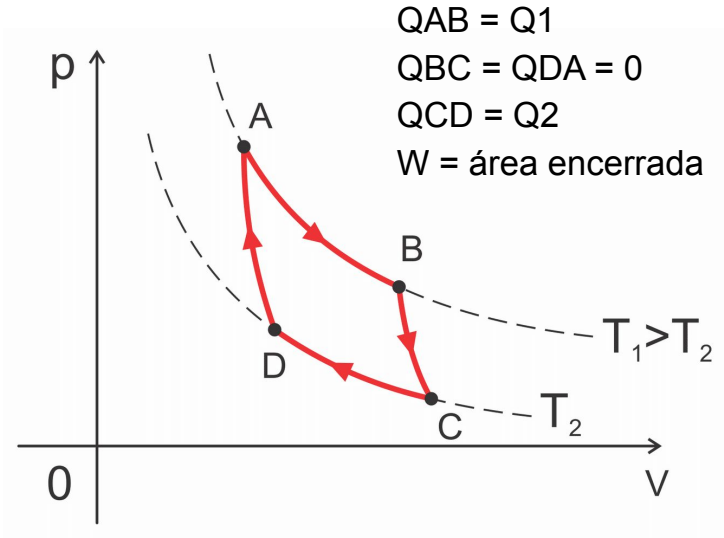
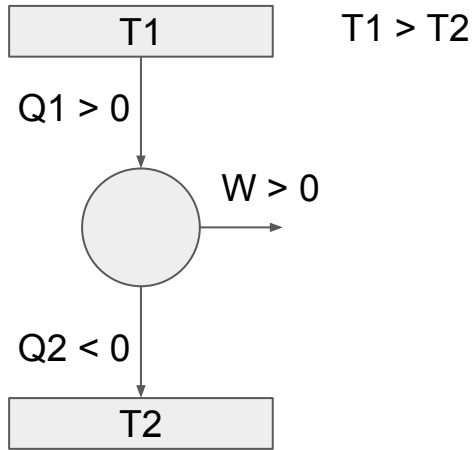


Máquinas térmicas

Mecánica y Termodinámica
Pablo Etchemendy
26 de junio de 2024

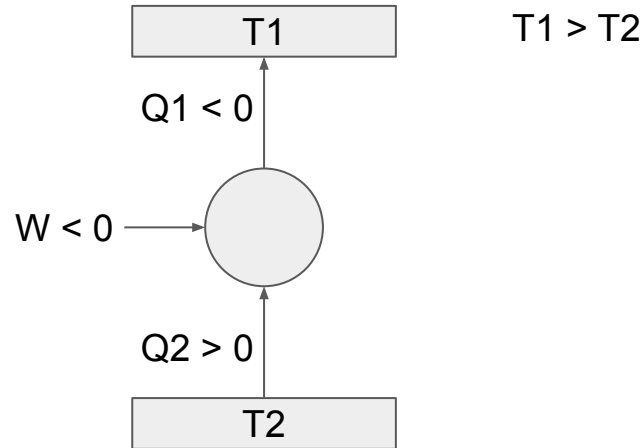
Ciclo de Carnot



POV:

- Q's: calor absorbido por la máquina
- W: trabajo entregado por la máquina

Ciclo inverso



POV:

- Q 's: calor absorbido por la máquina
- W : trabajo entregado por la máquina

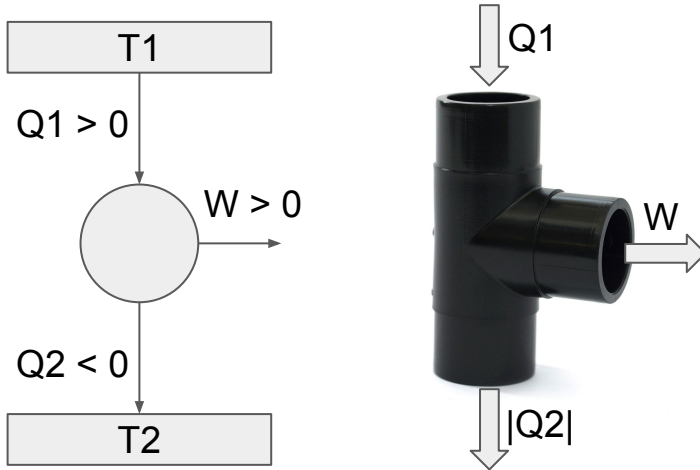
Primera ley

$$\Delta U = Q_1 + Q_2 - W = 0$$

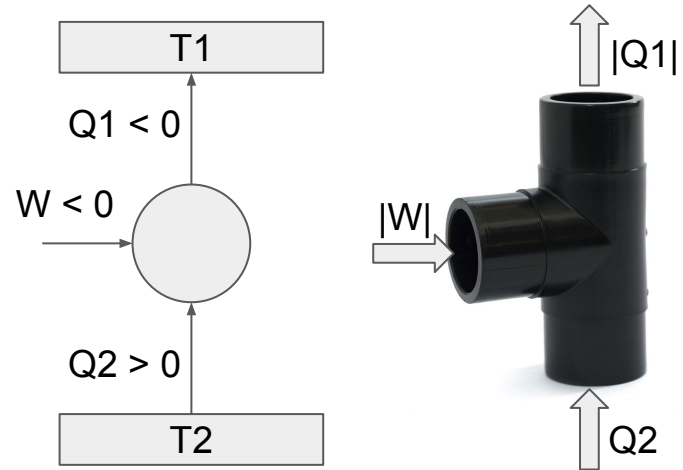
$$Q_1 = W - Q_2$$

(Recordar que estamos en un ciclo)

$$Q_1 = W + |Q_2|$$

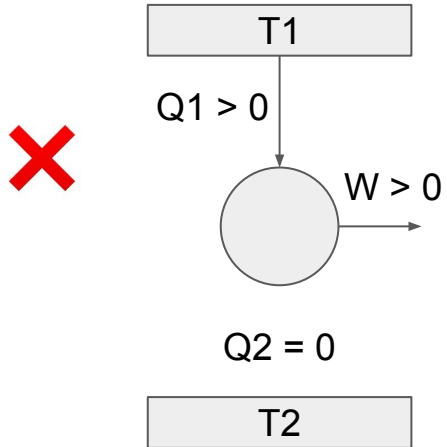


$$|Q_1| = |W| + Q_2$$

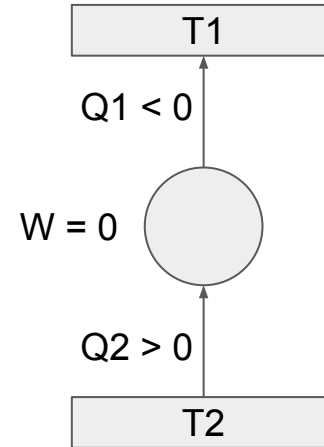


Segunda ley

Kelvin-Planck



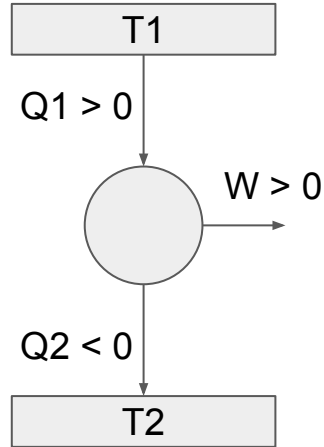
Clausius





*“Esta máquina de movimiento perpetuo
no sirve, va cada vez más rápido”*

Desigualdad de Clausius



En un ciclo:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$

POV:

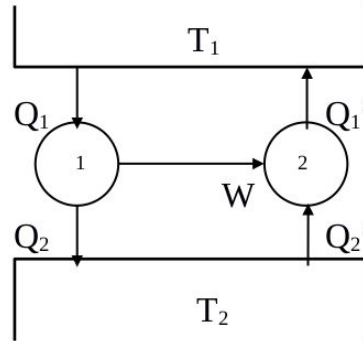
- Q's: calor absorbido por la máquina
- W: trabajo entregado por la máquina

Desigualdad de Clausius (caso reversible)

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{T_1}{T_2} = -\frac{Q_1}{Q_2}$$

6. Dos máquinas operan tal como lo indica el gráfico. Se sabe que la temperatura de la fuente caliente es de 600°K , que la máquina 1 es reversible y absorbe 300kcal cediendo 100kcal , y la máquina 2 absorbe 50kcal de la fuente 2.

- a) Calcule la temperatura de la fuente fría.
b) ¿Cuál es la eficiencia de ambas máquinas?
c) ¿Es la máquina 2 reversible? ¿Por qué?



$$T_1 = 600 \text{ K}$$

$$T_2 = ?$$

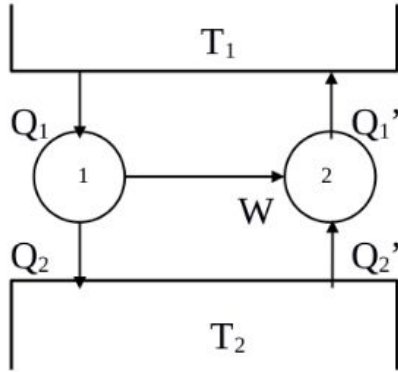
$$M_1 = \text{reversible}$$

$$M_2 = ?$$

$$Q_1 = 300 \text{ kcal}$$

$$Q_2 = -100 \text{ kcal}$$

$$Q_2' = 50 \text{ kcal}$$



a) Hallar T2: Uso Clausius

$$\frac{T_1}{T_2} = -\frac{Q_1}{Q_2} \Rightarrow T_2 = -\frac{Q_2}{Q_1} T_1$$

$$T_2 = \frac{1}{3} \times 600K = 200K$$

$$T_1 = 600 \text{ K}$$

$$T_2 = ?$$

$$M_1 = \text{reversible}$$

$$M_2 = ?$$

$$Q_1 = 300 \text{ kcal}$$

$$Q_2 = -100 \text{ kcal}$$

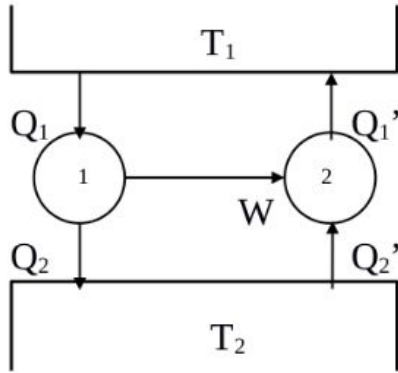
$$Q_2' = 50 \text{ kcal}$$

Camino alternativo (cadena de razonamientos):

- Hallar eficiencia(*)
- Despejar T2 de la expresión de la eficiencia reversible

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

(*) Para hallar la eficiencia, necesito W; para hallar W uso la primera ley.



$T_1 = 600 \text{ K}$
 $T_2 = 200 \text{ K}$

M1 = reversible
 M2 = ?

$Q_1 = 300 \text{ kcal}$
 $Q_2 = -100 \text{ kcal}$
 $Q_2' = 50 \text{ kcal}$

b) Hallar eficiencia

Máq 1: $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \text{Ef} = 1 - \frac{1}{3} = \frac{2}{3}$

Máq 2: $\eta_E = -\frac{Q_2}{W} \Rightarrow \text{Necesito } W$

"E" de enfriamiento

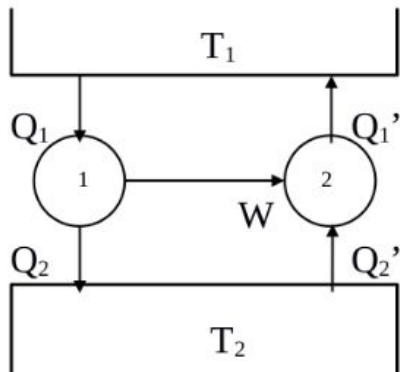
Aplico 1era ley a la máq 1:

$$Q_1 + Q_2 = W = 300 \text{ kcal} - 100 \text{ kcal}$$

$$W = 200 \text{ kcal}$$

Luego:

- $W' = -200 \text{ kcal}$
- $\text{Ef} = 50/200 = \frac{1}{4}$



c) ¿Es la máquina 2 reversible?

Clausius:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$

Q1', Q2'

Hallo Q1' mediante primera ley:

$$Q_1' = W' - Q_2' = -200 \text{ kcal} - 50 \text{ kcal} = -250 \text{ kcal}$$

Luego:

- $Q_1' / T_1 = -250 / 600 \text{ kcal/K} = -5/12 \text{ kcal / K}$
- $Q_2' / T_2 = 50 / 200 \text{ kcal/K} = 1/4 \text{ kcal / K}$

$$Q_1' / T_1 + Q_2' / T_2 = (1/4 - 5/12) \text{ kcal / K} < 0$$

Camino alternativo: comparar con la eficiencia reversible

$$T_1 = 600 \text{ K}$$

$$T_2 = 200 \text{ K}$$

M1 = reversible

M2 = ?

$$Q_1 = 300 \text{ kcal}$$

$$Q_2 = -100 \text{ kcal}$$




$$Q_2' = 50 \text{ kcal}$$

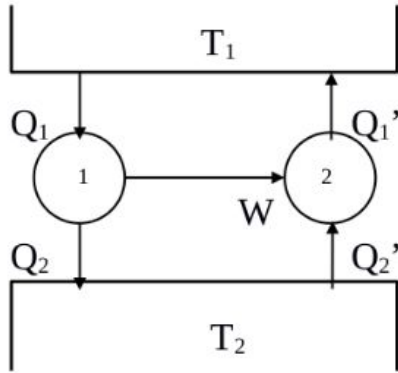
Entropía

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

- Calor intercambiado a cierta temperatura
- Unidades: [calor]/[temp], por ej., kcal / K
- POV: el de la sustancia considerada

$$\Delta S_{\text{U}} = \sum_i \frac{Q_i}{T_i} = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_{\text{M}}$$

Universo  Reservorios 1 y 2  Máquina 



$$T_1 = 600 \text{ K}$$

$$T_2 = 200 \text{ K}$$

$$Q_1 = 300 \text{ kcal}$$

$$Q_2 = -100 \text{ kcal}$$

$$Q_1' = -250 \text{ kcal}$$

$$Q_2' = 50 \text{ kcal}$$

d) Bonus: entropía

$$\Delta S_1 = -(Q_1 + Q_1') / T_1$$

$$= -50 \text{ kcal} / 600 \text{ K} = -1/12 \text{ kcal/K}$$

$$\Delta S_2 = -(Q_2 + Q_2') / T_2$$

$$= 50 \text{ kcal} / 200 \text{ K} = 1/4 \text{ kcal/K}$$

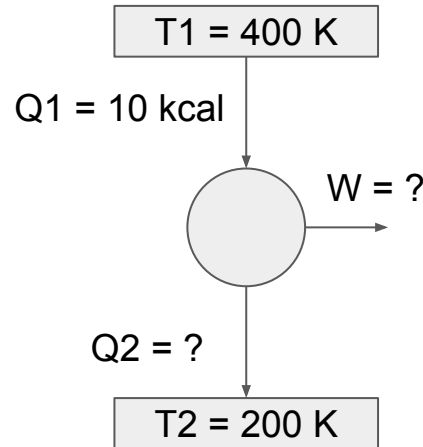
$$\Delta S_{M1} = \Delta S_{M2} = 0 \text{ (función de estado)}$$

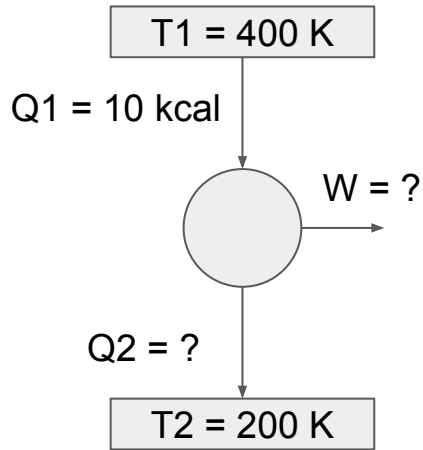
$$\Delta S_U = (1/4 - 1/12) \text{ kcal/K} > 0$$

Chequear:

- ΔS debido a la acción de la máq 1 = 0
- ΔS debido a la acción de la máq 2 = ΔS_U

13. Una máquina térmica trabaja entre $T_1 = 400^\circ\text{K}$ y $T_2 = 200^\circ\text{K}$, extrayendo en cada ciclo 10kcal de la fuente 1. La eficiencia de la máquina es un 40% de la máxima posible para dicho par de temperaturas. Calcule:
- a) El trabajo por ciclo.
 - b) El calor entregado a la fuente de calor 2, por ciclo.
 - c) Las variaciones de entropía por ciclo de la sustancia que trabaja en la máquina, de la fuente 1, de la fuente 2 y del universo.
 - d) Idem a), b) y c), pero para la máquina que tiene la eficiencia máxima posible trabajando entre las temperaturas T_1 y T_2 .





a) Hallar W

Calculo ef. máxima posible

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \text{Ef.} = 1 - \frac{1}{2} = 0.5$$

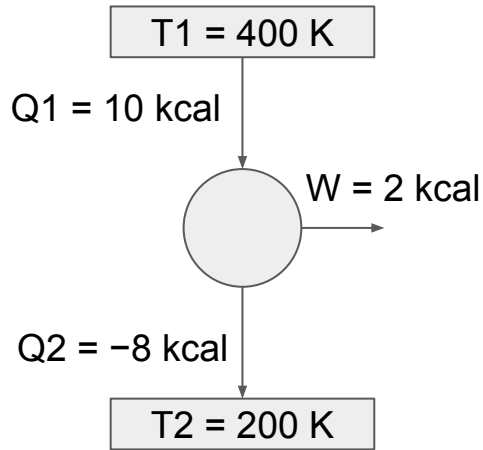
Luego, ef. real = $0.5 \times 0.4 = 0.2$

$$\eta^* = \frac{W}{Q_1} \Rightarrow W = 0.2 \times 10 \text{ kcal} = 2 \text{ kcal}$$

b) Hallar Q2

Uso la 1era ley: $Q_1 + Q_2 = W$

$$Q_2 = W - Q_1 = 2 - 10 \text{ kcal} = -8 \text{ kcal}$$



c) Variación de entropía

$$\Delta S_{M1} = 0 \text{ (función de estado)}$$

$$\Delta S_{R1} = -10 \text{ kcal} / 400\text{K} = -0.025 \text{ kcal} / \text{K} < 0$$

$$\Delta S_{R2} = -(-8) \text{ kcal} / 200\text{K} = 0.04 \text{ kcal} / \text{K} > 0$$

$$\begin{aligned} \Delta S_U &= \Delta S_{R1} + \Delta S_{R2} = (0.04 - 0.025) \text{ kcal} / \text{K} \\ &= 0.015 \text{ kcal} / \text{K} > 0 \end{aligned}$$

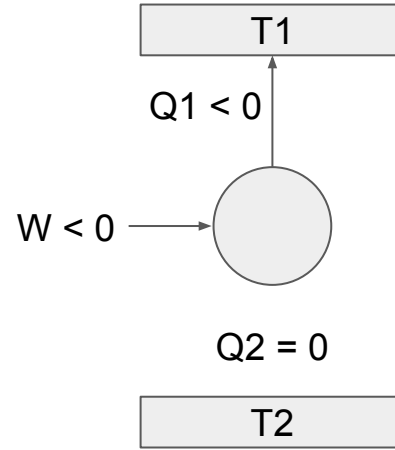
(esperable dado que es irreversible)

d) Variación de entropía (caso reversible)

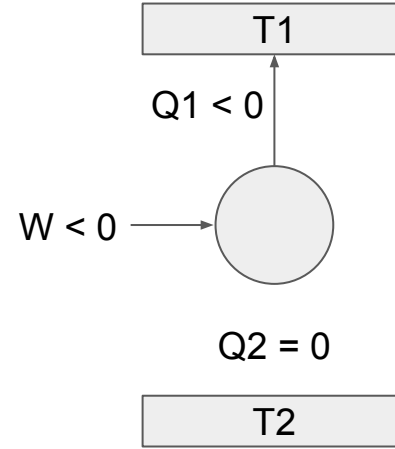
$$\Delta S_U = 0 = \Delta S_{R1} + \Delta S_{R2}$$

Bonus track





Todo el trabajo consumido se transforma en calor:



Todo el trabajo consumido se transforma en calor: $\eta_C = \frac{Q1}{W} = 1$

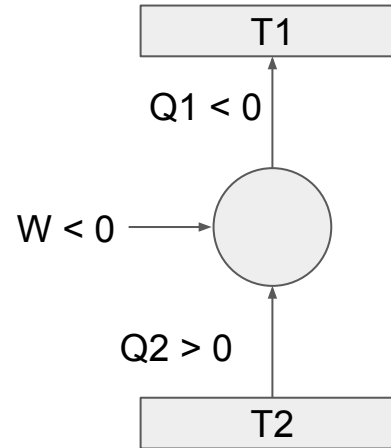
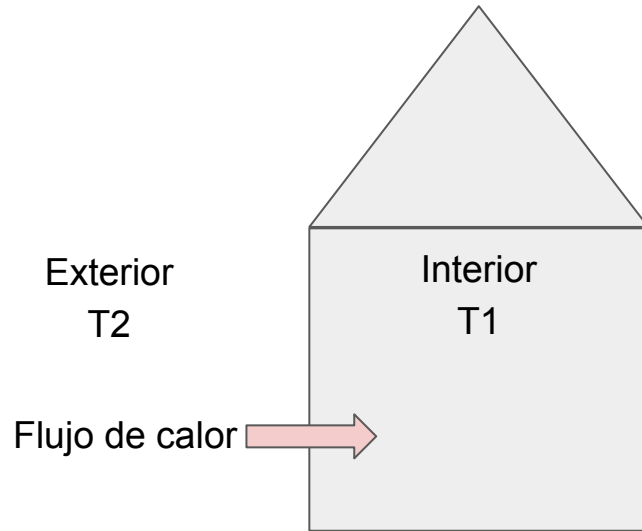
η_C "C" de calentamiento

¿Puedo mejorar la eficiencia?

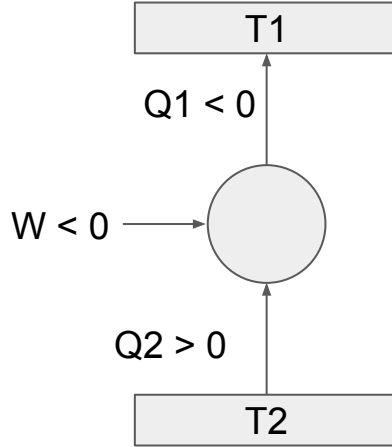
¿Puedo usar una máquina “refrigeradora” para calentar?

¿Puedo mejorar la eficiencia?

¿Puedo usar una máquina “refrigeradora” para calentar?



La eficiencia es superior



Por 1era ley, $|Q1| > |W|$

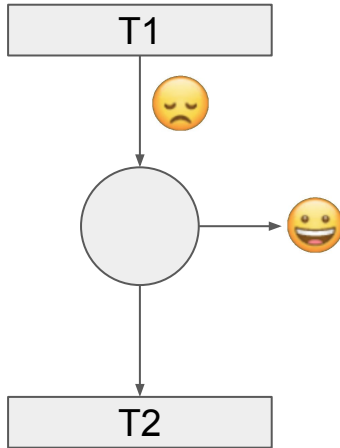
Luego:

$$\eta_C = \frac{Q1}{W} > 1$$

- Puedo calefaccionar ahorrando energía
- Parte del calor obtenido proviene de calor extraído del reservorio frío

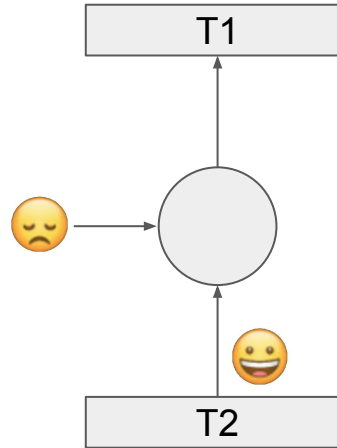
Generadora

Quiero generar W

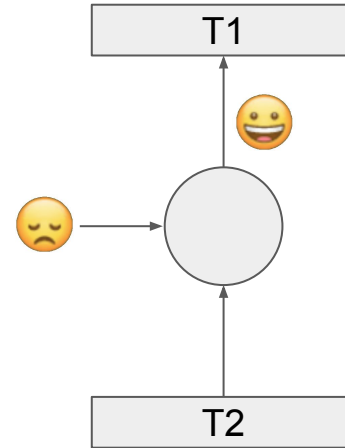


Refrigeradoras

Quiero extraer calor de R2



Quiero llevar calor a R1

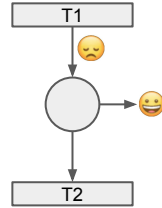


Quiero obtener lo más posible

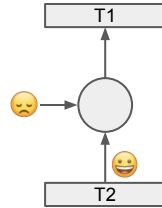


Quiero consumir lo menos posible

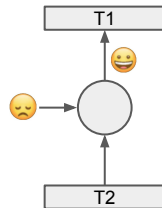
Eficiencia



$$\eta = \frac{W}{Q_1} \leq_{\text{rev}} 1 - \frac{T_2}{T_1}$$



$$\eta_E = -\frac{Q_2}{W} \leq_{\text{rev}} \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$



$$\eta_C = \frac{Q_1}{W} \leq_{\text{rev}} \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$