

FISICA 1 (PALEONTOLOGÍA)

2DO CUATRIMESTRE 2020

CLASE 10

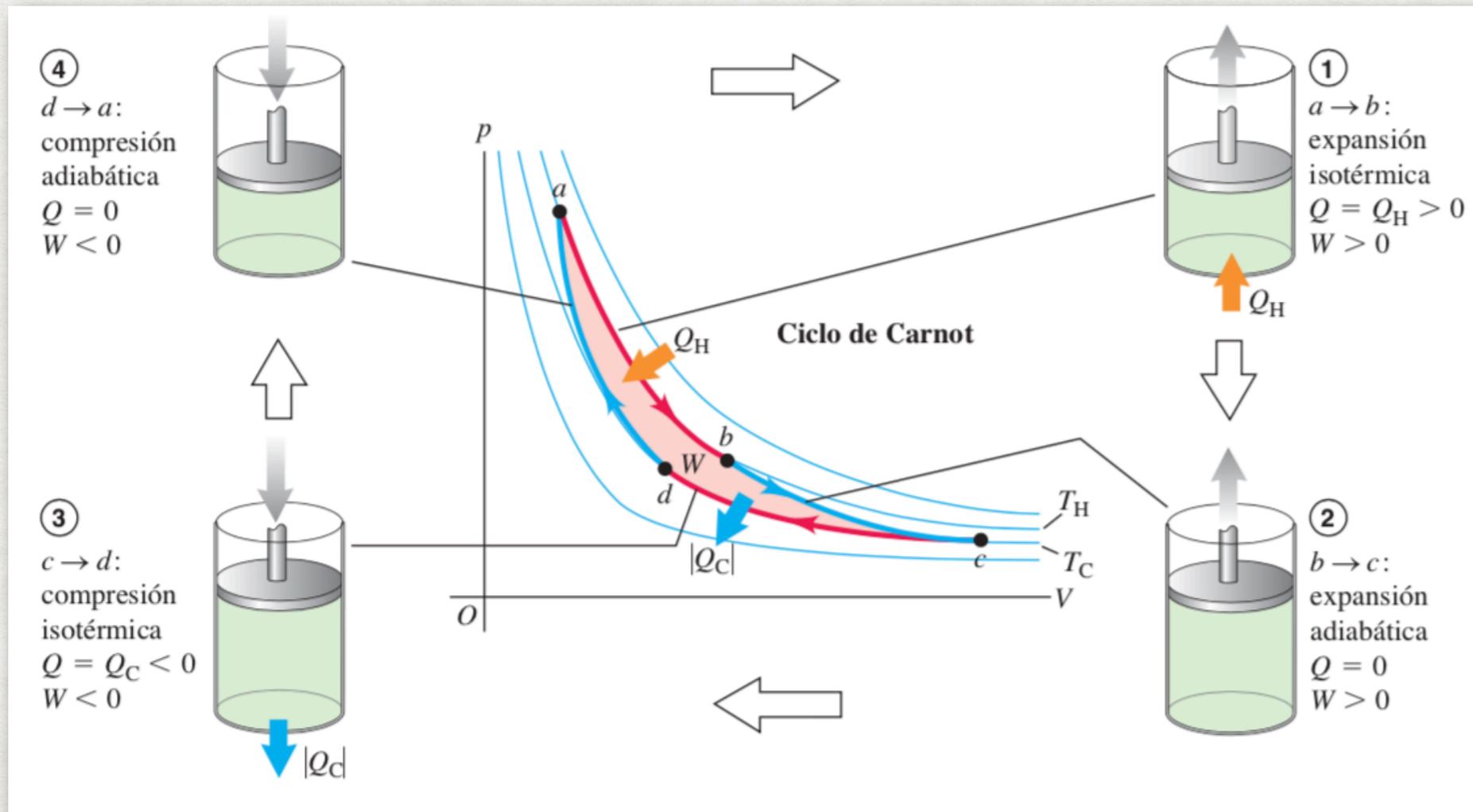
RODOLFO SASSOT

CLASE 10: TERMODINAMICA

Temas: Ciclo de Carnot, escala termodinámica de temperatura.

qué tan eficiente puede ser una máquina térmica? Sadi Carnot (1796-1832)

- ~ciclo idealizado, lo menos irreversible posible
- transferencias de calor isotérmicas
- compresión/expansión adiabáticos



$$pV = nRT_H = cte$$

$$\Delta U = 0 \quad Q_H = W$$

$$Q_H = \int p dV = nRT_H \ln \frac{V_b}{V_a}$$

absorbe calor

$$pV^\gamma = cte$$

$$T_H V_b^{\gamma-1} = cte' = T_C V_c^{\gamma-1}$$

$$Q_C = -nRT_C \ln \frac{V_c}{V_d} \quad \text{entrega calor}$$

CLASE 10: TERMODINAMICA

eficiencia del ciclo de Carnot:

$$e = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H + Q_C}{Q_H} = 1 + \frac{Q_C}{Q_H} \quad \frac{Q_C}{Q_H} = - \frac{n R T_C \ln(V_c/V_d)}{n R T_H \ln(V_b/V_a)} \quad \text{en procesos isotérmicos}$$

$$T_H V_b^{\gamma-1} = T_C V_c^{\gamma-1} \quad \text{en procesos adiabáticos}$$

$$T_H V_a^{\gamma-1} = T_C V_d^{\gamma-1}$$

$$\frac{V_b}{V_a} = \frac{V_c}{V_d}$$

$$e = 1 - \frac{T_C}{T_H} = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

- la eficiencia solo depende de las temperaturas
- la eficiencia crece cuanto mas grande la diferencia
- la eficiencia crece para $T_C \rightarrow 0$ (en Kelvins!)
(imposible!)



CLASE 10: TERMODINAMICA

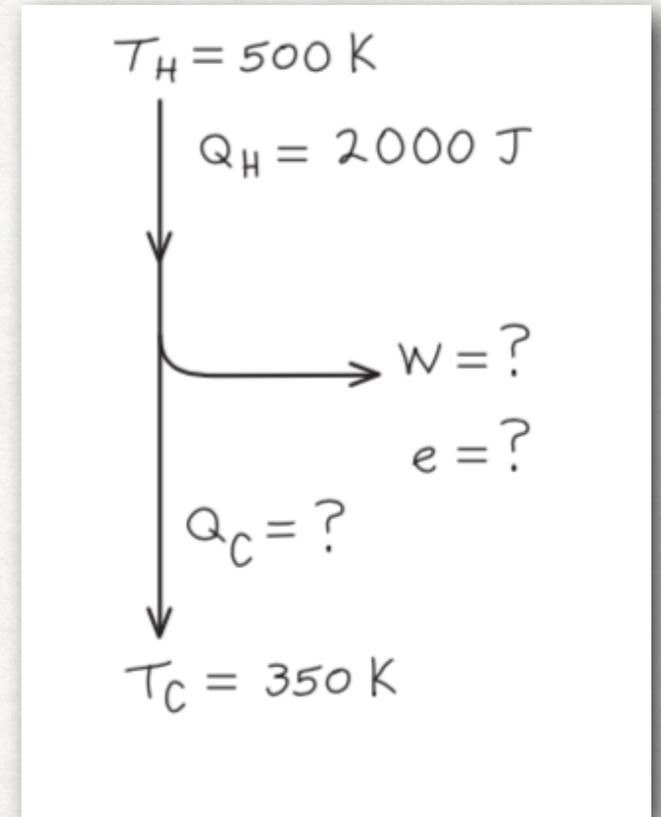
ejemplo de eficiencia del ciclo de Carnot:

una máquina de Carnot toma 2000 J de calor de una fuente caliente a 500 K (227°C) y desecha calor a una fuente fría a 350 K (77°C). $e=?$ $Q_C=?$ $W=?$

$$e = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{350}{500} = 0.3$$

$$e = 1 + \frac{Q_C}{Q_H} \quad 0.3 = 1 + \frac{Q_C}{2000 J} \quad Q_C = -0.7 \cdot 2000 J = -1400 J$$

$$W = Q_C + Q_H = 2000 J - 1400 J = 600 J$$



CLASE 10: TERMODINAMICA

cálculo detallado de un ciclo de Carnot:

0.2 moles de un gas diatómico ideal ($\gamma = 1.4$)

$$p_a = 10 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad V_b = 2 V_a$$

a) $p_i = ? \quad V_i = ?$

b) $Q = ? \quad W = ? \quad \Delta U = ? \quad e = ?$

a) $T_H = 226.85 + 273.15 = 500 \text{ K}$

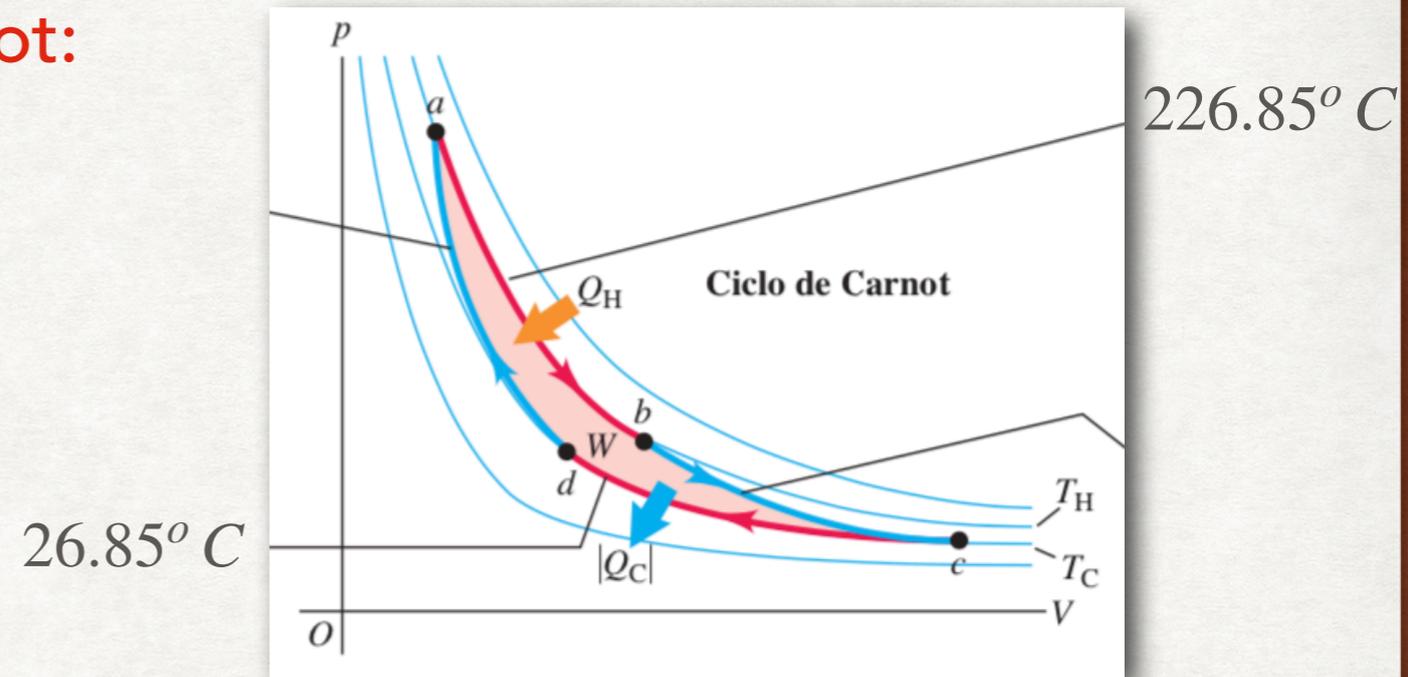
$$T_C = 26.85 + 273.15 = 300 \text{ K}$$

$$V_a = \frac{n R T_H}{p_a} = 8.31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad V_b = 2 V_a = 16.62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$a \rightarrow b \quad p_a V_a = p_b V_b \quad p_b = p_a \frac{1}{2} = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$b \rightarrow c \quad T_H V_b^{\gamma-1} = T_C V_c^{\gamma-1} \quad V_c = 59.6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad p_c = \frac{n R T_C}{V_c} = 0.837 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$d \rightarrow a \quad T_C V_d^{\gamma-1} = T_H V_a^{\gamma-1} \quad V_d = 29.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad p_d = \frac{n R T_C}{V_d} = 1.67 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$



CLASE 10: TERMODINAMICA

cálculo detallado de un ciclo de Carnot:

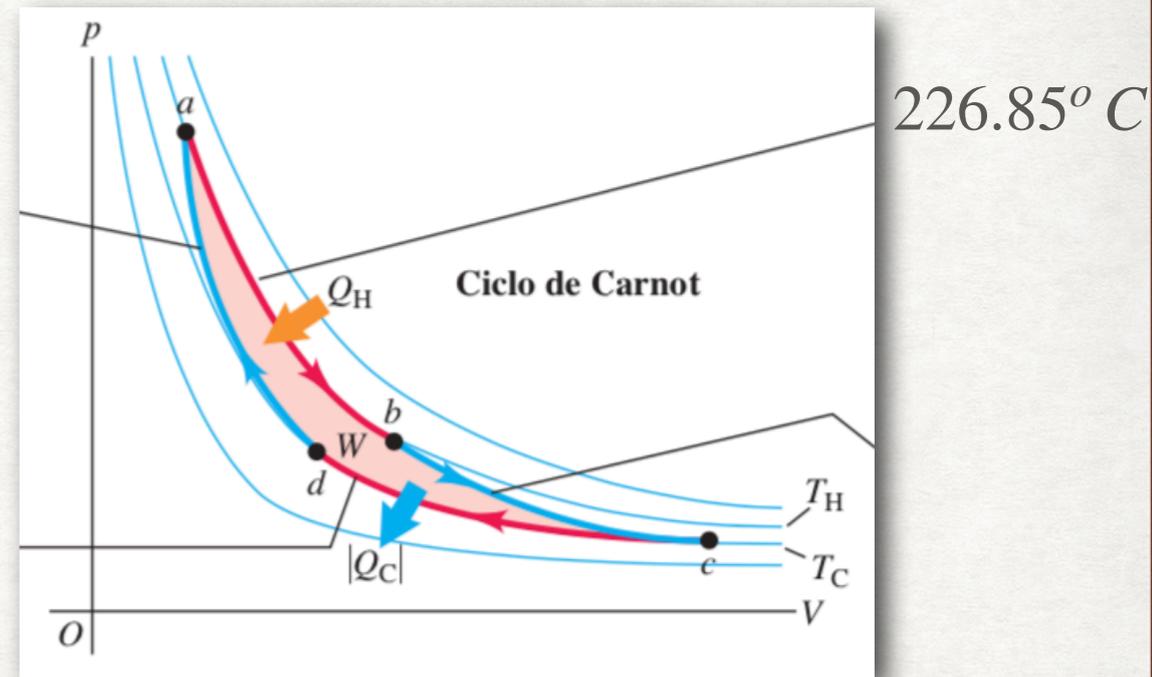
0.2 moles de un gas diatómico ideal ($\gamma = 1.4$)

$$p_a = 10 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad V_b = 2 V_a$$

a) $p_i = ? \quad V_i = ?$

b) $Q = ? \quad W = ? \quad \Delta U = ? \quad e = ?$

26.85° C



b)

$$a \rightarrow b \quad \Delta U_{ab} = 0 \quad W_{ab} = Q_H = n R T_H \ln \frac{V_b}{V_a} = 576 \text{ J}$$

$$b \rightarrow c \quad Q_{bc} = 0 \quad \Delta U_{bc} = -W_{bc} = n C_V (T_C - T_H) = -832 \text{ J}$$

$$c \rightarrow d \quad \Delta U_{cd} = 0 \quad W_{cd} = Q_C = n R T_C \ln \frac{V_d}{V_c} = -346 \text{ J}$$

$$d \rightarrow a \quad Q_{da} = 0 \quad \Delta U_{da} = -W_{da} = n C_V (T_C - T_H) = -832 \text{ J}$$

$$e = \frac{W}{Q_H} = \frac{230 \text{ J}}{576 \text{ J}} = 0.4 = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

	Q	W	ΔU
$a \rightarrow b$	576 J	576 J	0
$b \rightarrow c$	0	832 J	-832 J
$c \rightarrow d$	-346 J	-346 J	0
$d \rightarrow a$	0	-832 J	832 J
Total	230 J	230 J	0



CLASE 10: TERMODINAMICA

refrigerador de Carnot: como cada paso del ciclo es reversible...
todo el ciclo es reversible y podemos pensarlo como refrigerador

$$K = \frac{|Q_C|}{|Q_H| - |Q_C|} = \frac{|Q_C|/|Q_H|}{1 - |Q_C|/|Q_H|} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad \text{coeficiente de rendimiento}$$

~si $T_H - T_C$ es pequeña, bombea mucho calor con poco trabajo

un refrigerador extrae calor $Q_C = 1400 \text{ J}$ de la fuente fría a $T_C = 350 \text{ K}$

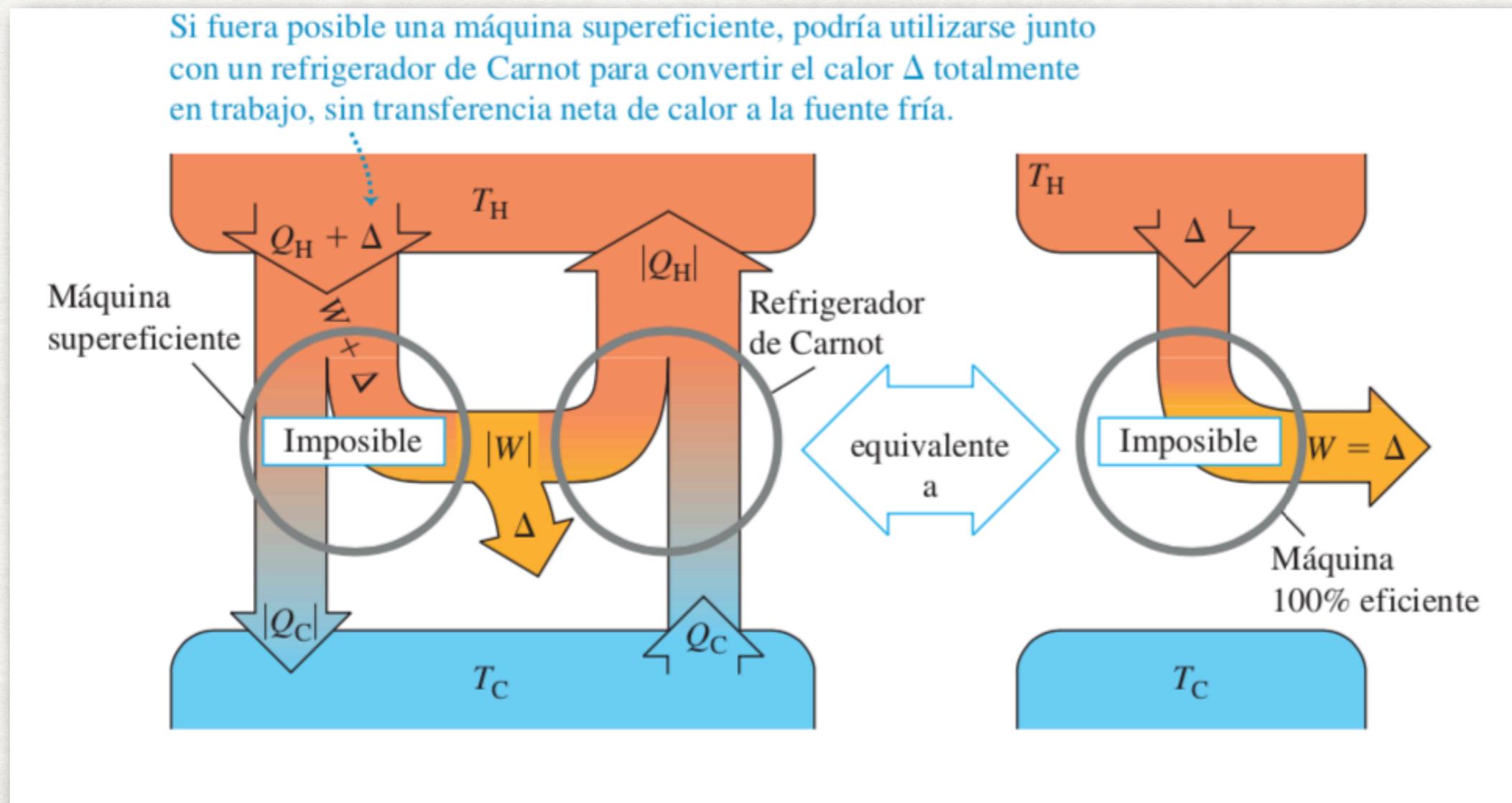
y requiere un aporte de trabajo $W = -600 \text{ J}$ para entregarlo a $T_H = 500 \text{ K}$

$$K = \frac{1400 \text{ J}}{600 \text{ J}} = \frac{350 \text{ K}}{(500 - 350) \text{ K}} = 2.33$$

CLASE 10: TERMODINAMICA

ciclo de Carnot y segunda ley: ninguna maquina puede ser más eficiente que una de Carnot (operando entre las mismas temperaturas)

~clave en la reversibilidad: supongamos que pudiera



~otra formulación de la segunda ley

CLASE 10: TERMODINAMICA

escala termodinámica de temperatura:

la eficiencia de una máquina reversible (de Carnot) es independiente de la sustancia de trabajo

~ solo depende de las temperaturas entre las que trabaja

~ y por definición se puede expresar en términos del calor intercambiado

$$e = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 + \frac{Q_C}{Q_H} \quad \rightarrow \quad \frac{T_C}{T_H} = \frac{|Q_C|}{|Q_H|} \quad \rightarrow \quad \text{define una escala de temperatura (Kelvin)}$$

y definiendo que en esta escala la temperatura del punto triple es 273.16 K

$$T = 273.16 K \frac{|Q|}{|Q_{tr}|} \quad \rightarrow \quad \text{coincide con la del termómetro de gas ideal a } V=\text{cte}$$

$$e = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad T_2 \text{ no puede ser negativa, el cero de esta escala es el cero absoluto}$$