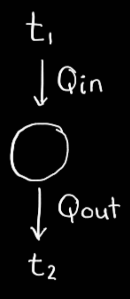
2^a Ley de la Termodinámica

(1)



$t_1 > t_2$

Carnot CICLO

2^a Ley: Si $W < 0 \Rightarrow Q_{in} > 0$ y $Q_{out} < 0$

1^a Ley: $W + Q_{out} + Q_{in} = 0$

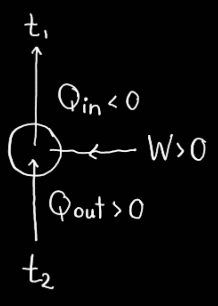
eficiencia

$$\eta = \frac{|W|}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - |Q_{out}|}{Q_{in}} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{|Q_{out}|}{Q_{in}}$$

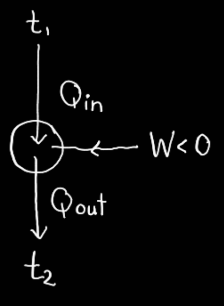
1^a ley $\eta \leq 1$, $|W| = Q_{in} - |Q_{out}|$

$\eta = 1$, si $Q_{out} = 0$ $\quad 2^a$ ley $\eta < 1$

Carnot REVERSIBLE



Carnot No necesariamente REVERSIBLE



El proceso inverso no garantiza que Q_{in}, Q_{out} y W solamente cambien the sigmo

Teorema. Sean 2 fuentes de calor y 2 máquinas de Carnot: una reversible tal que Q_1 es el intercambio con la caliente, Q_2 con la fría y W es trabajo. Una irreversible Q_1', Q_2', W' operada normal: $Q_1' > 0$, $Q_2' < 0$, $W = 0$.

Resultados

(a) $\dfrac{Q_1}{|Q_2|} \geq \dfrac{Q_1'}{|Q_2'|}$ si solo 1 es reversible

(b) $\dfrac{Q_1}{|Q_2|} = \dfrac{Q_1'}{|Q_2'|}$ Si 1 y 2 son reversibles

Suponga que $\dfrac{|Q_1|}{|Q_1'|} \simeq \dfrac{N'}{N}$. Sea un proceso de N' ciclos de C' y N ciclos de C en REVERSA.

1^a ley - Balance de enegía

Sabemos $|W| = |Q_{in}| - |Q_{out}|$, $|W'| = Q_{in}' - |Q_{out}'|$. De donde

$$W_T = N'W' + NW$$
$$Q_{1T} = N'Q_1' + NQ_1 \leftarrow \text{fuente 1}$$
$$Q_{2T} = N'Q_2' + NQ_2 \leftarrow \text{fuente 2}$$

signos

"normal"	"reversa"
$Q_1' > 0$	$Q_1 < 0$
$Q_2' < 0$	$Q_2 > 0$
$W_1' < 0$	$W > 0$

Por hipótesis $\dfrac{|Q_1|}{Q_1'} = \dfrac{N'}{N} \Rightarrow N|Q_1| = N'Q_1' \Leftrightarrow 0 = N'Q_1' - N|Q_1|$. Pero $Q_{1T} = N'Q_1' + NQ_1$, entonces $Q_{1T} = 0$. Por lo cual,

$$\left.\begin{aligned} Q_{2T} &= -N'|Q_2'| + NQ_2 \\ W_T &= -N'|W'| + NW \end{aligned}\right. \Rightarrow W_T = -Q_{2T}$$

$\therefore W_T \geq 0 \Rightarrow Q_{2T} \leq 0$ (¡de lo contrario contradecimos la 2^a ley!). Mas aún,

$$Q_{2T} = N'Q_2' + NQ_2 \leq 0 \Rightarrow -N'|Q_2'| + NQ_2 \leq 0 \Rightarrow \frac{Q_2}{|Q_2'|} \leq \frac{N'}{N}$$

y por hipótesis,

$$\left.\frac{Q_2}{|Q_2'|} \leq \frac{N'}{N} \approx \frac{|Q_1|}{|Q_1'|}\right\} \frac{Q_1}{|Q_2|} \geq \frac{Q_1'}{|Q_2'|}$$

si C es reversible y C' NO necesariamente.

Supongamos que C' también es reversible. Puedo repetir "TODO"... pero con C' en reversa y C "normal"... todos los signos se invierten y obtenemos

$$\frac{Q_2}{Q_1} \geq \frac{|Q_2'|}{Q_1'}$$

y como se cumple: $\frac{Q_1}{|Q_2|} \geq \frac{Q_1'}{|Q_2'|}$ y $\frac{Q_1}{|Q_2|} \leq \frac{Q_1'}{|Q_2'|} \Rightarrow \frac{Q_1}{|Q_2|} = \frac{Q_1'}{|Q_2'|}$

Si $\exists$ una tercera máquina tenemos entonces que $\frac{Q_1}{|Q_2|} = \frac{Q_1'}{|Q_2'|} = \frac{Q_1''}{|Q_2''|}$.

$<$ si C' es irreversible

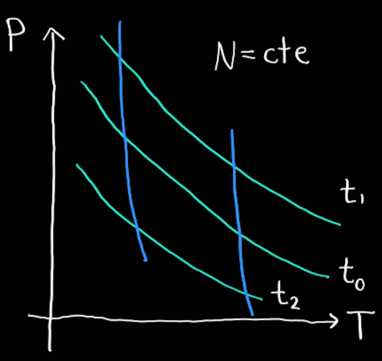
$=$ si C' es reversible

Partiendo que $\frac{|Q_1|}{|Q_2|} \geq \frac{|Q_1'|}{|Q_2'|} \Rightarrow \frac{|Q_2|}{|Q_1|} \leq \frac{|Q_2'|}{|Q_1'|}$ se sigue que $1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|} \geq -\frac{|Q_2'|}{|Q_1'|} + 1$,

$$\therefore \boxed{\eta \geq \eta'}$$

Si tenemos que $\boxed{t_1 \xrightarrow{Q} t_2}$ TODAS reversibles $\frac{Q_1}{|Q_2|} = \frac{|Q_1'|}{|Q_2'|}$, $t_1 > t_2$ ... No puede depender de la sustancia de la máquina... ¡depende de las fuentes!

Supóngase ahora que se tiene una serie de procesos reversibles

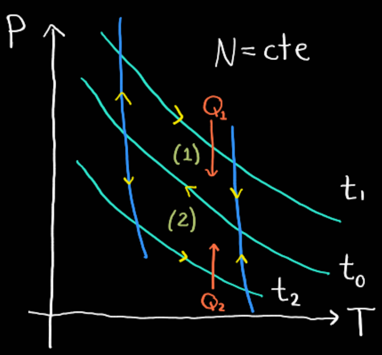


$\frac{|Q_1|}{|Q_2|} = f(t_1, t_2)$ de las temp. de las fuentes

traemos un baño térmico a t_0 $(t_1 > t_0 > t_2)$

2 máquinas Carnot: una entre t_0 y t_1 y otra entre t_0 y t_2.

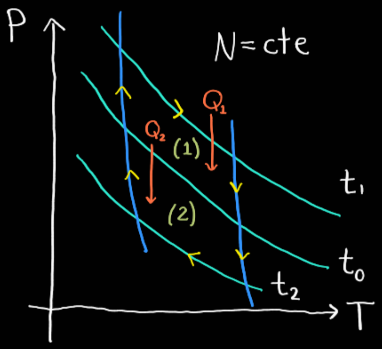
Caso (A)



(1) opera normal. $Q_1 > 0$, $Q_0 < 0 \Rightarrow \frac{Q_1}{|Q_0|} = f(t_1, t_0)$

(2) opera en reversa. $Q_2 > 0$, $Q_0 < 0 \Rightarrow \frac{Q_2}{|Q_0|} = f(t_2, t_0)$

Caso (B) las dos en la misma dirección



$\frac{Q_1}{|Q_0|} = f(t_1, t_0)$ y $\frac{Q_0}{|Q_2|} = f(t_0, t_2)$

(1) Sede calor de $|Q_0|$ a t_0

(2) Absorbe calor de $|Q_0|$ a t_0

$$\frac{|Q_1|}{|Q_2|}\frac{|Q_0|}{|Q_0|} = f(t_1, t_2)$$

Como $\underset{(A)}{\frac{Q_2}{|Q_0|} = f(t_2, t_0)}$ y $\underset{(B)}{\frac{Q_0}{|Q_2|} = f(t_0, t_2)}$ entonces $\boxed{f(t_0, t_2) = \frac{f(t_1, t_0)}{f(t_2, t_0)}}$