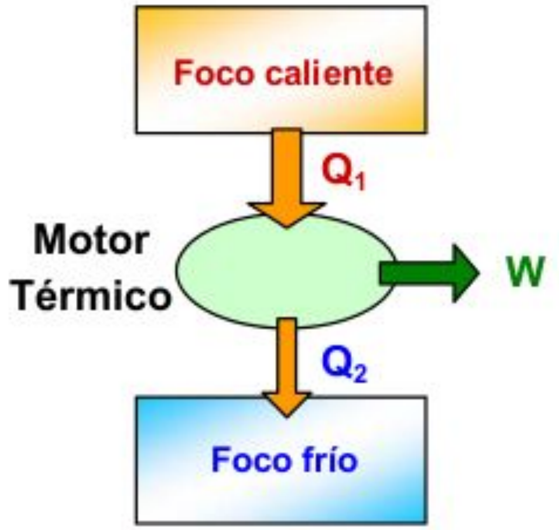
Segunda Ley de la Termodinámica

MÁQUINAS TÉRMICAS

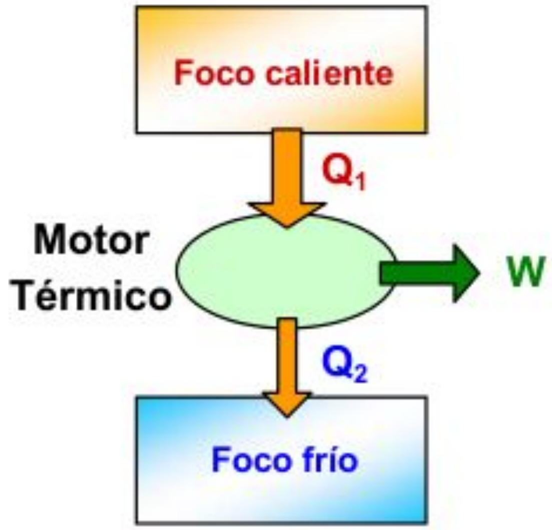
Dispositivo que, funcionando en un ciclo, transforma energía térmica en trabajo.

Ejem. motor de un automóvil: toma energía térmica al quemar un combustible para realizar trabajo sobre los pistones que luego moverán el vehículo.



Una sustancia se lleva a través de un ciclo de trabajo:

1) La sustancia absorbe energía de un depósito caliente (Foco Caliente)
2) La máquina ejerce trabajo
3) Se expulsa una parte de la energía en forma de calor a un depósito frío (Foco Frío)



Dado que se cumple un ciclo:

$$\Delta U=0 \Rightarrow Q-W=0 \Rightarrow W=Q$$

Eficiencia de la máquina:

$$\Delta U = 0 \Rightarrow Q\text{-}W = 0 \Rightarrow W = Q$$

Wmaq = Qneto

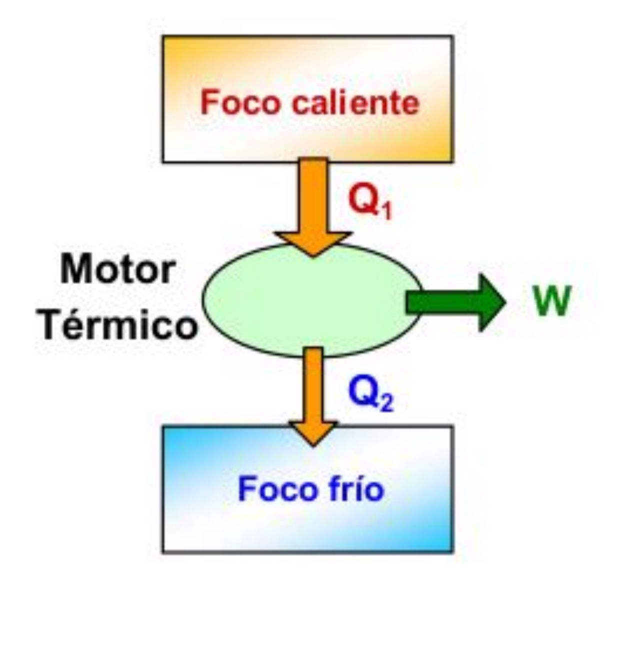
$$Wmaq = |Q_1| - |Q_2|$$

eficiencia = obtenido/consumido

$$\mathbf{e = Wmaq/Q_1}$$

$$e = (|Q_1|-|Q_2|)/Q_1$$

$$\mathbf{e = 1 - (|Q_2|/|Q_1|)}$$



Toda máquina térmica expulsa como trabajo una fracción de la energía ingresada en forma de calor, entonces la EFICIENCIA nunca será del 100%, será siempre menor:

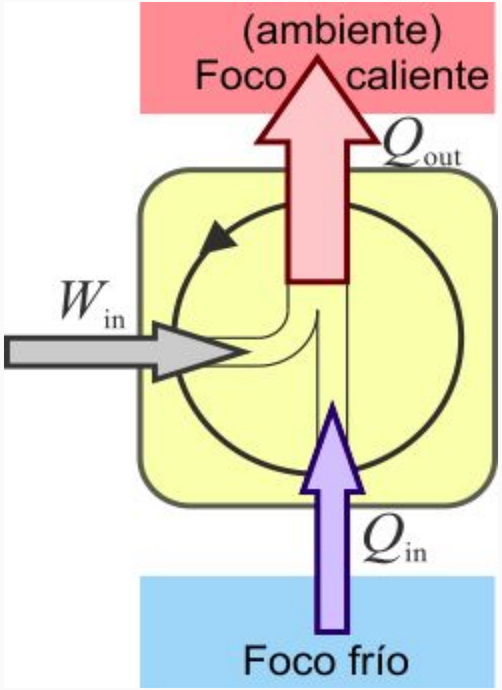
$e < 100\%$

Enunciado de Kelvin-Planck:

"Es imposible construir una máquina térmica que, funcionando en un ciclo, no produzca otro efecto que la entrada de energía por calor y la realización de una cantidad igual de trabajo"

Esto implica que: $W < Q_1 \Rightarrow e < 100\%$

Bombas de calor

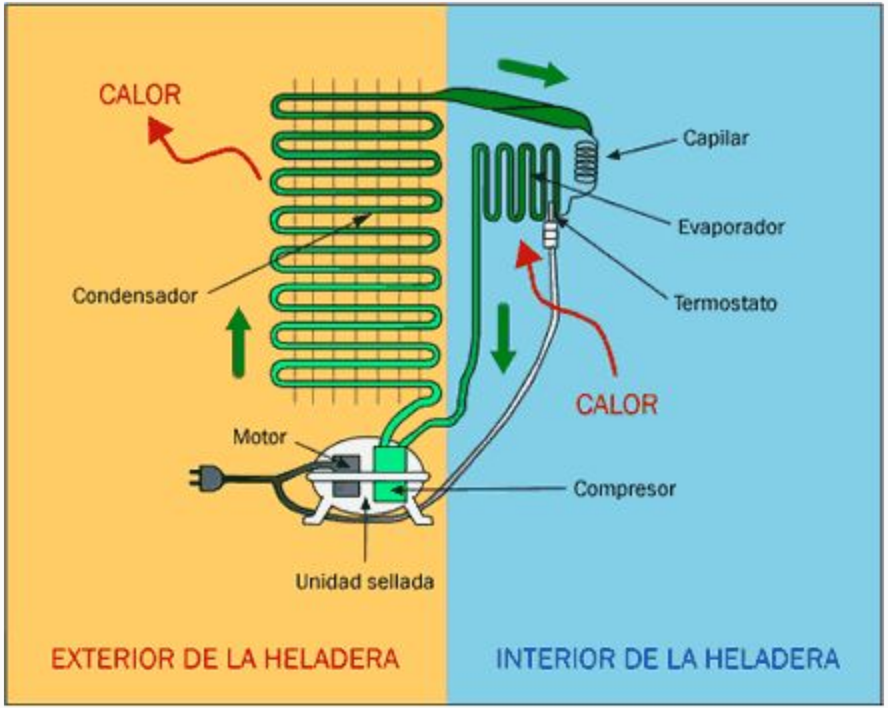


Un Refrigerador o un aparato de Aire Acondicionado son ejemplos de Bombas de Calor.

Lo que hacen estos dispositivos es mantener constante la temperatura del interior de una cámara o habitación, expulsado de forma continua el calor que va entrando.

Dado que se quiere transferir energía térmica desde un depósito frío hacia uno caliente y esto va en contra del sentido natural de transferencia de energía, se debe "agregar" energía para lograrlo ⇒ **se realiza trabajo sobre la máquina**.

Un fluído circula por dos serpentines metálicos que intercambian energía con los alrededores: El fluído es frío y a baja presión cuando pasa por los serpentines ubicados en el ambiente frío. Allí absorbe energía por calor (por ejemplo de un alimento que recién se guarda en la heladera) y el fluído caliente resultante se comprime y entra a los otros serpentines caliente y a alta presión. Allí libera su energía almacenada a los alrededores calientes.



Coeficiente de operatividad: COP

- Bomba de calor en modo enfriamiento:

Lo que se busca es remover energía por calor para enfríar el recinto. Entonces:

$$COP = |Q_2|/W$$

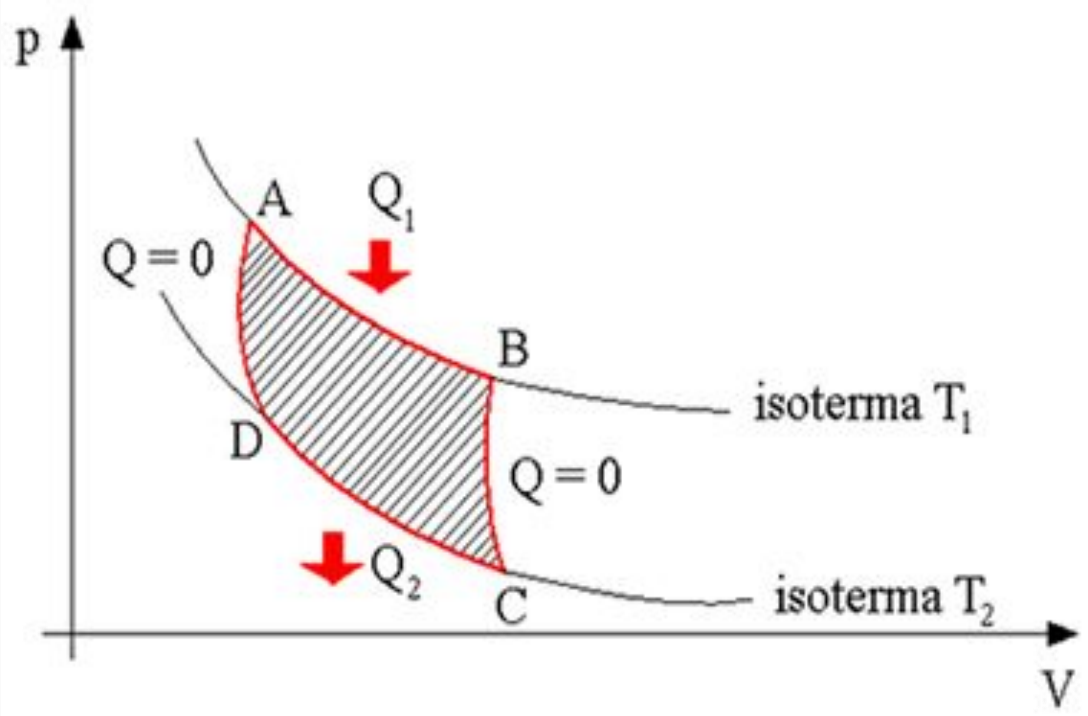
- Bomba de calor en modo calentamiento:

Lo que se busca es calefaccionar un recinto, es decir, aprovechar la energía transferida al depósito caliente:

$$COP = |Q_1|/W$$

MÁQUINA DE CARNOT

Una máquina térmica que funciona en este ciclo reversible ideal llamado ciclo de Carnot, **es la máquina más eficiente posible entre dos depósitos de energía dados**.



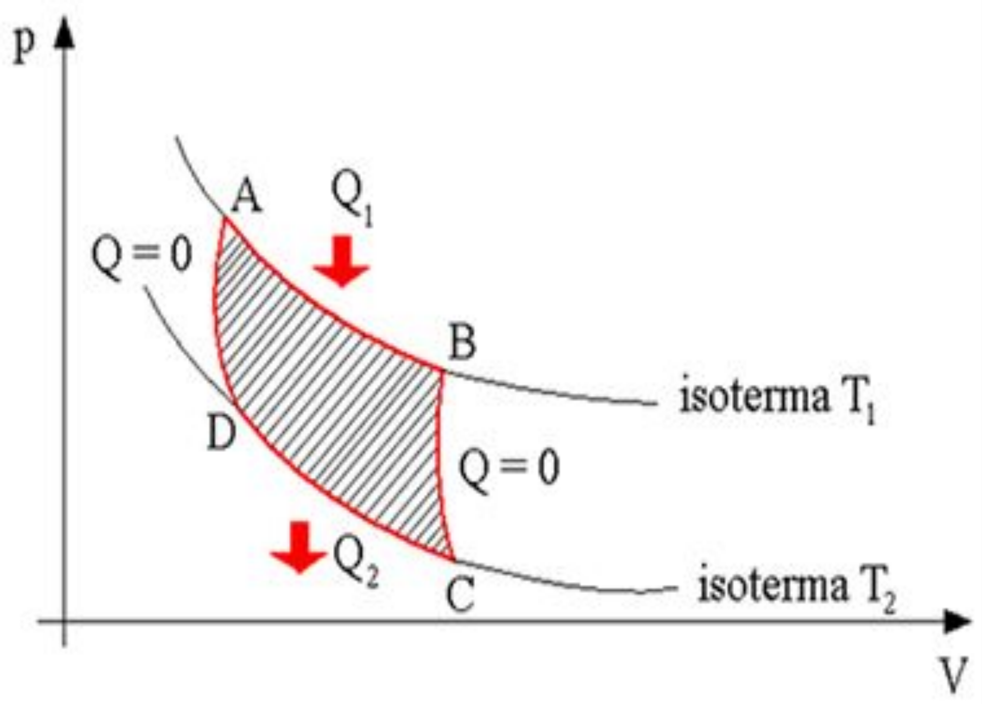
Teorema de Carnot:

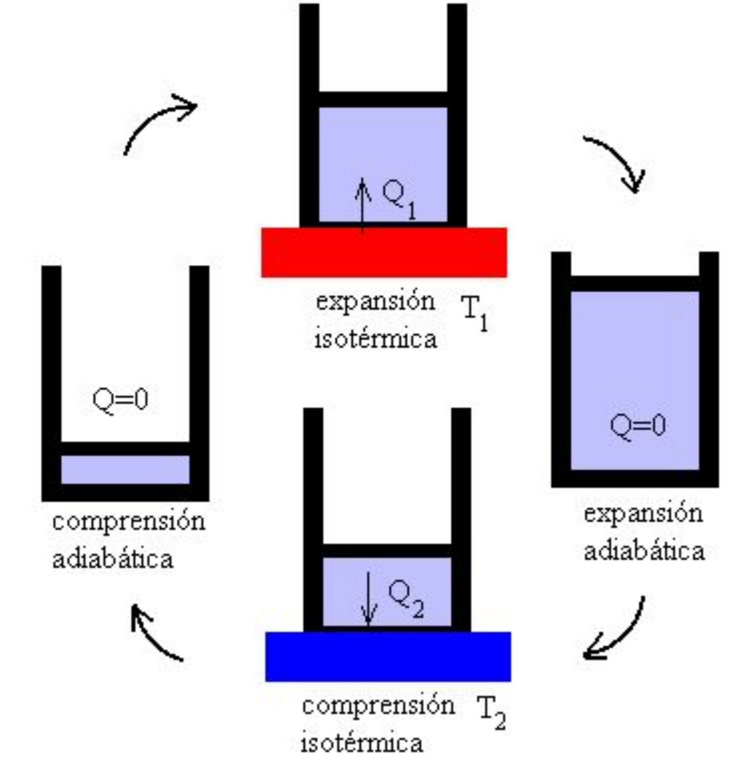
"Ninguna máquina térmica que funcione entre dos depósitos de energía puede ser más eficiente que una máquina de Carnot que funcione entre esos mismos dos depósitos"

Todas las máquinas reales son menos eficientes que la máquina de Carnot porque:

- no funcionan bajo un ciclo reversible
- fricción
- pérdidas de energía por conducción

Etapas del ciclo de Carnot:





Eficiencia de la máquina de Carnot: e_c

$$\mathbf{e = Wmaq/|Q_1| \Rightarrow e = 1 - (|Q_2|/|Q_1|)}$$

Trabajamos con las etapas isotérmicas:

$A \rightarrow B$

$|Q_1| = |\Delta U + W_{AB}|$

$|Q_1| = |0 + W_{AB}|$

$|Q_1| = |n.R.T_1.Ln(V_B/V_A)|$

$\mathbf{|Q_1| = n.R.T_1.Ln(V_B/V_A)}$

$C \rightarrow D$

$|Q_2| = |\Delta U + W_{CD}|$

$|Q_2| = |0 + W_{CD}|$

$|Q_2| = |n.R.T_2.Ln(V_D/V_C)|$

$\mathbf{|Q_2| = n.R.T_2.Ln(V_C/V_D)}$

$$|Q_2| / |Q1| = [n.R.T_2.Ln(V_C/V_D)] / [n.R.T_1.Ln(V_B/V_A)]$$

$$|Q_2| / |Q1| = [T_2.Ln(V_C/V_D)] / [T_1.Ln(V_B/V_A)]$$

Ahora trabajamos con las etapas adiabáticas: B→C y D→A

$$T_1.V_B^{\gamma-1} = T_2.V_C^{\gamma-1}$$

$$T_1.V_A^{\gamma-1} = T_2.V_D^{\gamma-1}$$

Dividiendo una expresión por la otra:

$$(V_B/V_A)^{\gamma-1} = (V_C/V_D)^{\gamma-1} \quad \Rightarrow \quad V_B/V_A = V_C/V_D$$

Entonces:

$$|Q_2|/|Q1| = [T_2.Ln(V_C/V_D)] / [T_1.Ln(V_B/V_A)]$$

$$|Q_2|/|Q1| = T_2/T_1$$

$$|Q_2|/|Q1| = T_{\text{dep. frío}}/T_{\text{dep. caliente}}$$

$$e = 1 - (|Q_2|/|Q_1|) \longrightarrow \boldsymbol{e_c = 1 - (T_{\text{dep. frío}}/T_{\text{dep. caliente}})}$$

Observaciones:

1) La eficiencia sería 0 (cero) cuando $T_C = T_F$
2) La eficiencia aumenta cuando la T_F baja y la T_C sube.
3) En la mayoría de los casos la T_F es la T ambiente (aprox. 300K), entonces se busca aumentar la eficiencia elevando la T_C
4) La eficiencia sería 1 (100%) si T_F = oK, lo ⇒ IMPOSIBLE !!!
5) La máquina de Carnot que funcione en reversa, constituye la Bomba de calor más eficiente posible entre esos depósitos. Entonces el máximo COP es:

$$COP_{ENFRIAMIENTO} = |Q_2|/W = |Q_2|/(|Q_1|-|Q_2|) \Rightarrow T_F/(T_C - T_F)$$

$$COP_{CALENTAMIENTO} = |Q_1|/W = |Q_1|/(|Q_1|-|Q_2|) \Rightarrow T_C/(T_C - T_F)$$

Ejemplo: La máquina de vapor

Una máquina de vapor que funciona a 500K cambia el agua líquida a vapor, y este vapor después impulsa un pistón. La temperatura del depósito frío es la del ambiente exterior, aproximadamente 300K.

¿Cuál es la máxima eficiencia térmica a la que podría llegar esta máquina?

$$e_c = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

$$e_c = 1 - \frac{300\cancel{K}}{500\cancel{K}}$$

$$e_c = 1 - \frac{3}{5}$$

$$e_c = \frac{2}{5} = 0,400 \Rightarrow \boxed{e_c = 40\%}$$

La máquina térmica de Carnot establece el límite máximo que puede alcanzar una máquina.