

Universidad Nacional de Río Negro

Física III B – 2020

- **Unidad** 03
- **Clase** U03C01 / 14
- **Fecha** 05 May 2020
- **Cont** Segundo principio
- **Cátedra** Asorey
- **Web** <http://gitlab.com/asoreyh/unrn-f3b>



Contenidos: Termodinámica, alias F3B, alias F4A

Unidad 1

El Calor

Hace calor

Unidad 2

Primer principio

Todo se transforma

Unidad 3

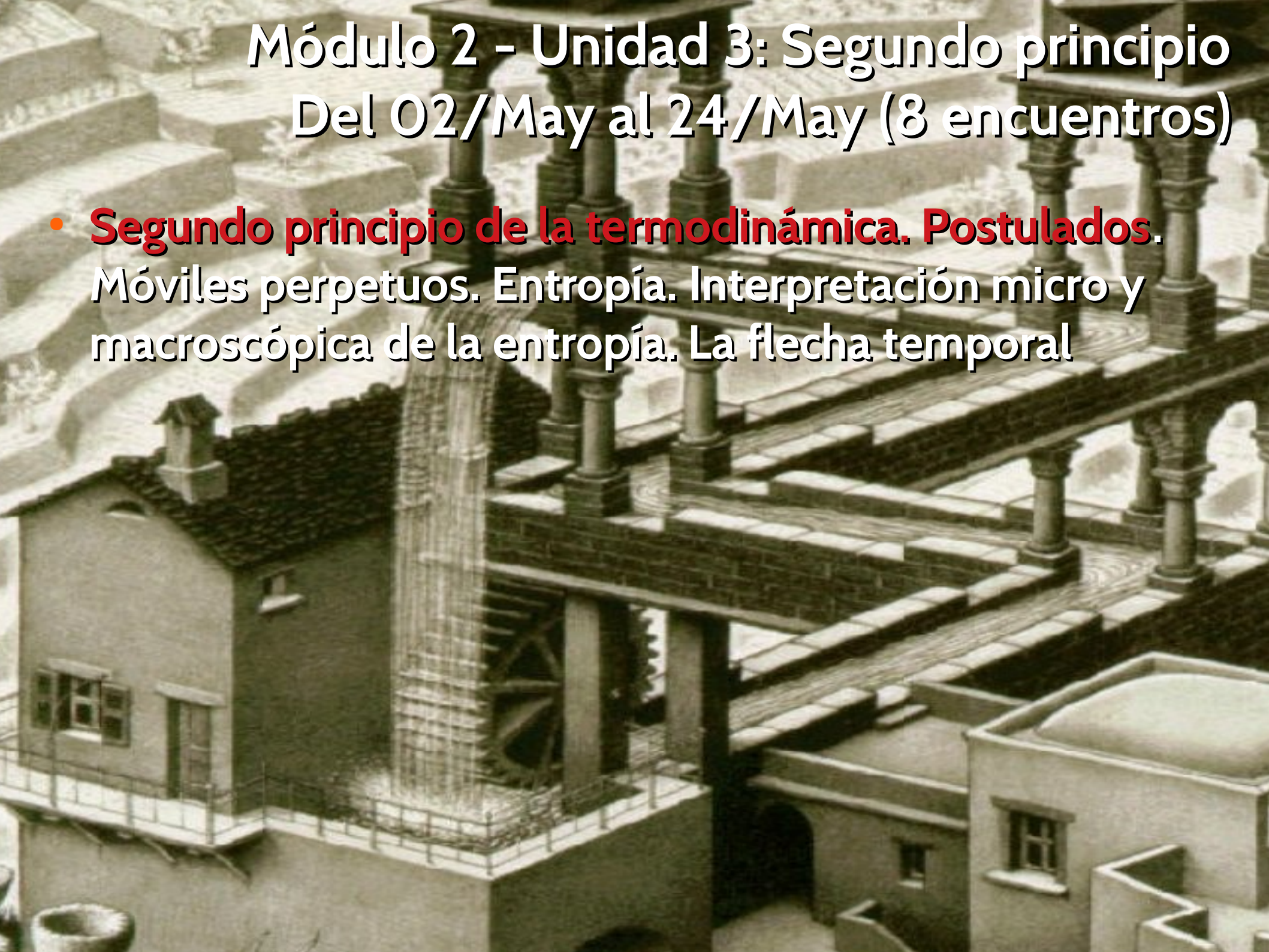
Segundo Principio

Nada es gratis

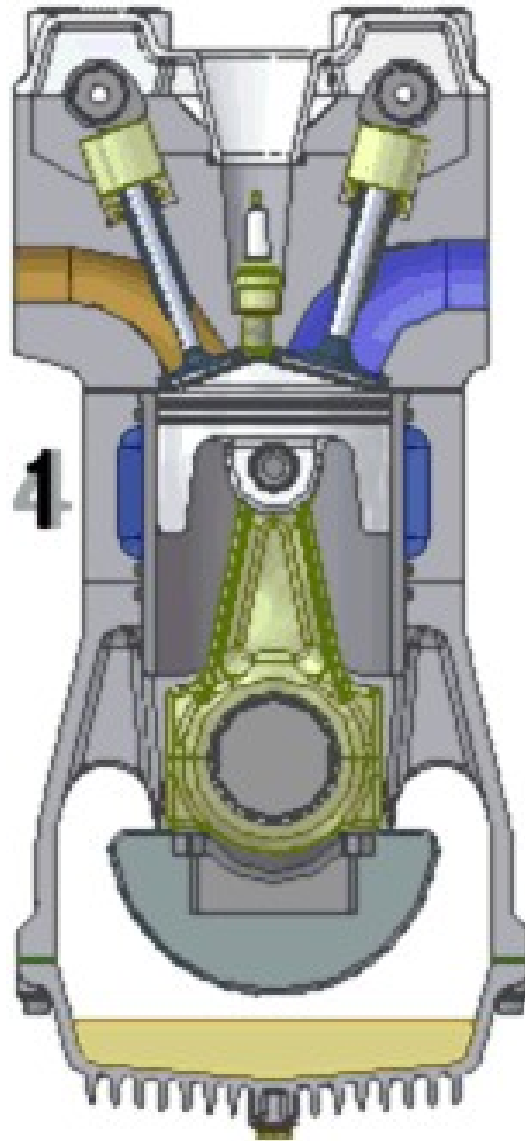
Módulo 2 - Unidad 3: Segundo principio

Del 02/May al 24/May (8 encuentros)

- **Segundo principio de la termodinámica. Postulados.** Móviles perpetuos. Entropía. Interpretación micro y macroscópica de la entropía. La flecha temporal

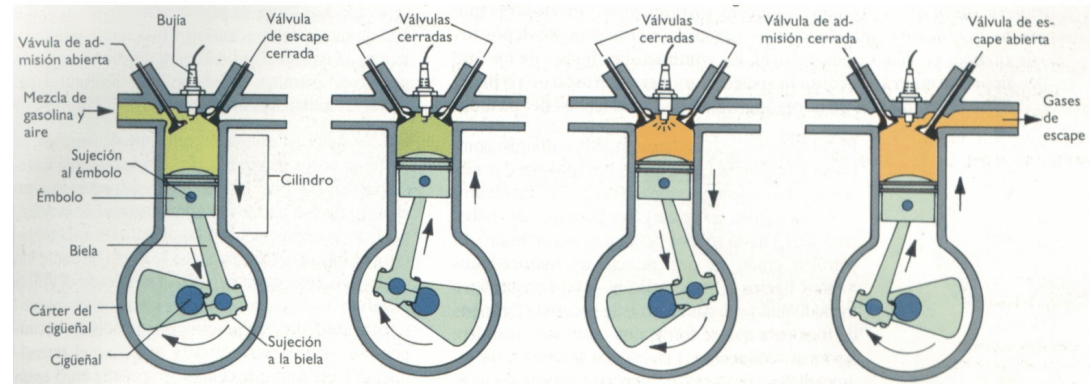


Ciclo Otto



Ciclo Otto, combustión isócora

FASES DE UN MOTOR DE 4 TIEMPOS



ADMISIÓN

Pistón baja y entra combustible por la válvula de admisión
El cigüeñal da $\frac{1}{2}$ revolución

COMPRESIÓN

Pistón sube y el combustible y el aire se comprimen. Las válvulas están cerradas
El cigüeñal da $\frac{1}{2}$ revolución

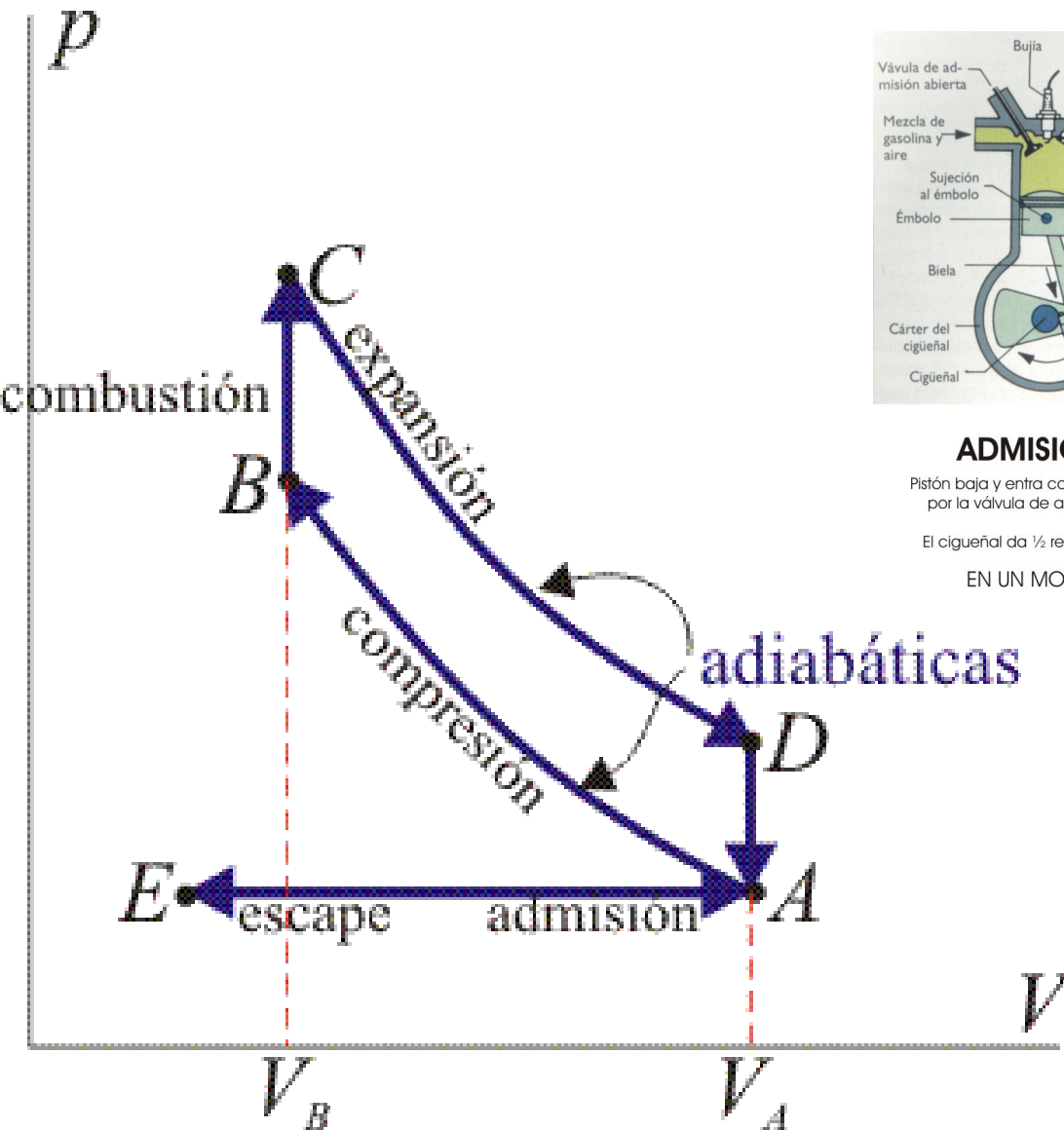
EXPLOSIÓN

La mezcla del combustible y de aire explota. Como las válvulas están cerradas el pistón baja. Potencia
El cigüeñal da $\frac{1}{2}$ revolución

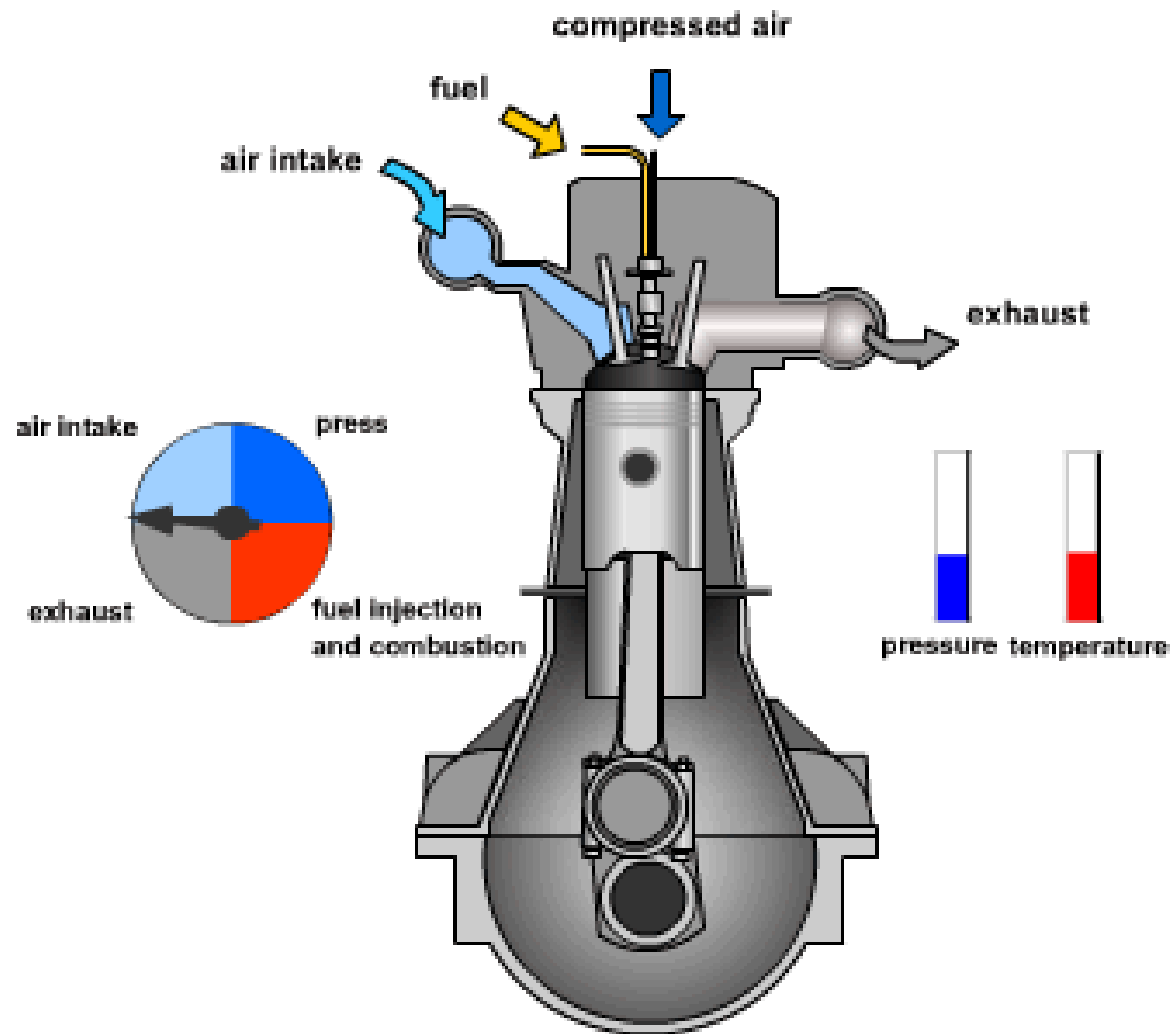
ESCAPE

Pistón sube y expulsa los gases quemados por la válvula de escape
El cigüeñal da $\frac{1}{2}$ revolución

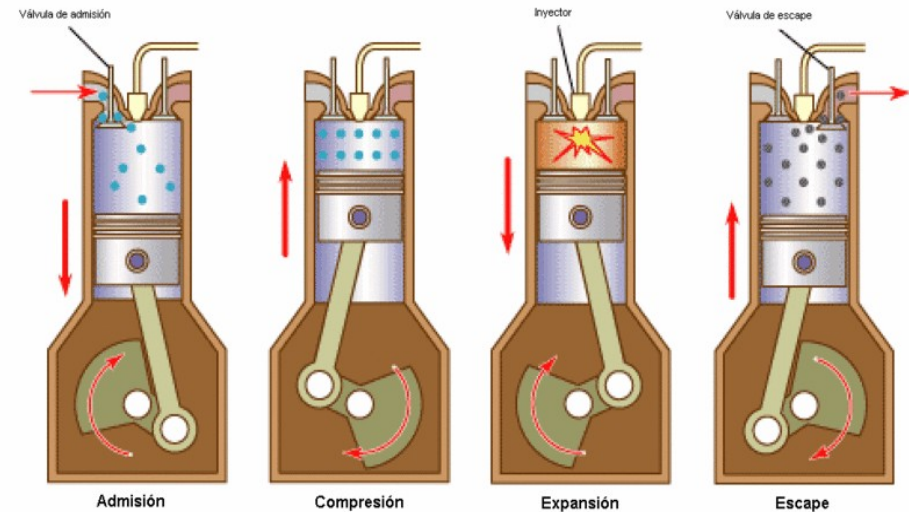
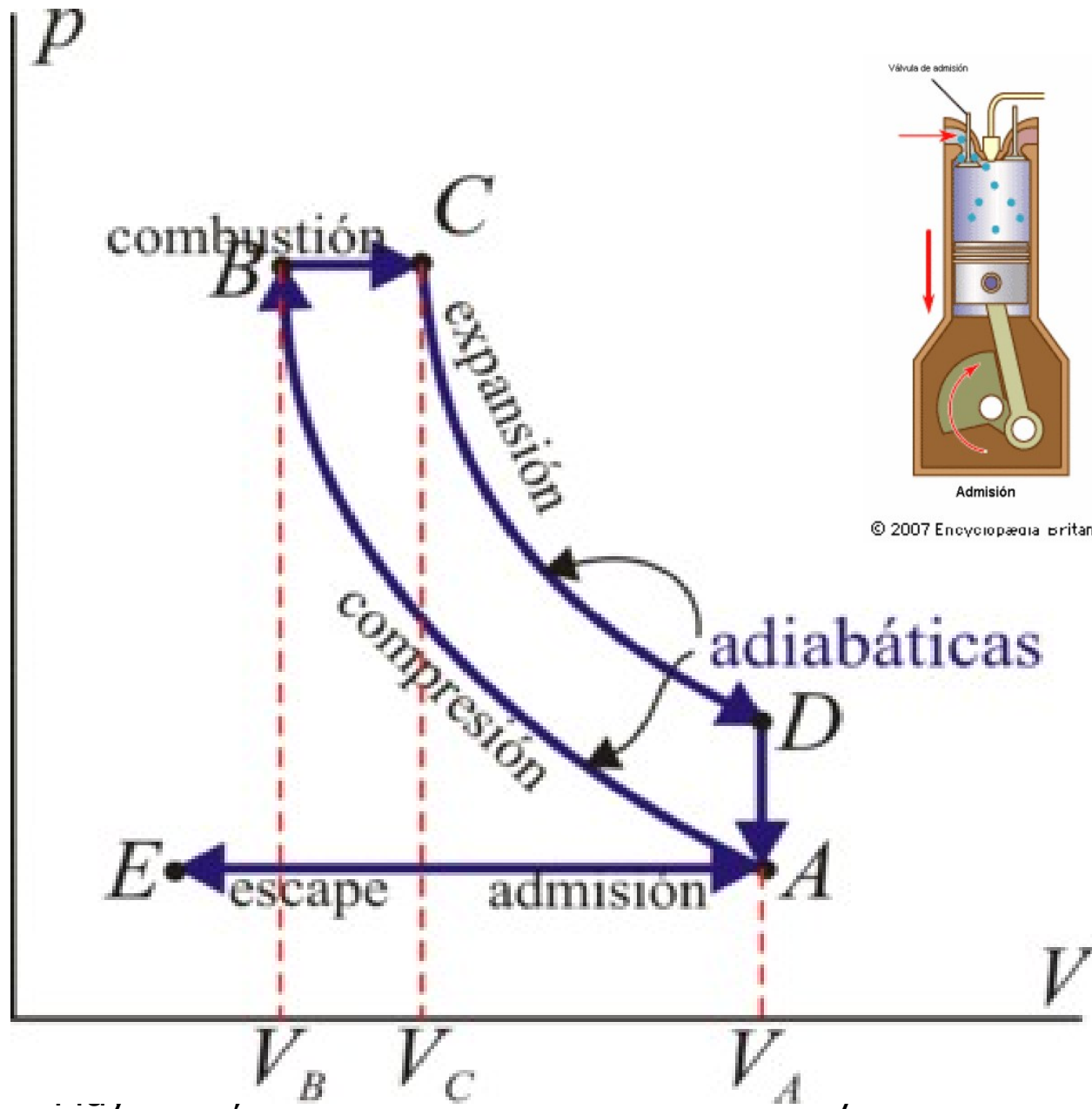
EN UN MOTOR DE 4 T SE PRODUCE UNA EXPLOSIÓN (FASE POTENTE) CADA 2 REVOLUCIONES



Ciclo Diesel

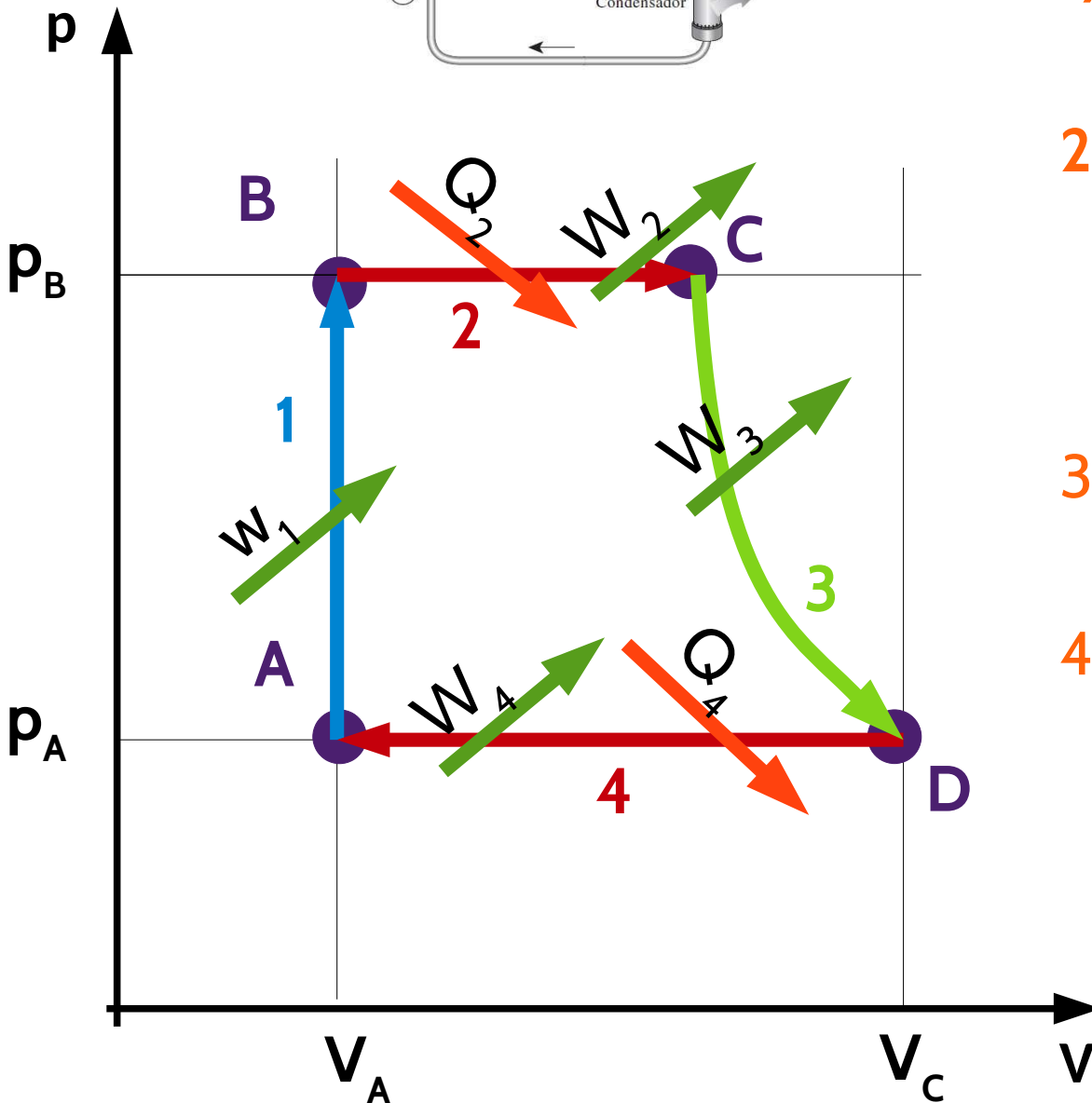
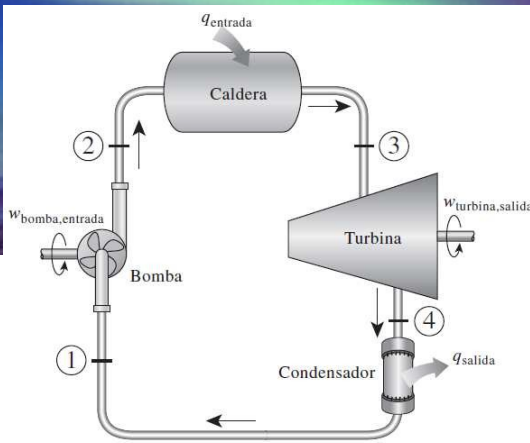


Ciclo Diésel o ciclo de combustión isóbara



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

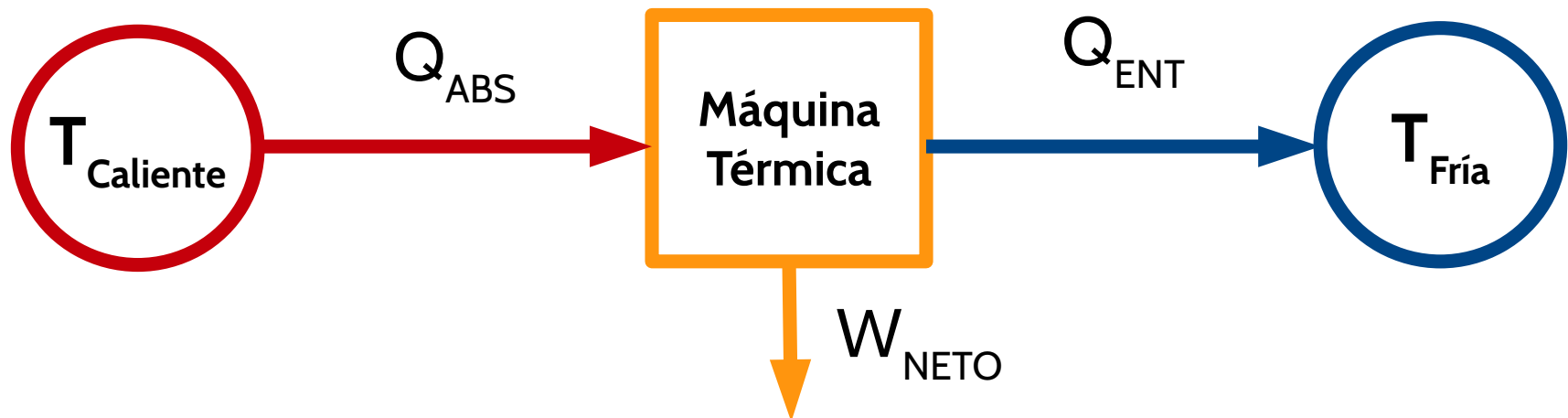
Ciclo de Rankine



- 1) **bomba**: compresión de agua líquida
- 2) **caldera**: calentamiento y vaporización del agua líquida. Calentamiento isobárico del vapor
- 3) **turbina**: expansión adiabática del vapor hasta la presión inicial;
- 4) **condensador**: enfriamiento y condensación isobárica del vapor. Enfriamiento del agua líquida hasta la temperatura inicial

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



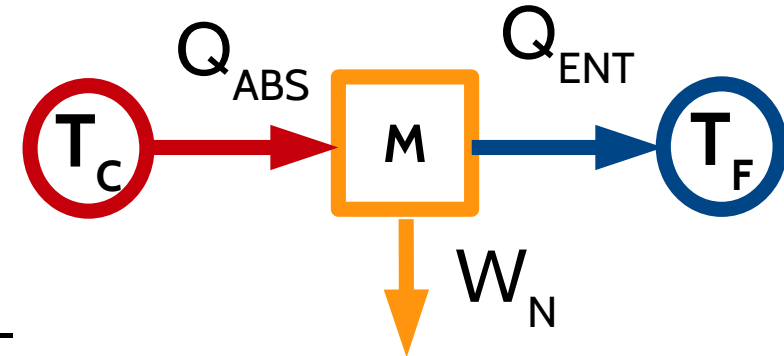
$$\eta = \frac{W_{\text{NETO}}}{Q_{\text{ABS}}} = \frac{Q_{\text{ABS}} - Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} = 1 - \frac{Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} \leq 1 - \frac{T_{\text{Fría}}}{T_{\text{Caliente}}}$$

May

¿Por qué no puede ser 1?

- Hemos dicho

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



- Para que el rendimiento sea 1 debería pasar que $Q_{\text{ENT}}=0$
- **Esto implicaría una conversión total del calor entregado por la fuente caliente en trabajo ← Esto no es posible**

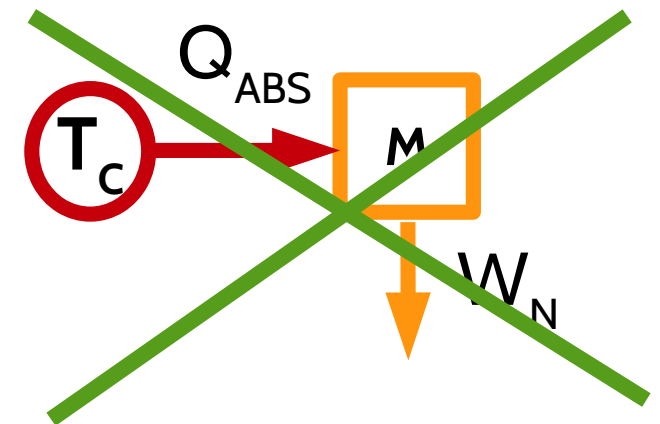
Segundo principio de la termodinámica

- **Enunciado de Kelvin-Planck (K-P)**

No es posible construir una máquina térmica que, operando en forma cíclica, produzca como único efecto la absorción de calor procedente de un foco y la realización de una cantidad equivalente de trabajo.

- Expresa un hecho empírico, y va por la negativa: nos dice lo que no es posible hacer
- El rendimiento de una máquina térmica siempre será menor que 1

$$\eta < 1$$

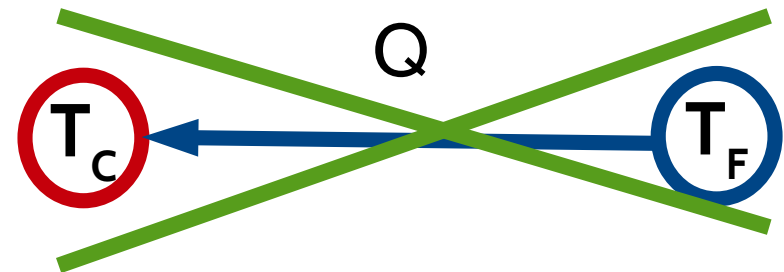
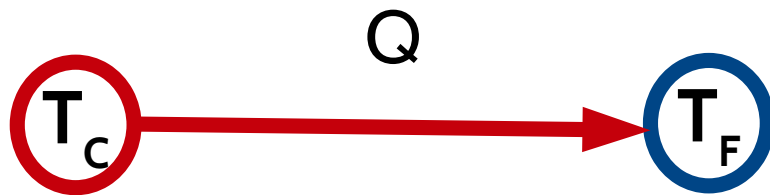


Segundo principio de la termodinámica

- **Enunciado de Clausius**

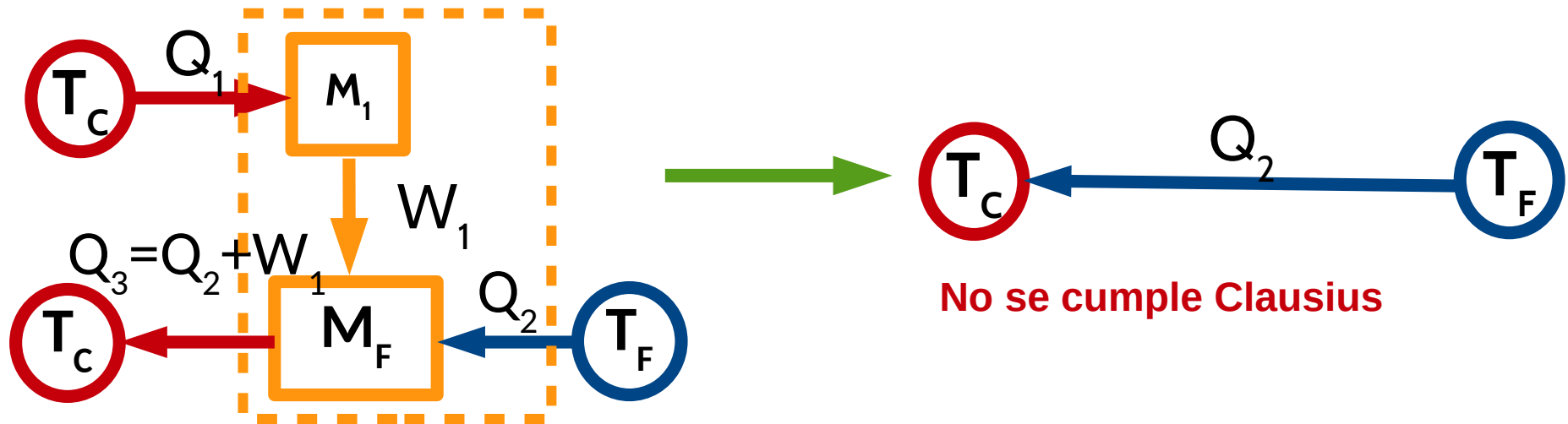
No es posible un proceso que tenga como único resultado la transferencia de calor de un cuerpo hacia otro más caliente.

- Al igual que K-P, también expresa un hecho empírico, y también va por la negativa



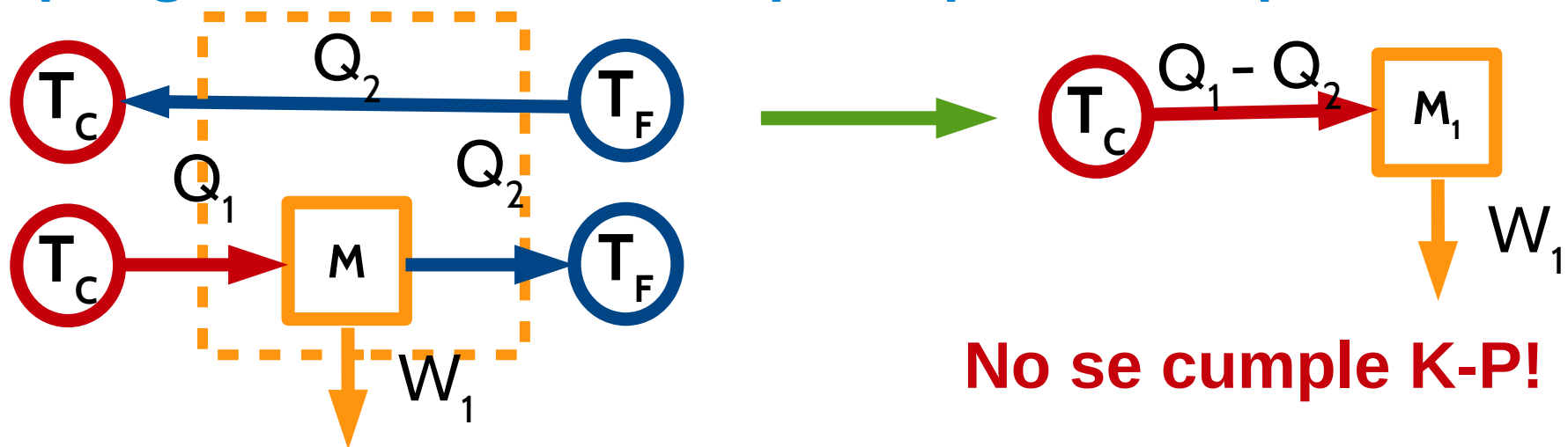
- Establece un sentido para el flujo espontáneo de calor de los focos calientes a los focos fríos y no al revés

- Ambos enunciados son equivalentes:
Supongamos existe una máquina que no cumple K-P:



- Dado que, por el 1^{er} ppio, $W_1 = Q_1 \rightarrow Q_3 = Q_1 + Q_2$.
- y puesto que la fuente caliente entrega Q_1 y recibe Q_3 , hay una transferencia neta y espontánea Q_2 de T_F a T_C

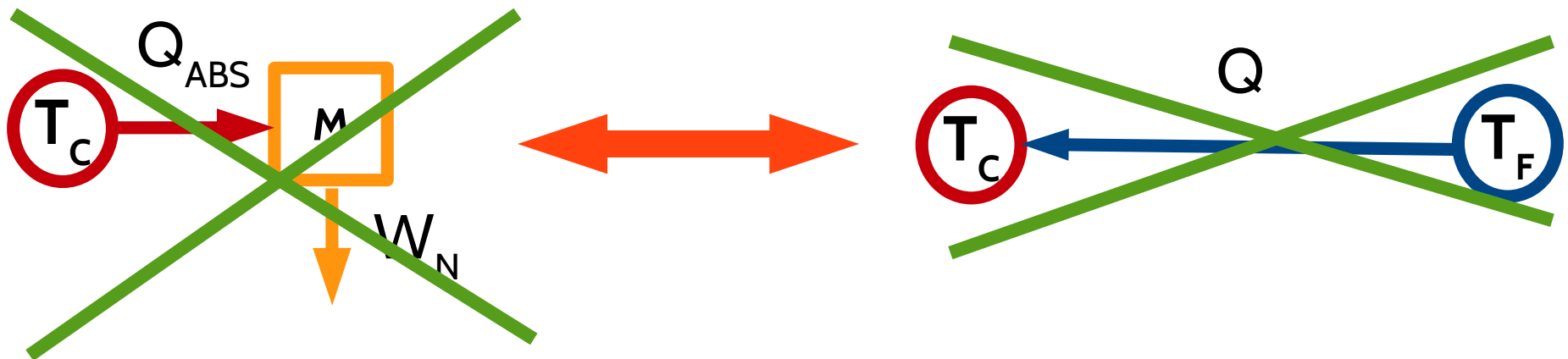
- Ambos enunciados son equivalentes:
- Tengo una máquina térmica normal operando, y supongamos existe una máquina que no cumple Clausius:



No se cumple K-P!

- Por el 1^{er} ppio, $W_1 = Q_1 - Q_2$
- puesto que Q_2 vuelve a la fuente caliente, esta entrega una cantidad de calor $(Q_1 - Q_2)$ en forma de trabajo W_1 .

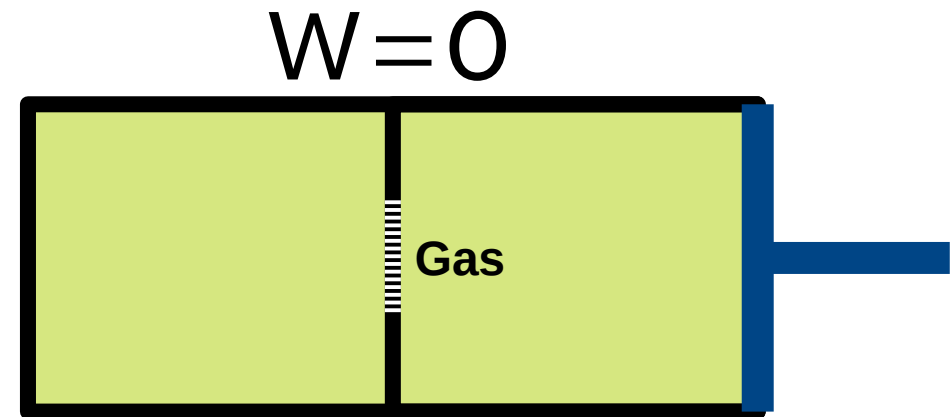
- Hemos visto que el no cumplimiento de un enunciado implica el no cumplimiento del otro enunciado →
Ambos enunciados del 2º principio son equivalentes



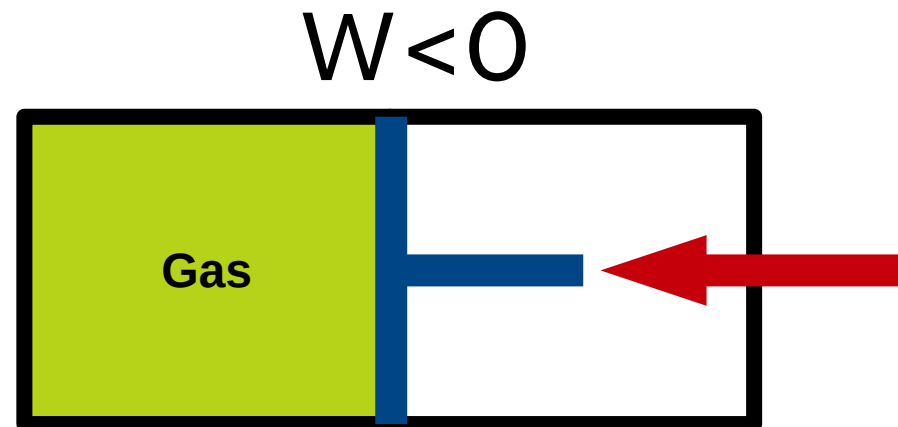
Reversibilidad, otra vez

- *Podemos transformar íntegramente el trabajo en calor (estufa), pero no íntegramente el calor en trabajo (K-P)*
- **Proceso reversible →**
 - La transformación puede ocurrir en los dos sentidos de forma que el estado final del sistema y del entorno sea exactamente igual al inicial (sin huellas); ó
 - Aquel cuyo sentido puede invertirse por un cambio en las condiciones de fondo
- **Proceso irreversible → no hay camino inverso.**
- **Todos los procesos reales son irreversibles:**
¡¡si hay ΔT , entonces hay irreversibilidad!!

Proceso irreversible

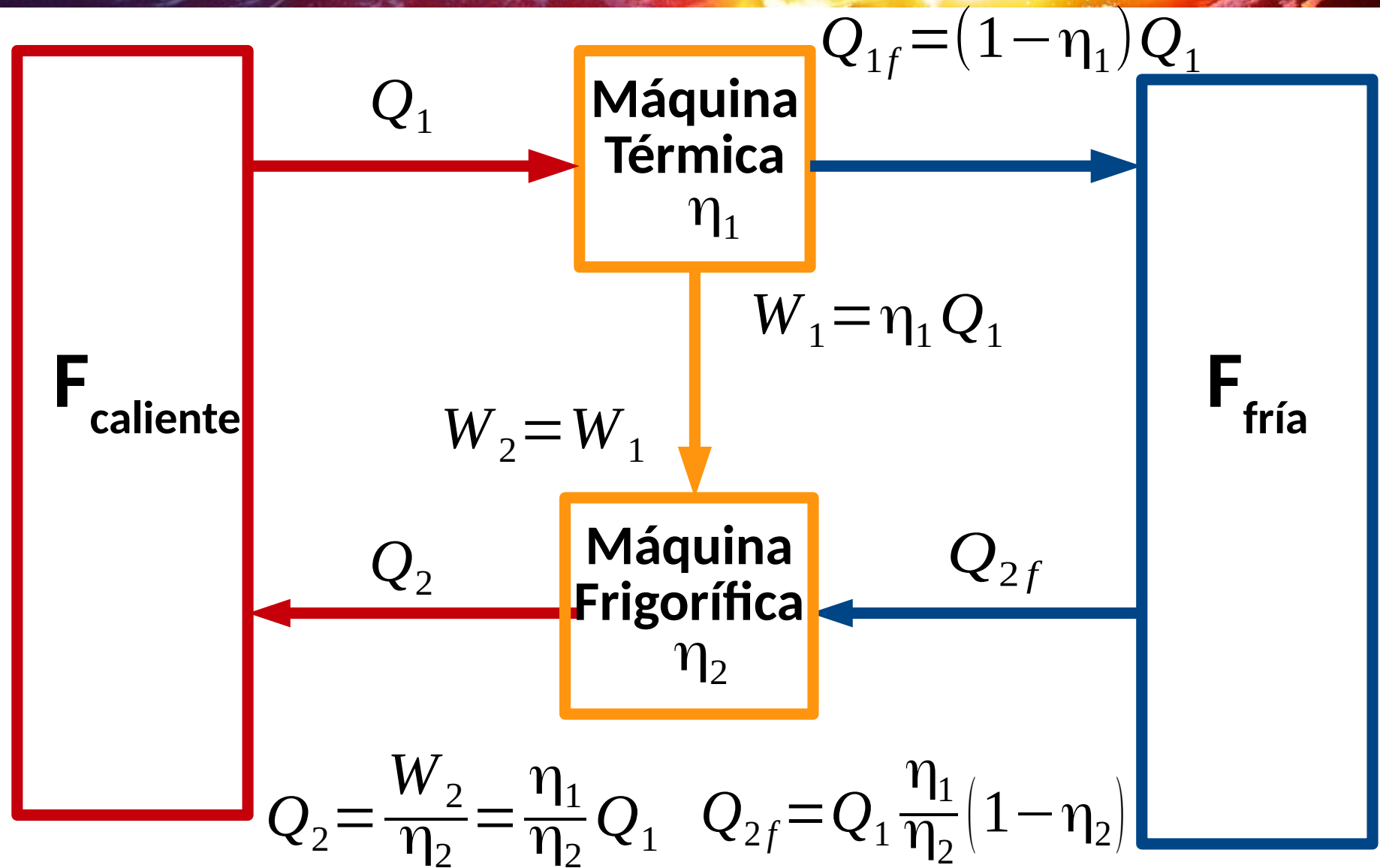


El proceso es irreversible
porque el entorno cambió:
realizó un trabajo sobre el
medio

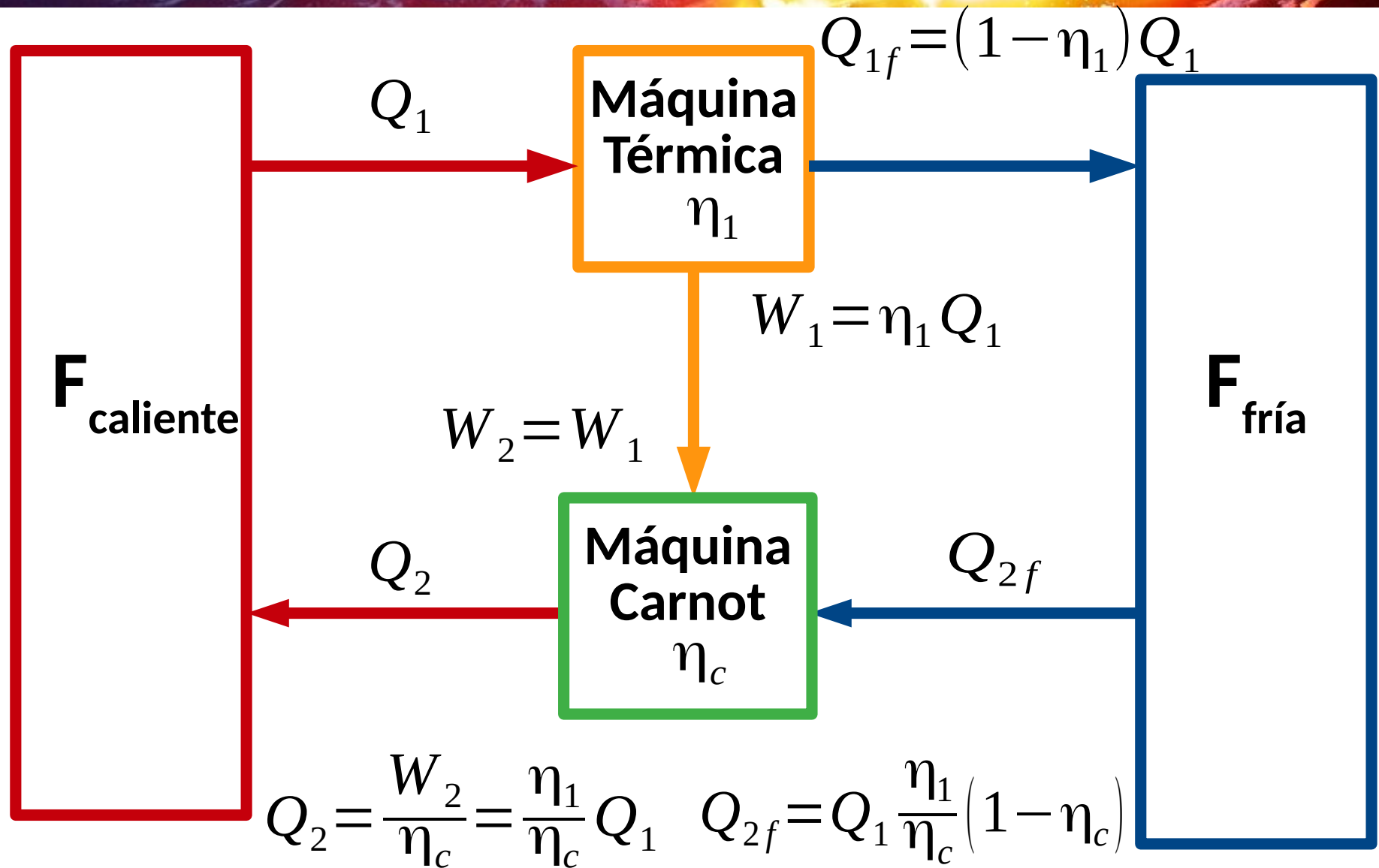


- **Interna:** procesos internos fuera de equilibrio → el sistema no está en un estado termodinámico definido
 - Mecánica: conversión de trabajo en calor (p. ej., viscosidad)
 - Térmica: transferencias de calor en el sistema
 - Químico-físicas: reacciones, mezclas, disoluciones, ...
 -
- **Externa:** la interacción con el medio es irreversible
 - Mecánica: el rozamiento es irreversible (si no, viola K-P)
 - Térmica: transferencias de calor con el medio
 -

Máquina reversible e irreversible



Máquina reversible e irreversible



Carnot y el segundo principio

- En la fuente caliente:

- Sale: Q_1
- Entra: $Q_2 = \frac{\eta_1}{\eta_c} Q_1$

lo que sale menos lo que entra
 $\rightarrow \Delta Q_c = Q_1 - Q_2 = Q_1 \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_c}\right)$

- En la fuente fría

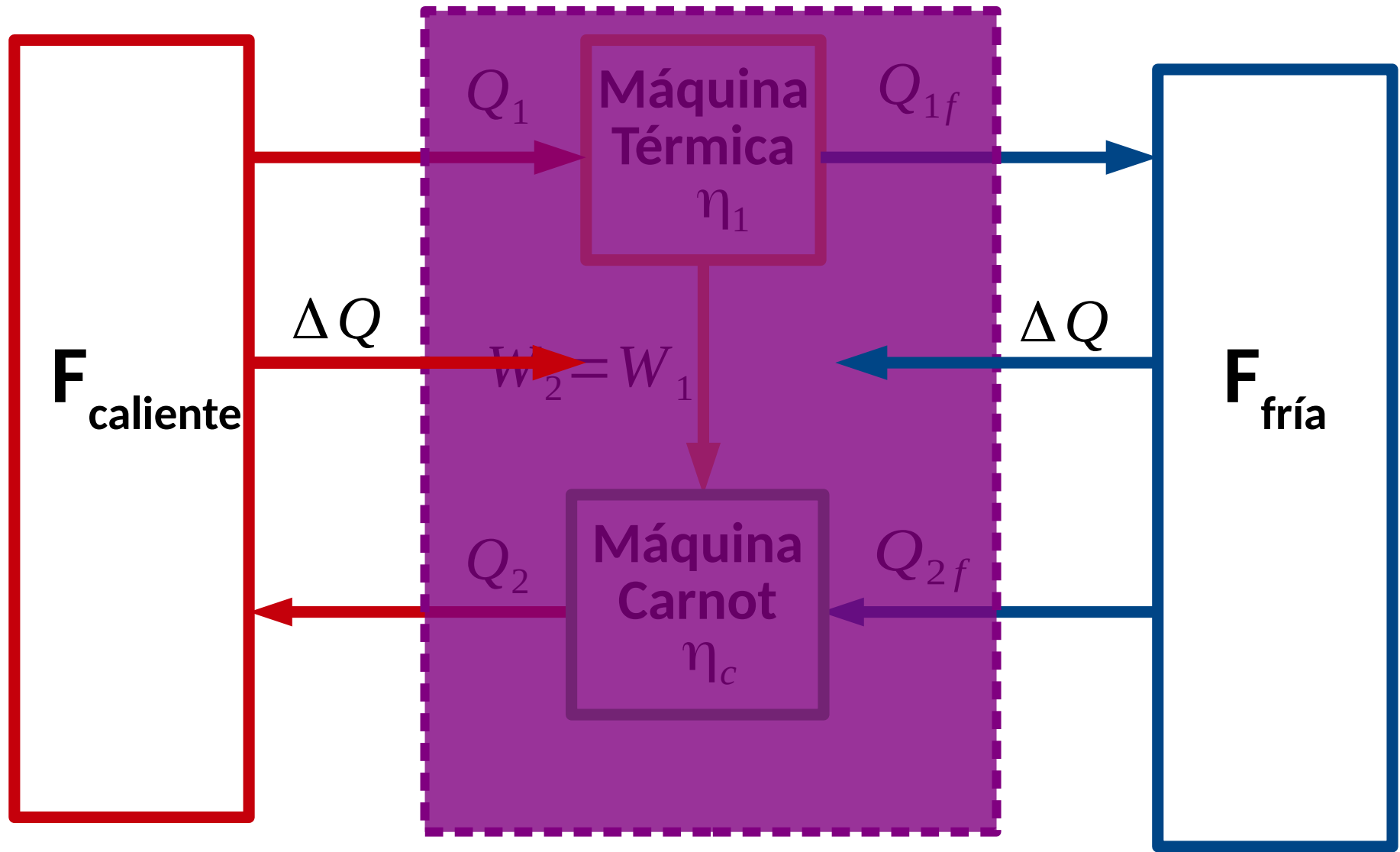
- Sale: $Q_{2f} = Q_1 \frac{\eta_1}{\eta_c} (1 - \eta_c)$
- Entra: $Q_{1f} = Q_1 (1 - \eta_1)$

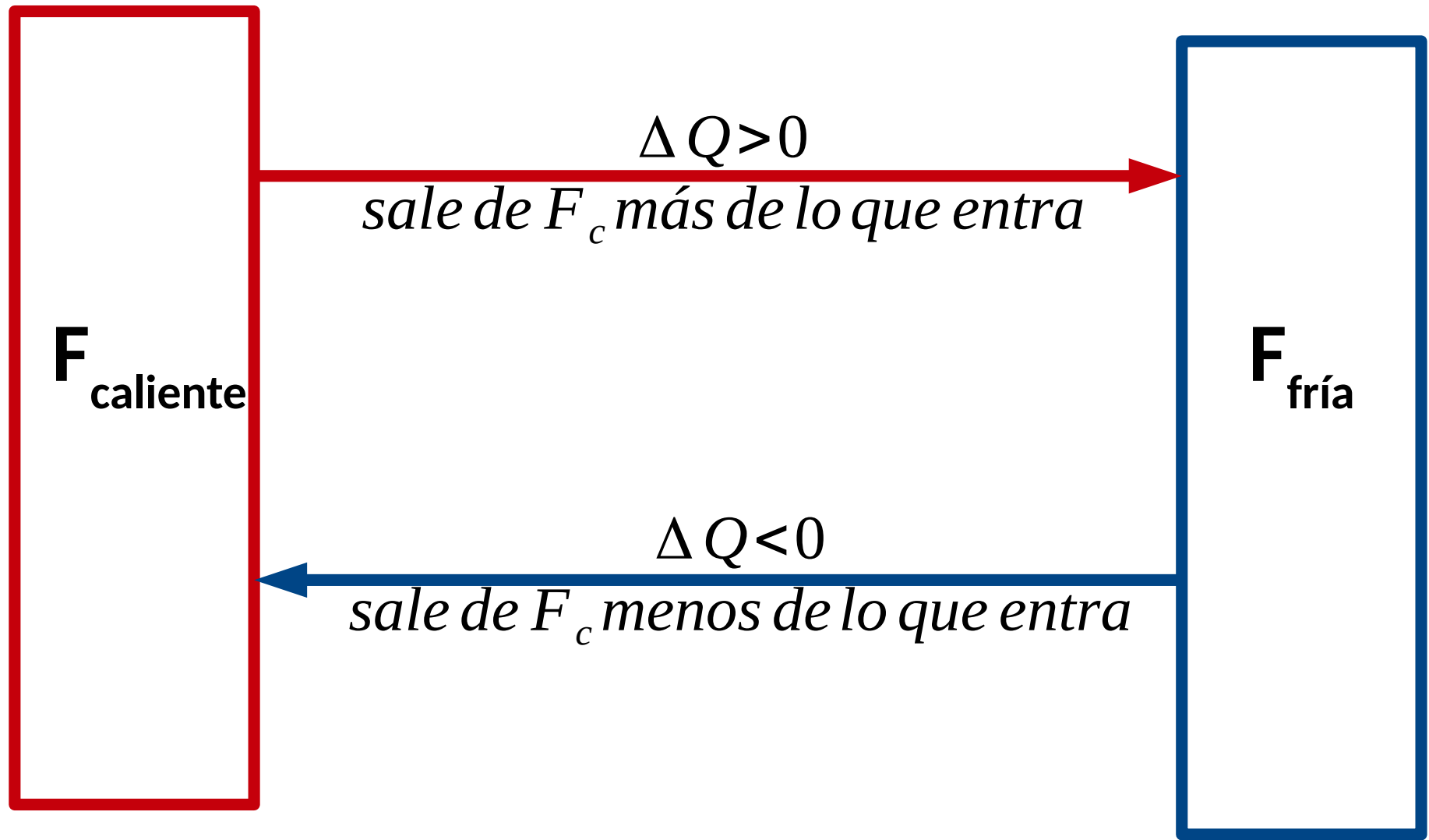
lo que entra menos lo que sale
 $\rightarrow \Delta Q_f = Q_{1f} - Q_{2f} = Q_1 \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_c}\right)$

$$\rightarrow \Delta Q_f = \Delta Q_c \equiv \Delta Q$$

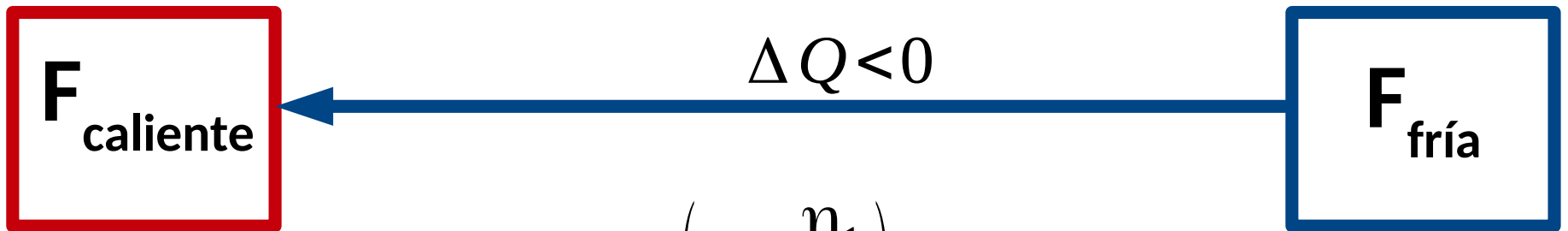
Balance de energía en cada fuente

Entendiendo ΔQ

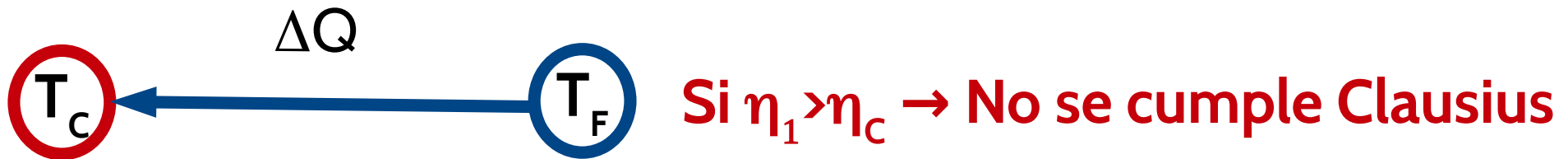




Si ΔQ es negativo....



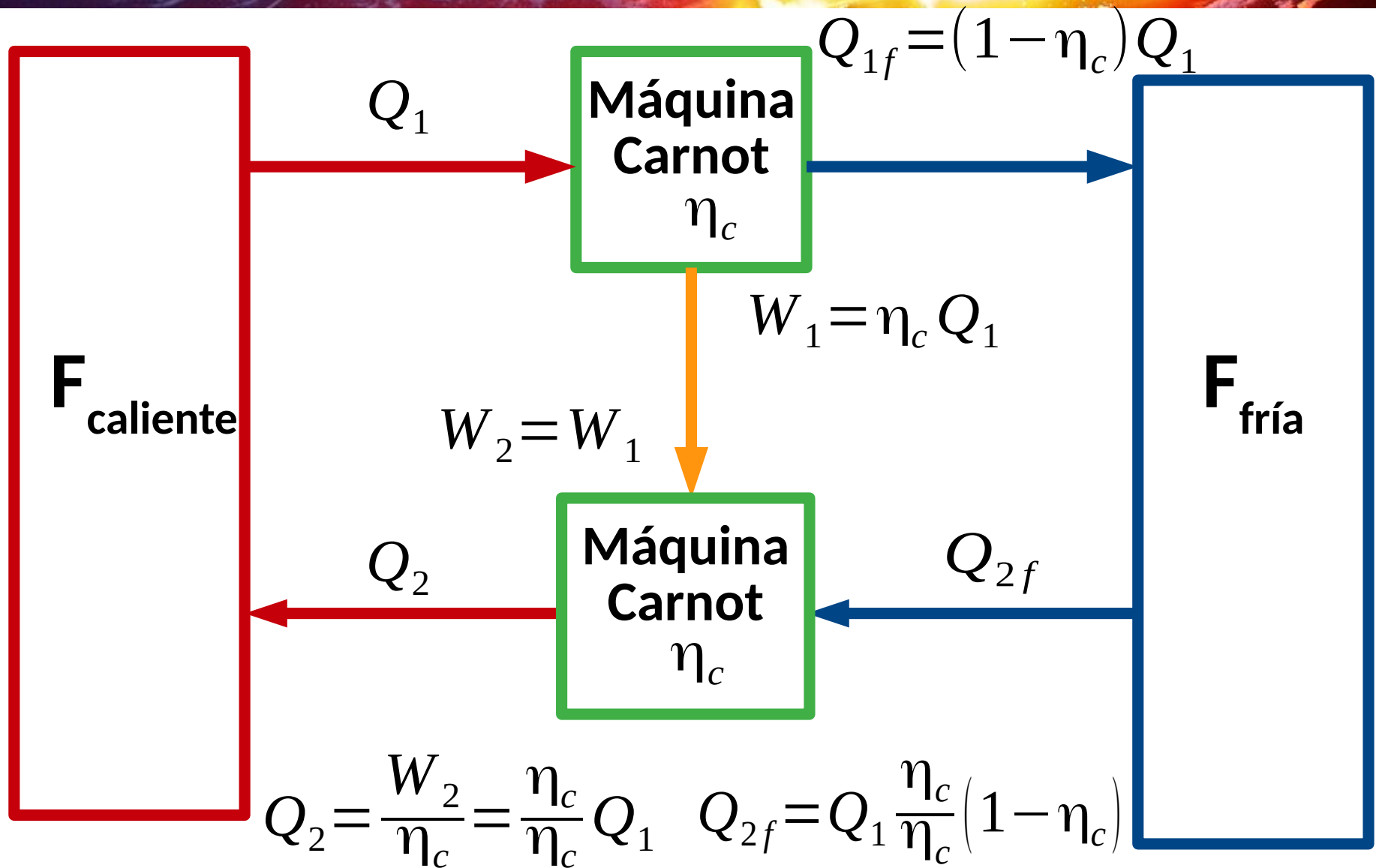
$$\rightarrow \Delta Q_c = Q_1 \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_c} \right) < 0 \rightarrow \eta_1 > \eta_c$$



Una máquina térmica que no cumple el teorema de Carnot, es decir, si su rendimiento es mayor al de Carnot operando entre las mismas fuentes, $\eta_1 > \eta_c$, entonces esa máquina no cumple el postulado de Clausius

¡Violación del 2do principio!

Dos máquinas de Carnot



Dos máquinas de Carnot

- En la fuente caliente:

- Sale: Q_1

- Entra: $Q_2 = \frac{\eta_c}{\eta_c} Q_1$

$$\rightarrow \Delta Q_c = Q_1 - Q_2 = 0$$

- En la fuente fría

- Sale: $Q_{2f} = Q_1 \frac{\eta_c}{\eta_c} (1 - \eta_c)$

- Entra: $Q_{1f} = Q_1 (1 - \eta_c)$

$$\rightarrow \Delta Q_f = Q_{1f} - Q_{2f} = 0$$

$$\rightarrow \Delta Q_f = -\Delta Q_c = \Delta Q = 0$$

no hay flujo neto de energía entre las fuentes

- Si $\eta = \eta_c \rightarrow$ El motor combina funciona sin ningún efecto, pero la máquina térmica tiene disipación

Violación del Primer Principio

- Si $\eta > \eta_c \rightarrow$ Transferencia neta de calor de la fuente fría a la fuente caliente, sin trabajo externo

Violación del Segundo Principio

- Entonces, sólo es posible: $\eta < \eta_c$:

Una máquina térmica sólo puede tener menor rendimiento que una máquina de Carnot funcionando entre las mismas temperaturas

Enunciados del segundo principio

- **Clausius** → *No es posible un proceso que tenga como único resultado la transferencia de calor de un cuerpo hacia otro más caliente*
- **Kelvin-Planck** → *No es posible construir una máquina térmica que, operando en forma cíclica, produzca como único efecto la absorción de calor procedente de un foco y la realización de una cantidad equivalente de trabajo*
- **Carnot** → *El rendimiento de una máquina térmica no puede ser superior que el de una máquina reversible que opere entre los mismos focos. Será igual sí y sólo sí esa máquina es también reversible*