABS}} - Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} = 1 - \frac{Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} \leq 1 - \frac{T_{\text{Fría}}}{T_{\text{Caliente}}}$$

Máquina térmica – un poco más realista

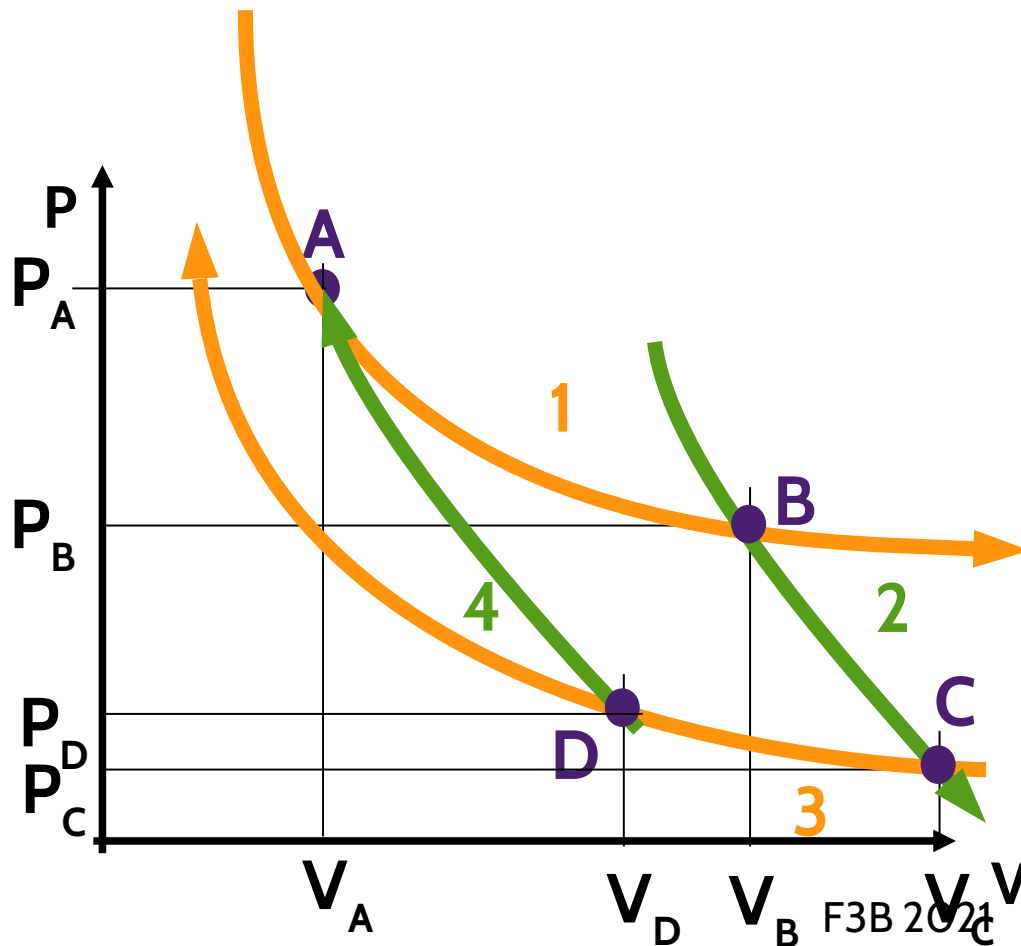


- **Fuente caliente:** cede calor, se enfría
- **Fuente fría:** absorbe calor, se calienta
- La máquina térmica “aprovecha” ese flujo para liberar energía en forma de trabajo mecánico “útil”
- Cuando $T_c = T_f \rightarrow$ no hay flujo de calor \rightarrow **muerte térmica**



Apéndice: rendimiento 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 $Q > 0$)



- 1) Expansión isotérmica
- 2) Expansión adiabática
- 3) Compresión isotérmica
- 4) Compresión adiabática

Eficiencia del ciclo de Carnot

- Primero verifiquemos que a lo largo del ciclo $\Delta U=0$:

$$\Delta U_T = \sum U_i \rightarrow \Delta U_T = \left(\frac{Z}{2}R\right)n(T_C - T_B) + \left(\frac{Z}{2}R\right)n(T_A - T_D)$$
$$\Delta U_T = \left(\frac{Z}{2}R\right)n(T_C - T_B + T_A - T_D)$$

y dado que las transformaciones 1 y 3 son isotérmicas:

$$\Delta U_T = \left(\frac{Z}{2}R\right)n(T_C - T_A + T_A - T_C), \Rightarrow \Delta U_T = 0, \text{ y además}$$

$$W_2 = -W_4$$

Eficiencia del ciclo de Carnot

- ¿cual es la relación entre volúmenes en las adiabáticas?

Adiabática: $pV^\gamma = \text{cte} \rightarrow TV^{\gamma-1} = \text{cte}$

$$T_B V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1} \quad \text{y} \quad T_A V_A^{\gamma-1} = T_D V_D^{\gamma-1}$$

$$\begin{aligned} \frac{T_B V_B^{\gamma-1}}{T_A V_A^{\gamma-1}} &= \frac{T_C V_C^{\gamma-1}}{T_D V_D^{\gamma-1}} \\ \left(\frac{T_B}{T_A} \right) \left(\frac{V_B}{V_A} \right)^{\gamma-1} &= \left(\frac{T_C}{T_D} \right) \left(\frac{V_C}{V_D} \right)^{\gamma-1} \\ \left(\frac{V_B}{V_A} \right)^{\gamma-1} &= \left(\frac{V_C}{V_D} \right)^{\gamma-1} \\ \boxed{\frac{V_B}{V_A} &= \frac{V_C}{V_D}} \end{aligned}$$

Eficiencia del ciclo de Carnot

- Trabajo neto

$$W = \sum W_i = W_1 + W_2 + W_3 + W_4, \text{ y dado que } W_2 = -W_4 \rightarrow W = W_1 + W_3$$

$$W_1 = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) \text{ y } W_3 = nRT_C \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right)$$

$$W = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) + nRT_C \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right)$$

$$W = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) - nRT_C \ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right)$$

$$W = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) - nRT_C \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$$

$$W = nR \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) (T_A - T_C)$$

Eficiencia del ciclo de Carnot

- Calor entregado al sistema (sólo en transformación 1)

$$Q_{>0} = nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$$

- Entonces el rendimiento:

$$\eta = \frac{\sum_i W_i}{\sum_j (Q_j > 0)}$$
$$\eta_{\text{Carnot}} = \frac{nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)(T_A - T_C)}{nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)}$$

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