

Universidad Nacional de Río Negro

Física III B – 2022

- **Unidad** 03 – Segundo principio
- **Clase** U03 C01 - 14/30
- **Cont** Segundo Principio
- **Cátedra** Asorey
- **Web** <https://campusbimodal.unrn.edu.ar/course/view.php?id=24220>



Contenidos: B5331 Física IIIB 2022 alias Termodinámica

Unidad 1

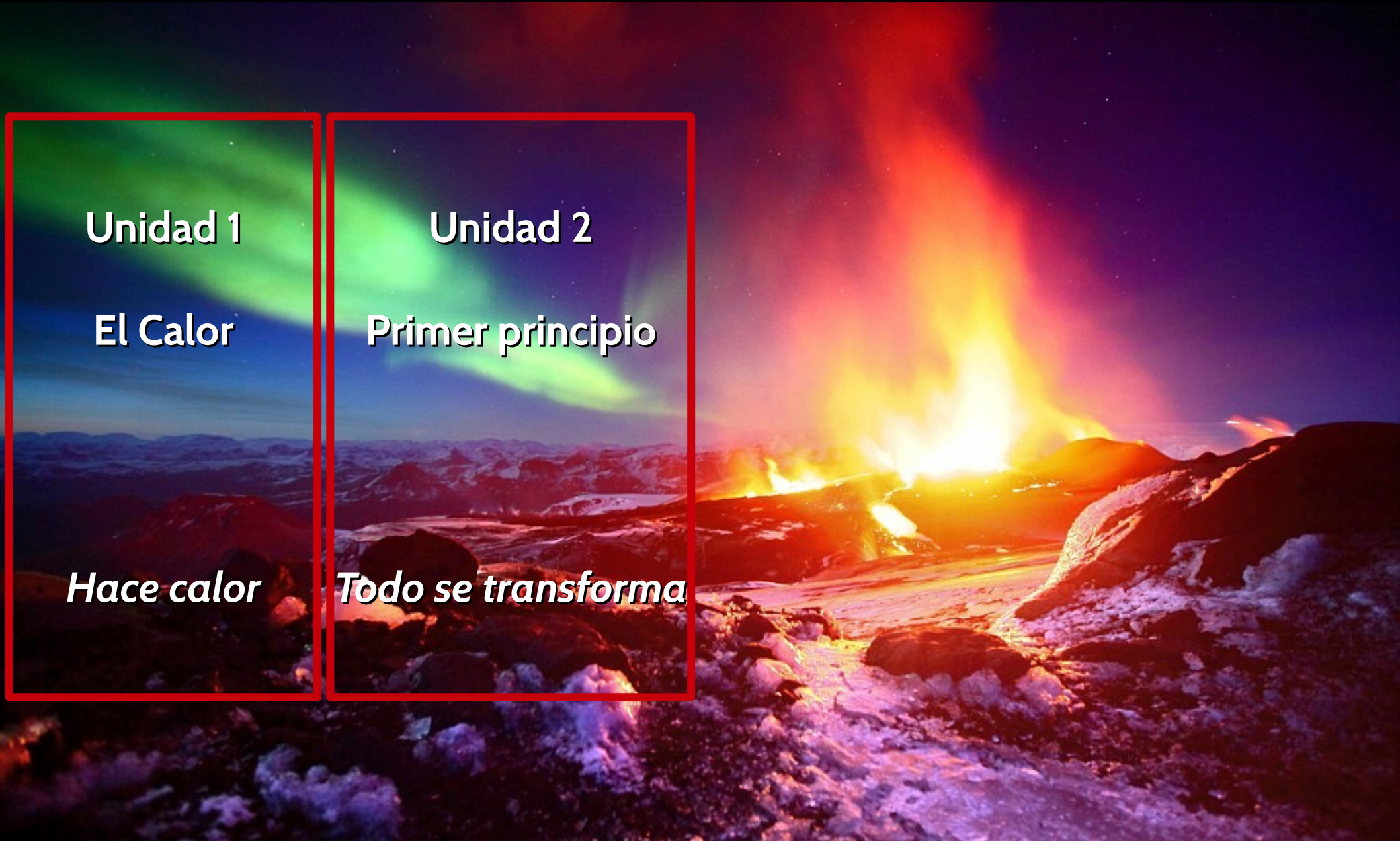
El Calor

Hace calor

Unidad 2

Primer principio

Todo se transforma



Contenidos: B5331 Física IIIB 2022 alias Termodinámica

Unidad 1

El Calor

Hace calor

Unidad 2


Primer principio

Todo se transforma

Unidad 3

Segundo Principio

Nada es gratis



Unidad 03: Segundo principio

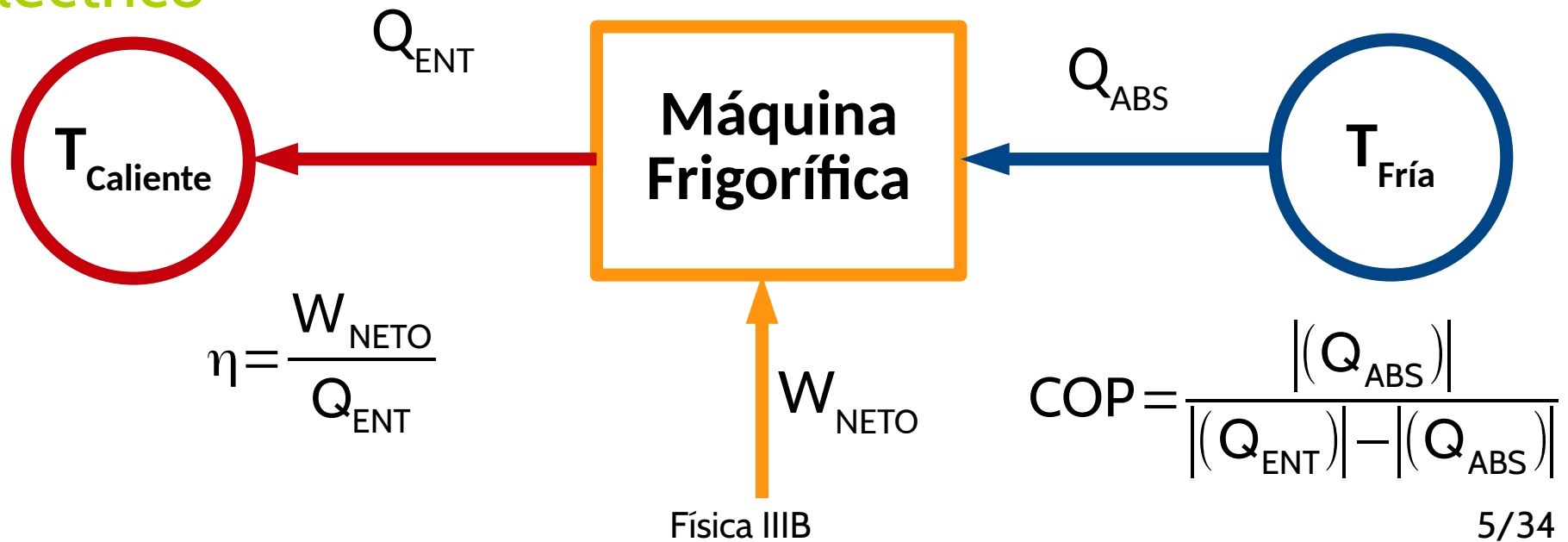
Del 28/Abr al 31/May (11 encuentros)

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

Entrega guía 03: Martes 07/Jun 23:59

Ciclo inverso → Máquina frigorífica

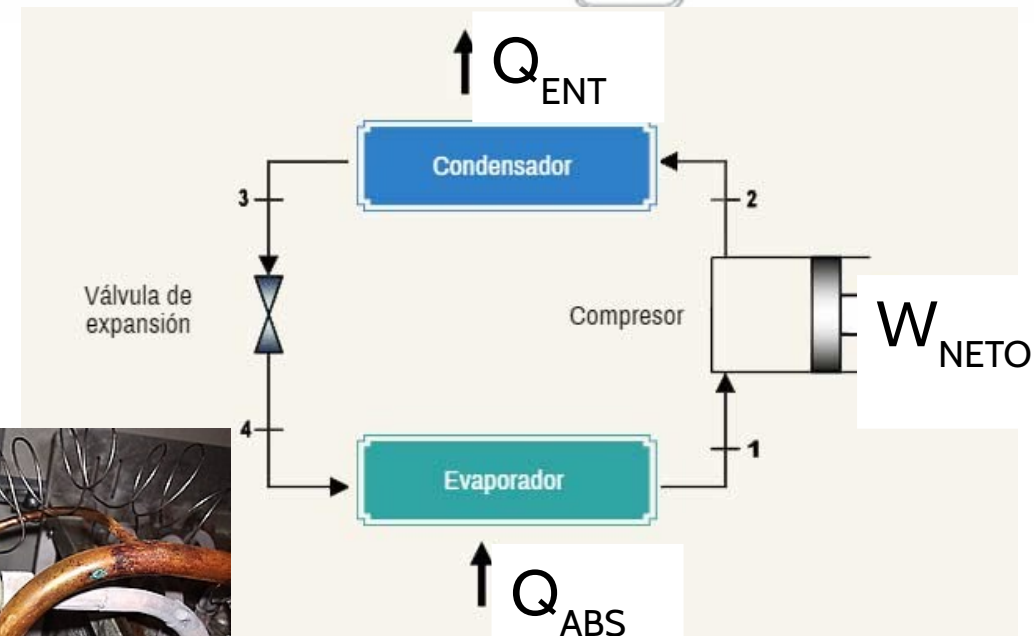
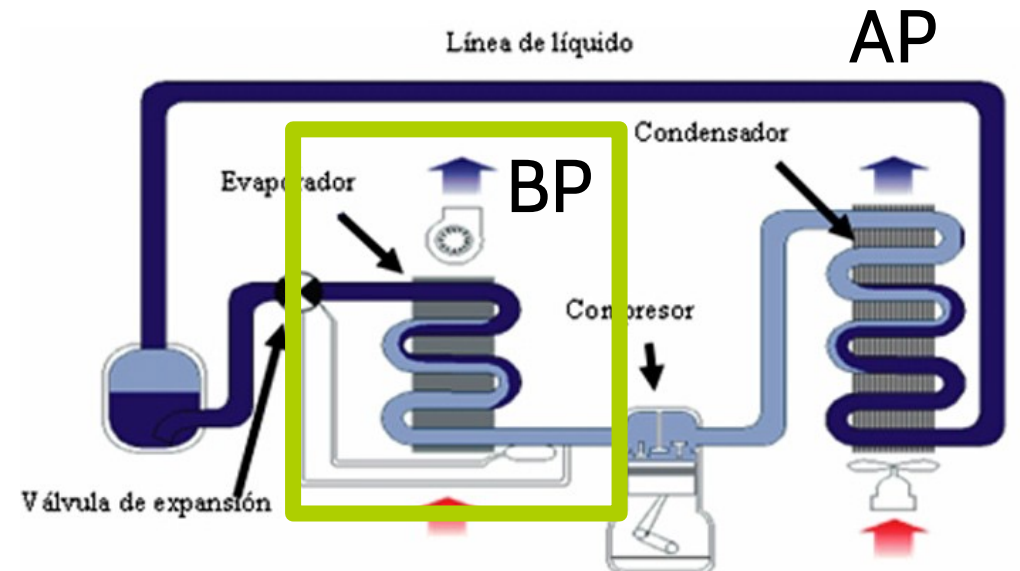
- Si entrego trabajo, es posible transferir calor de la fuente fría a la caliente
- **Heladera:** es una “bomba de calor” que extrae calor de una fuente fría para cederlo a otro a una temperatura mayor, impulsada por un motor externo, usualmente eléctrico



Funcionamiento: refrigeración por compresión:

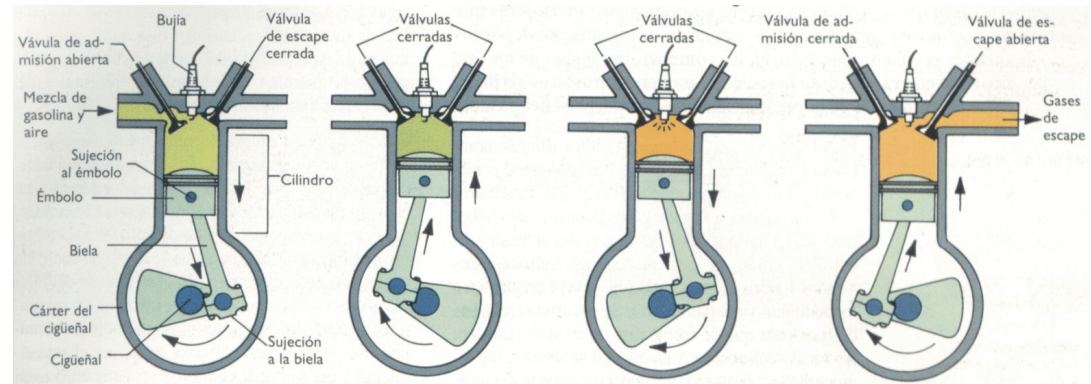
Líquido refrigerante: bajo punto de vaporización (típicamente -40°C)

- 1) **Compresor**: el gas se comprime (W_{NETO}) en forma adiabática y, en principio, reversible. Alta Presión (AP)
- 2) **Condensador**: se licúa e intercambia calor con la fuente caliente (Aire, Q_{ENT}). Cambio de estado: calor latente, proceso isotérmico (AP)
- 3) **Válvula de expansión**: descompresión adiabática \rightarrow enfriamiento del líquido a baja presión (BP)
- 4) **Evaporador**: el líquido frío absorbe calor de la fuente fría (heladera, Q_{ABS}) y se vaporiza: calor latente, proceso isotérmico (BP)
- Se reinicia el ciclo en el compresor



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

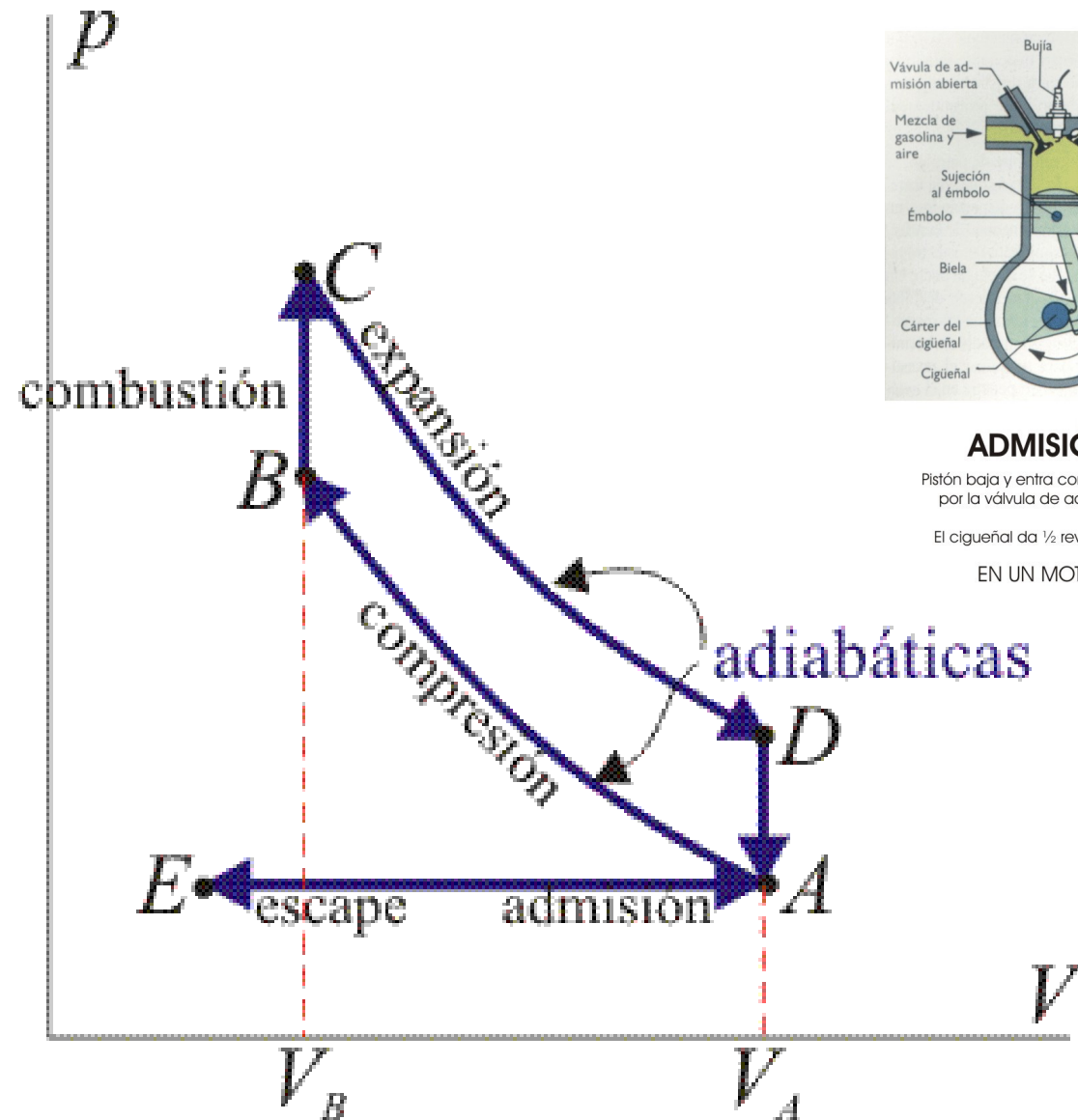
EXPLOSIÓN

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

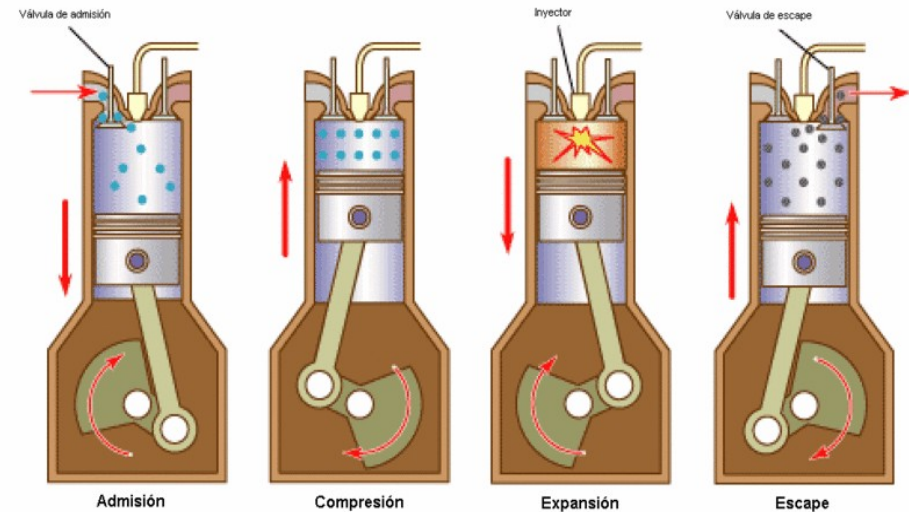
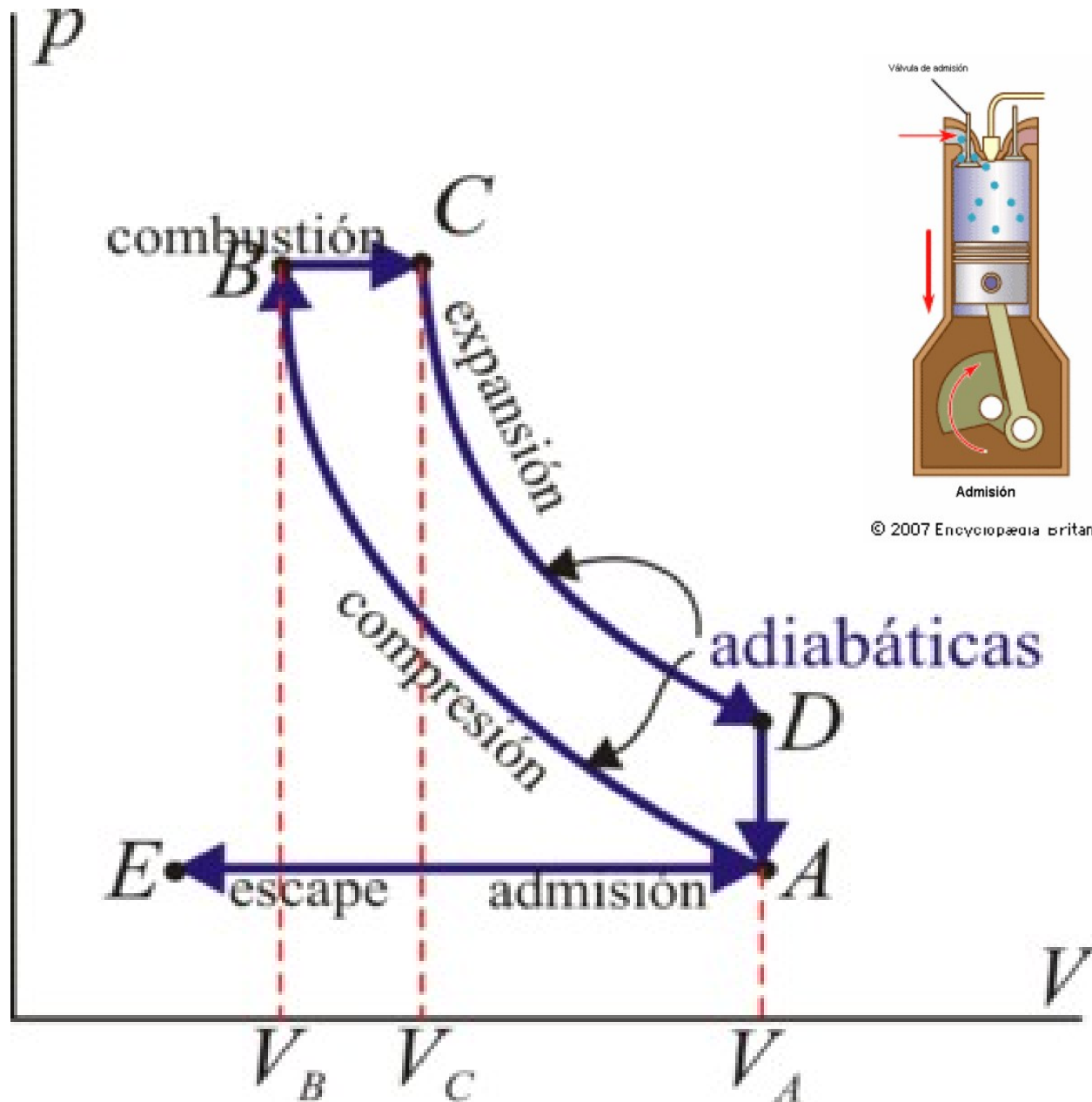
ESCAPE

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

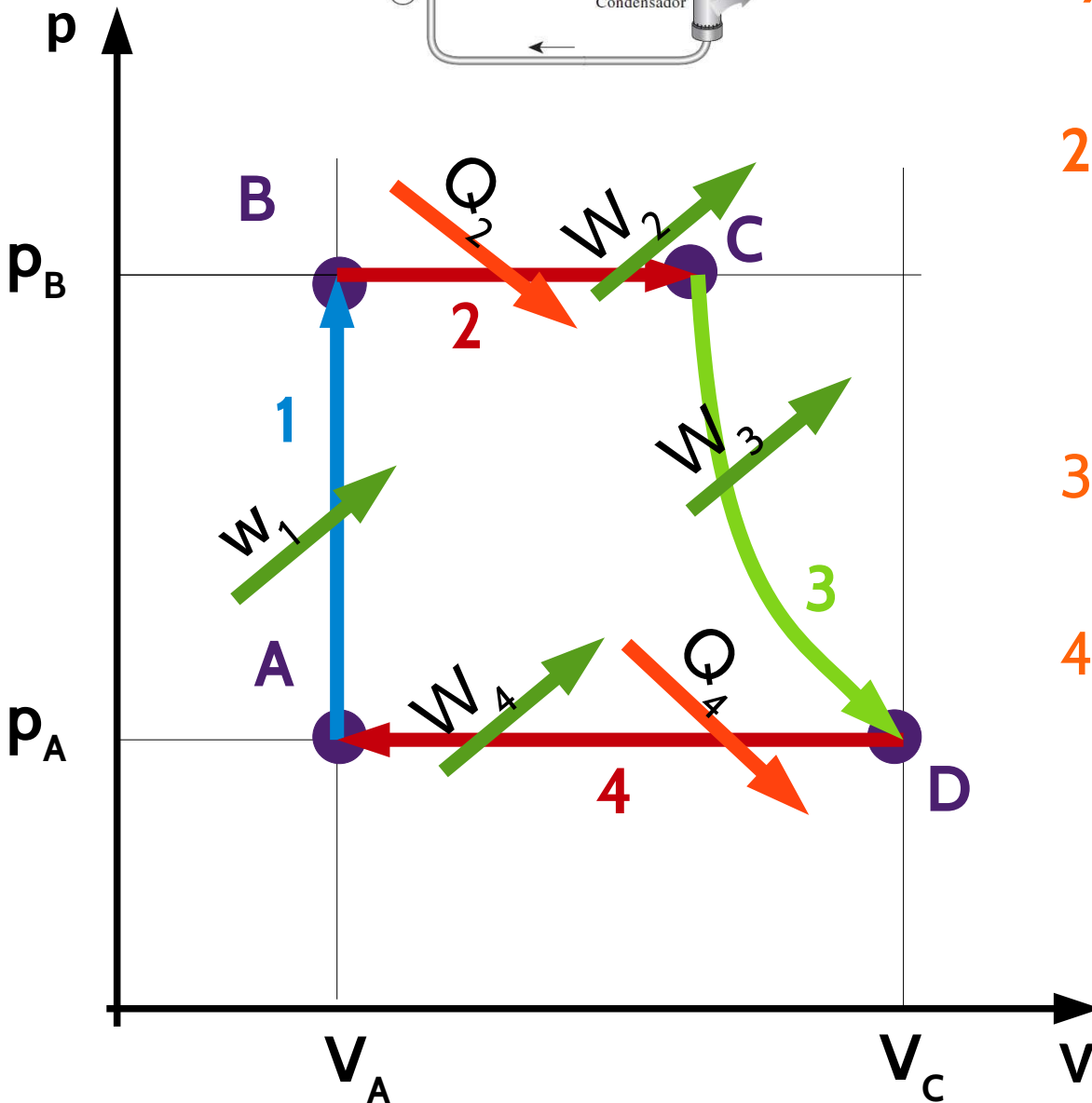
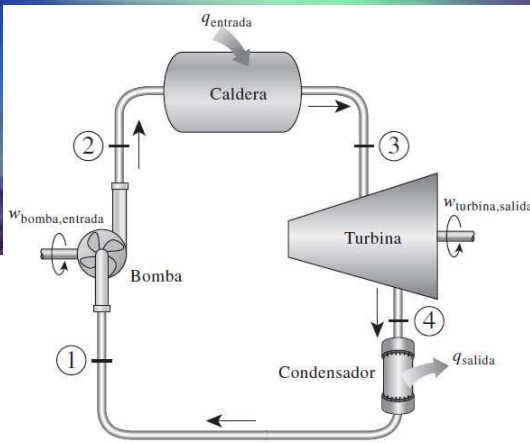


Ciclo Diésel o ciclo de combustión isóbara



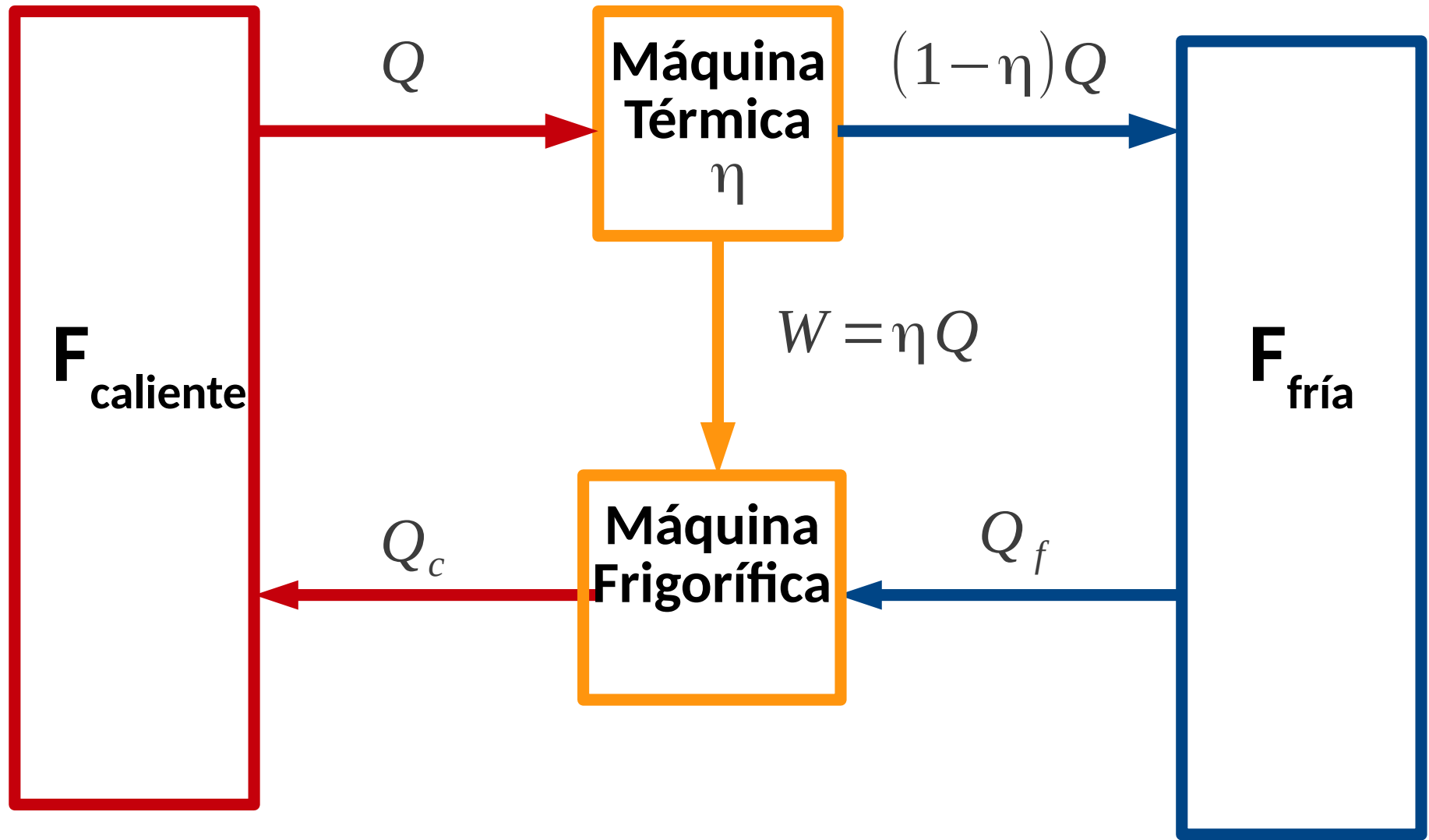
© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

Ciclo de Rankine



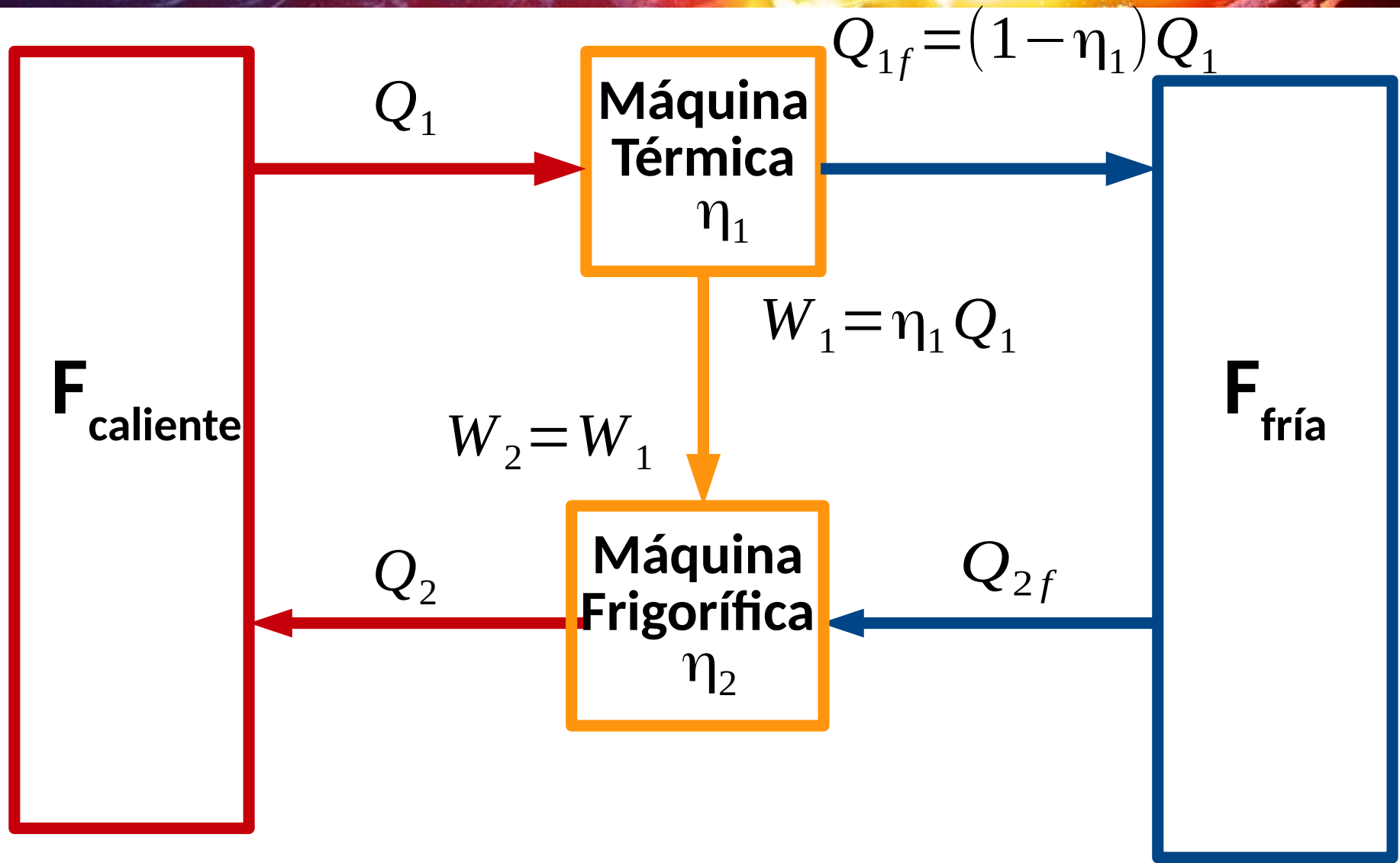
- 1) **bomba**: compresión de agua líquida
- 2) **caldera**: calentamiento y vaporización del agua líquida. Calentamiento isobárico del vapor
- 3) **turbina**: expansión adiabática del vapor hasta la presión inicial;
- 4) **condensador**: enfriamiento y condensación isobárica del vapor. Enfriamiento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

Máquina reversible e irreversible

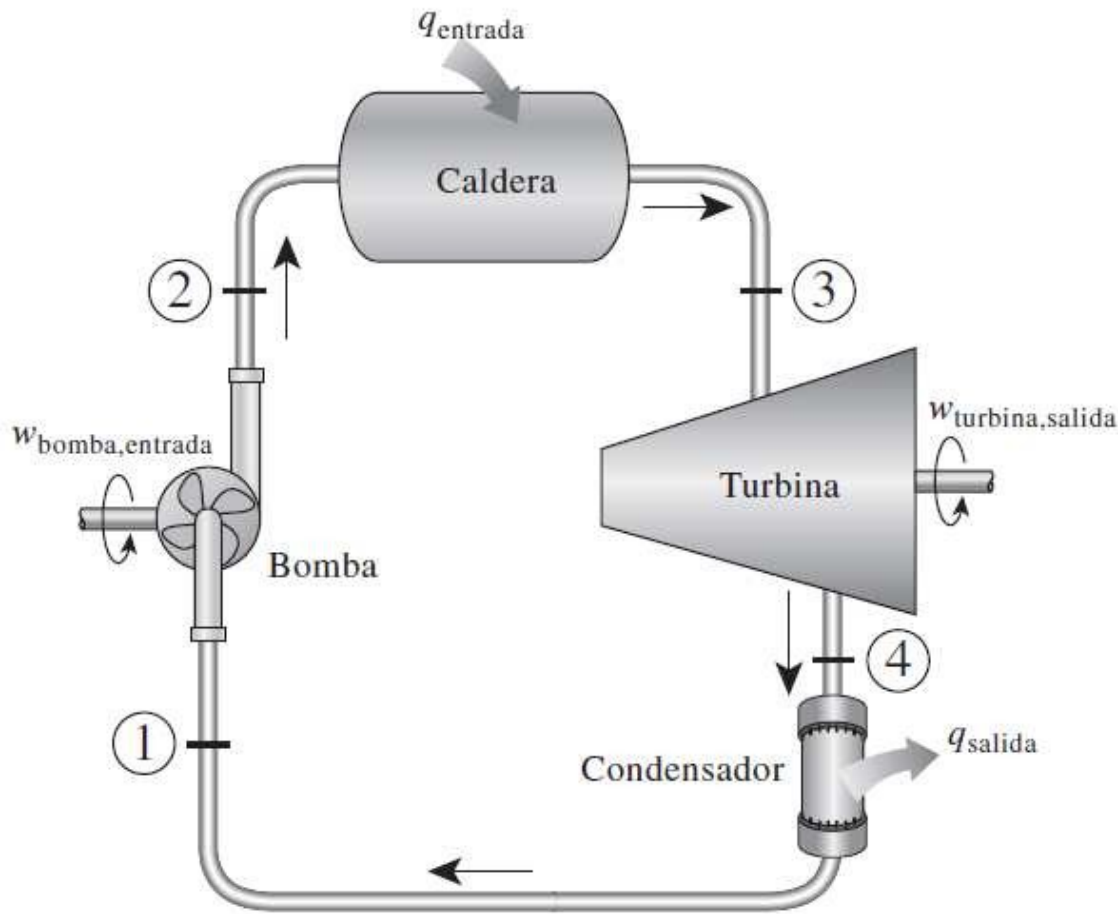


Si la máquina térmica no es reversible, $Q_c < Q$

¿Quemar combustible para enfriar?

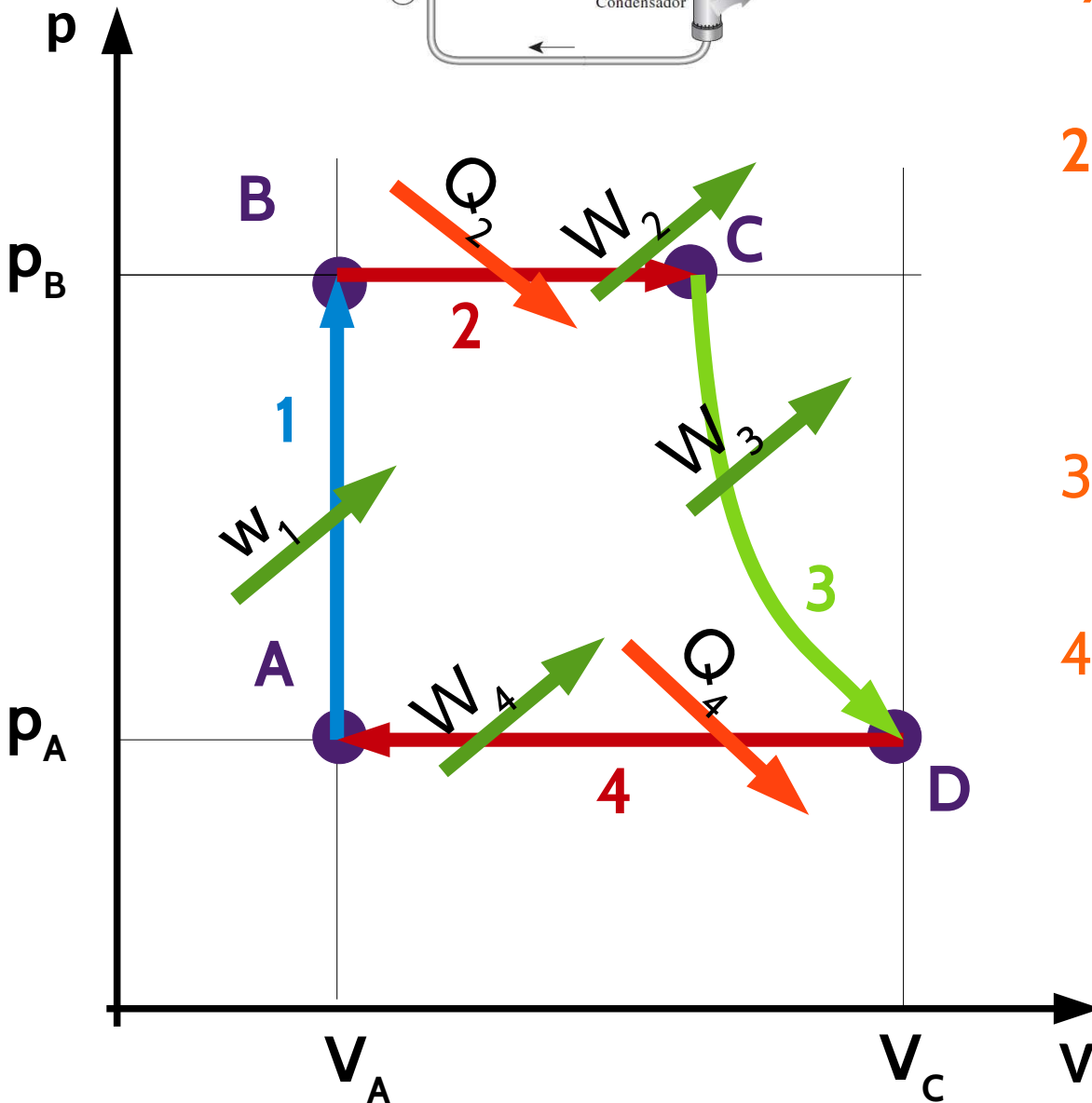
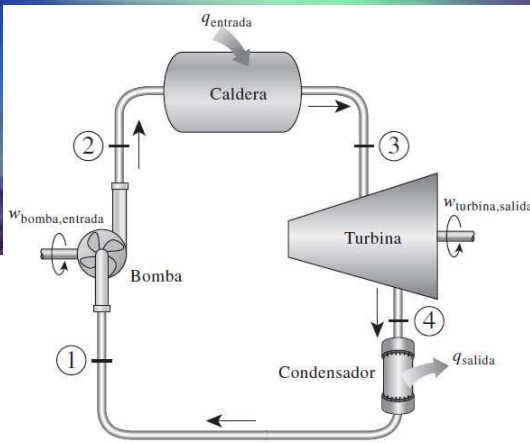


Ciclo de Rankine



- 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

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

- El ciclo de Rankine es un ciclo “realista”, en la actualidad es utilizado con mejoras
- Se trata de una mejora respecto a otros ciclos basados sólo en gas, al introducir un sistema bifásico (agua y vapor), para evitar comprimir el gas
 - Al comprimir agua líquida, se requiere mucho menos energía en la etapa de compresión.
- Tener en cuenta el calor latente de vaporización y condensación

Turbina de vapor

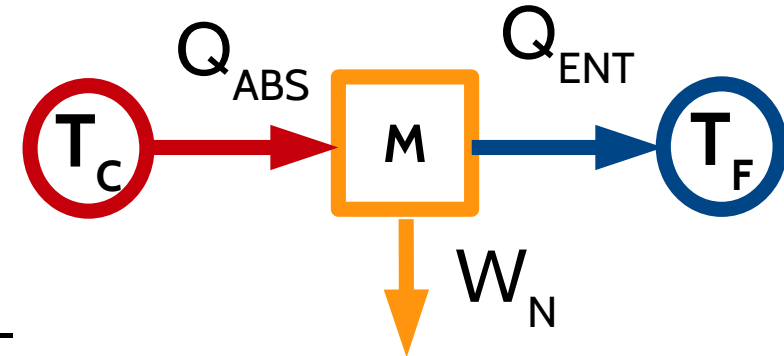
<https://www.youtube.com/watch?v=AyAd-gLO9CE>



¿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**

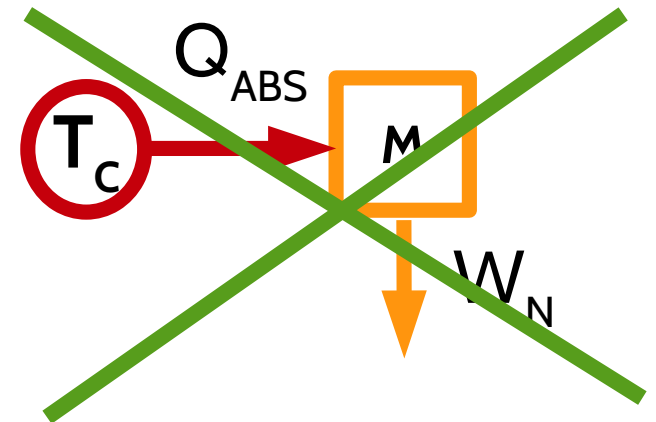
Segundo principio de la termodinámica

- **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

$$\eta < 1$$

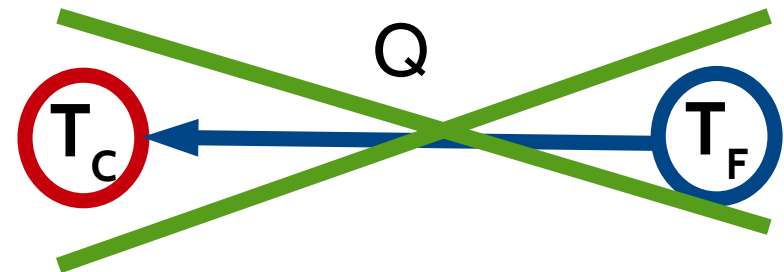
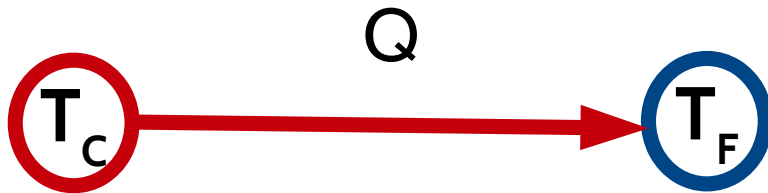


Segundo principio de la termodinámica

- **Enunciado de Clausius**

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

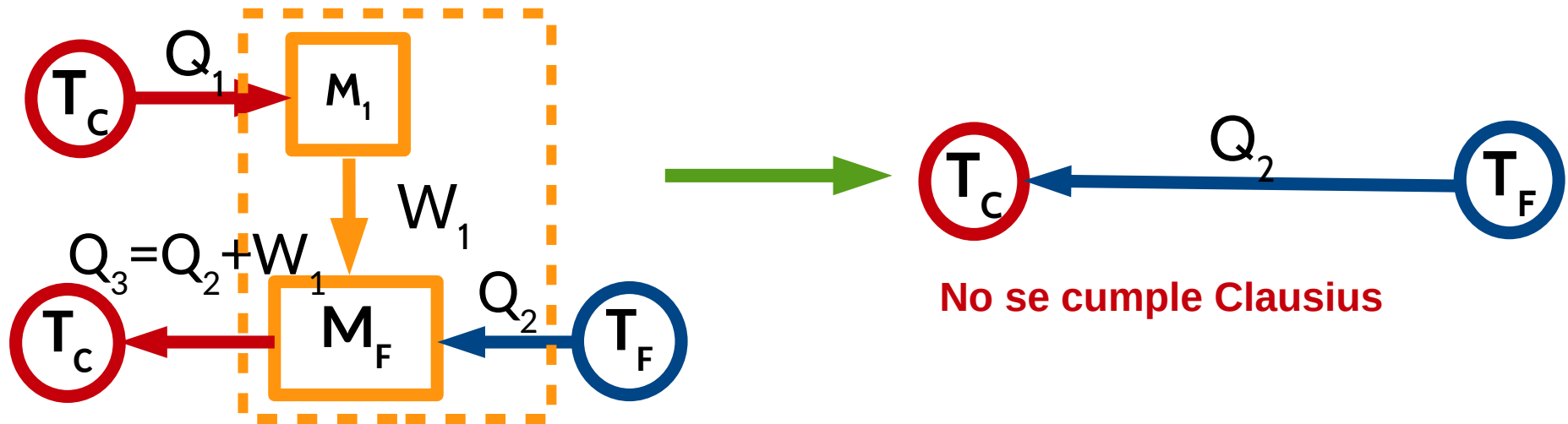
- Al igual que K-P, también expresa un hecho empírico, y también va por la negativa



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

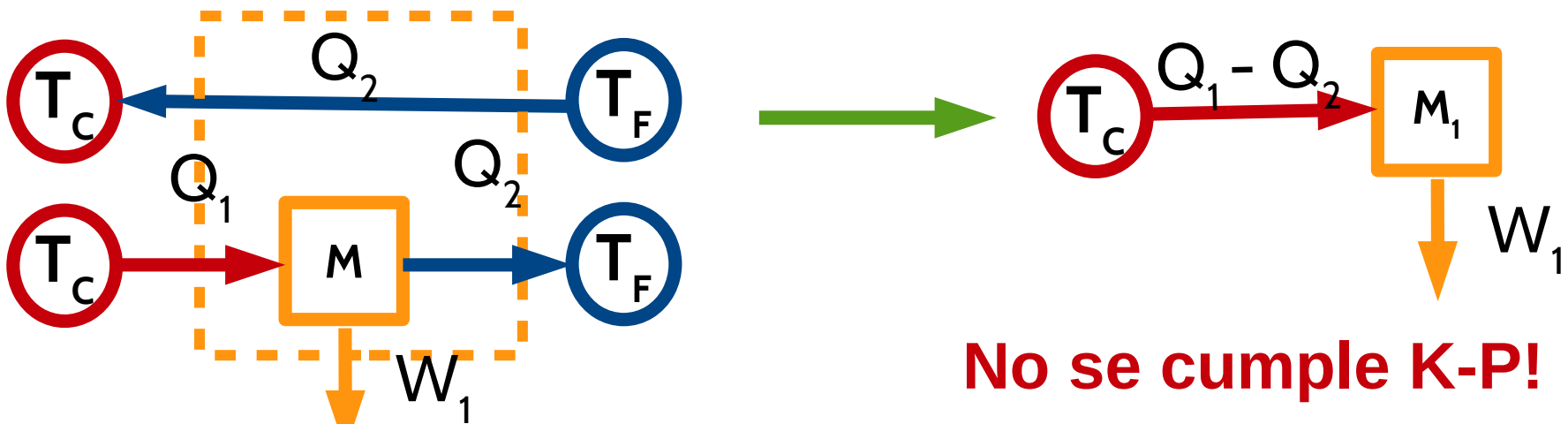
- Ambos enunciados son equivalentes:

Supongamos existe una máquina que no cumple K-P:



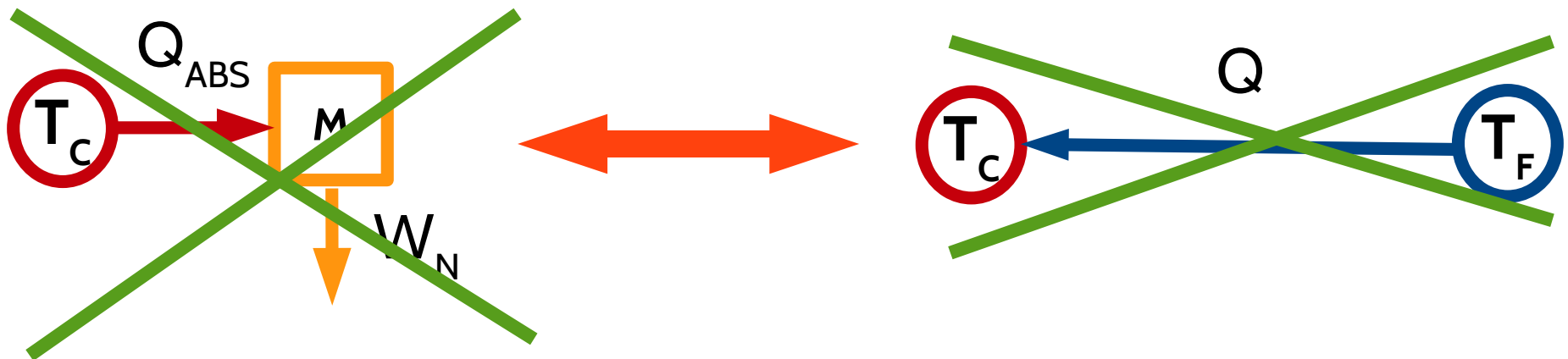
- Dado que, por el 1^{er} ppio, $W_1 = Q_1 \rightarrow Q_3 = Q_1 + Q_2$.
- y puesto que la fuente caliente entrega Q_1 y recibe Q_3 , hay una transferencia neta y espontánea Q_2 de T_F a T_C

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



- 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 .

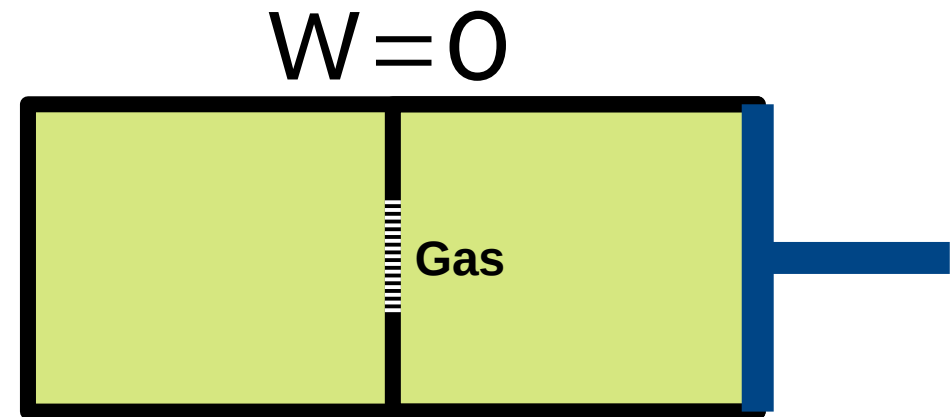
- Hemos visto que el no cumplimiento de un enunciado implica el no cumplimiento del otro enunciado →
Ambos enunciados del 2º principio son equivalentes



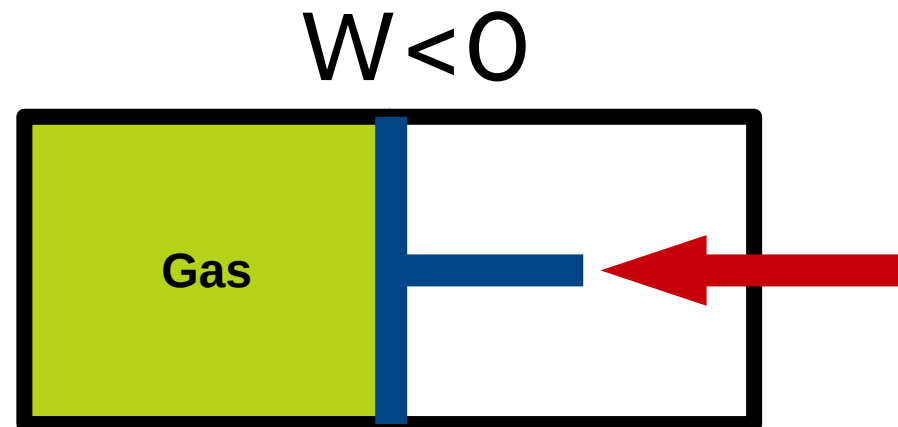
Reversibilidad, otra vez

- *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

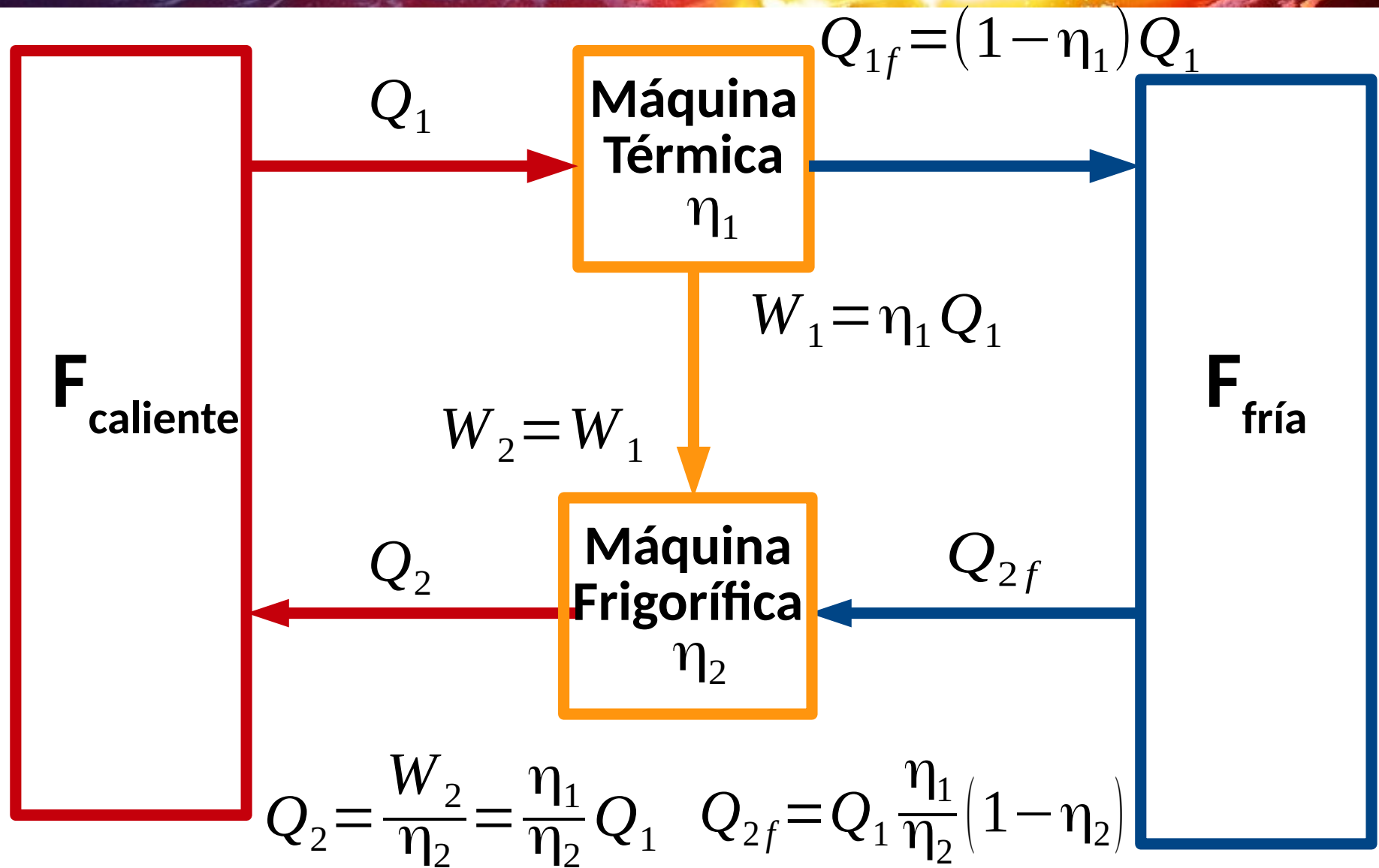


El proceso es irreversible porque el entorno cambió: realizó un trabajo sobre el sistema

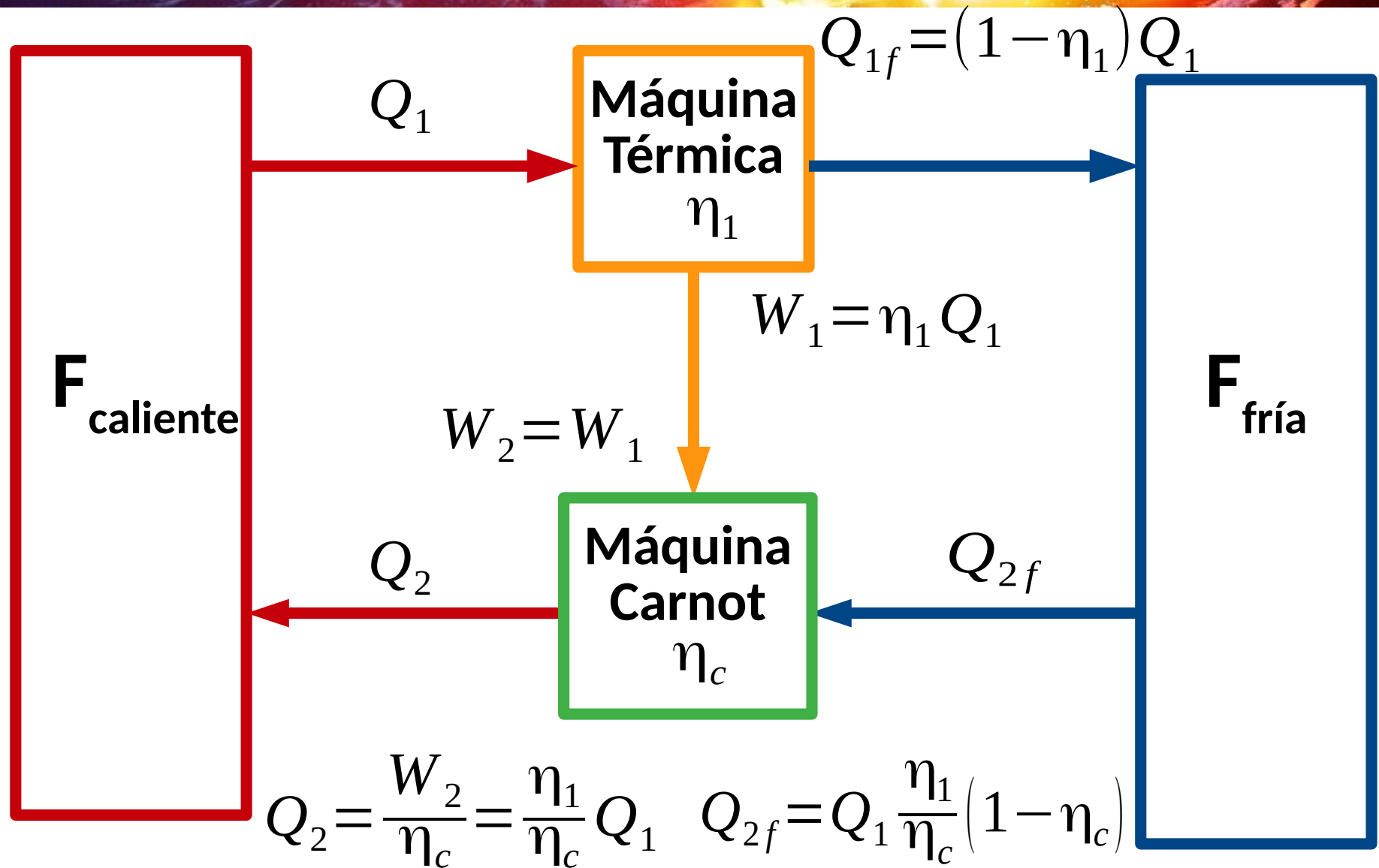


- **Interna:** procesos internos fuera de equilibrio → el sistema no está en un estado termodinámico definido
 - Mecánica: conversión de trabajo en calor (p. ej., viscosidad)
 - Térmica: transferencias de calor en el sistema
 - Químico-físicas: reacciones, mezclas, disoluciones, ...
 -
- **Externa:** 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

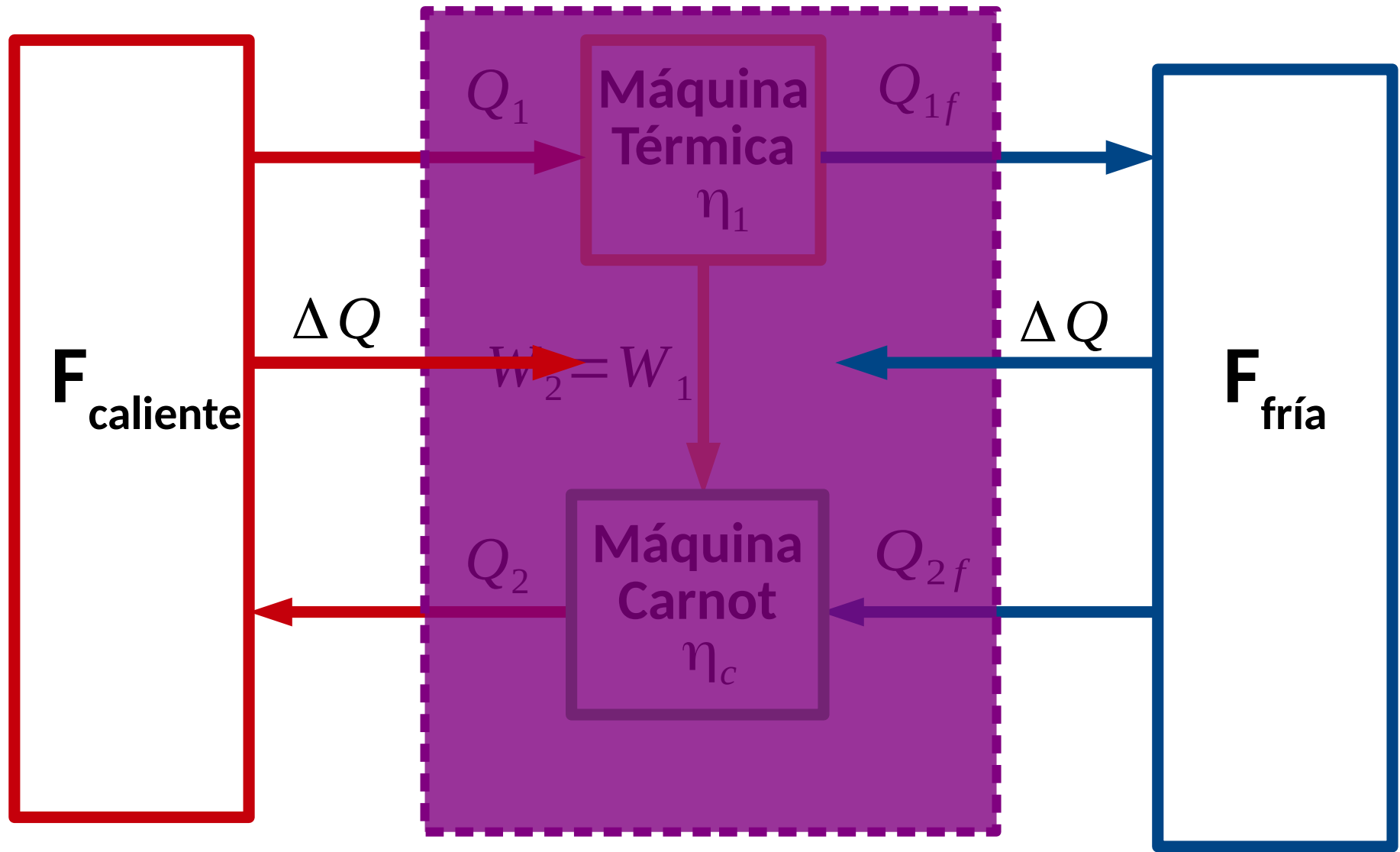
- Sale: $Q_{2f} = Q_1 \frac{\eta_1}{\eta_c} (1 - \eta_c)$
- Entra: $Q_{1f} = Q_1 (1 - \eta_1)$

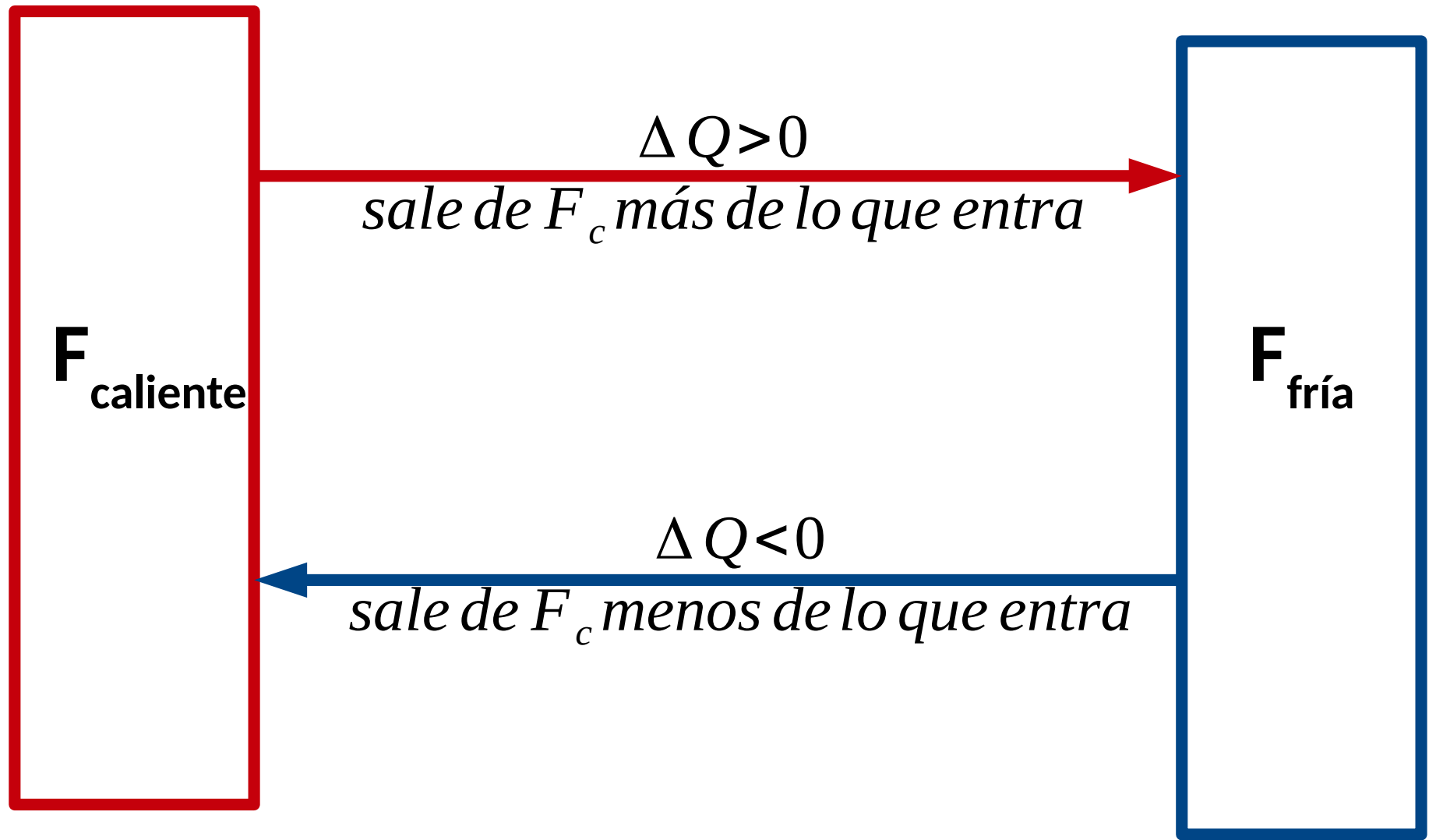
lo que entra menos lo que sale
 $\rightarrow \Delta Q_f = Q_{1f} - Q_{2f} = Q_1 \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_c}\right)$

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

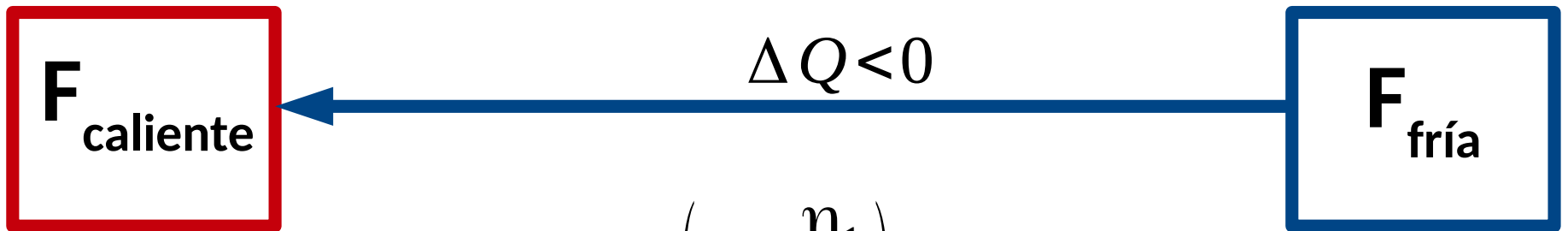
Balance de energía en cada fuente

Entendiendo ΔQ

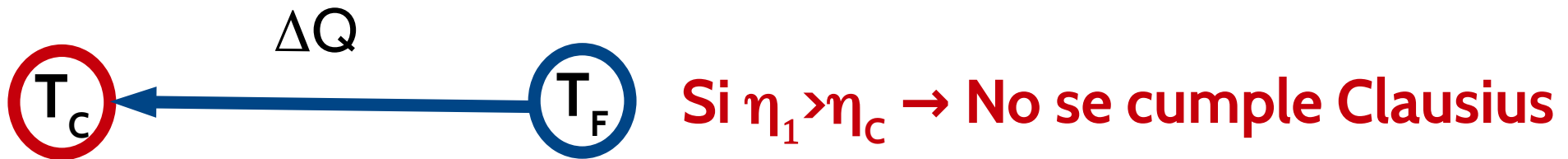




Si ΔQ es negativo....

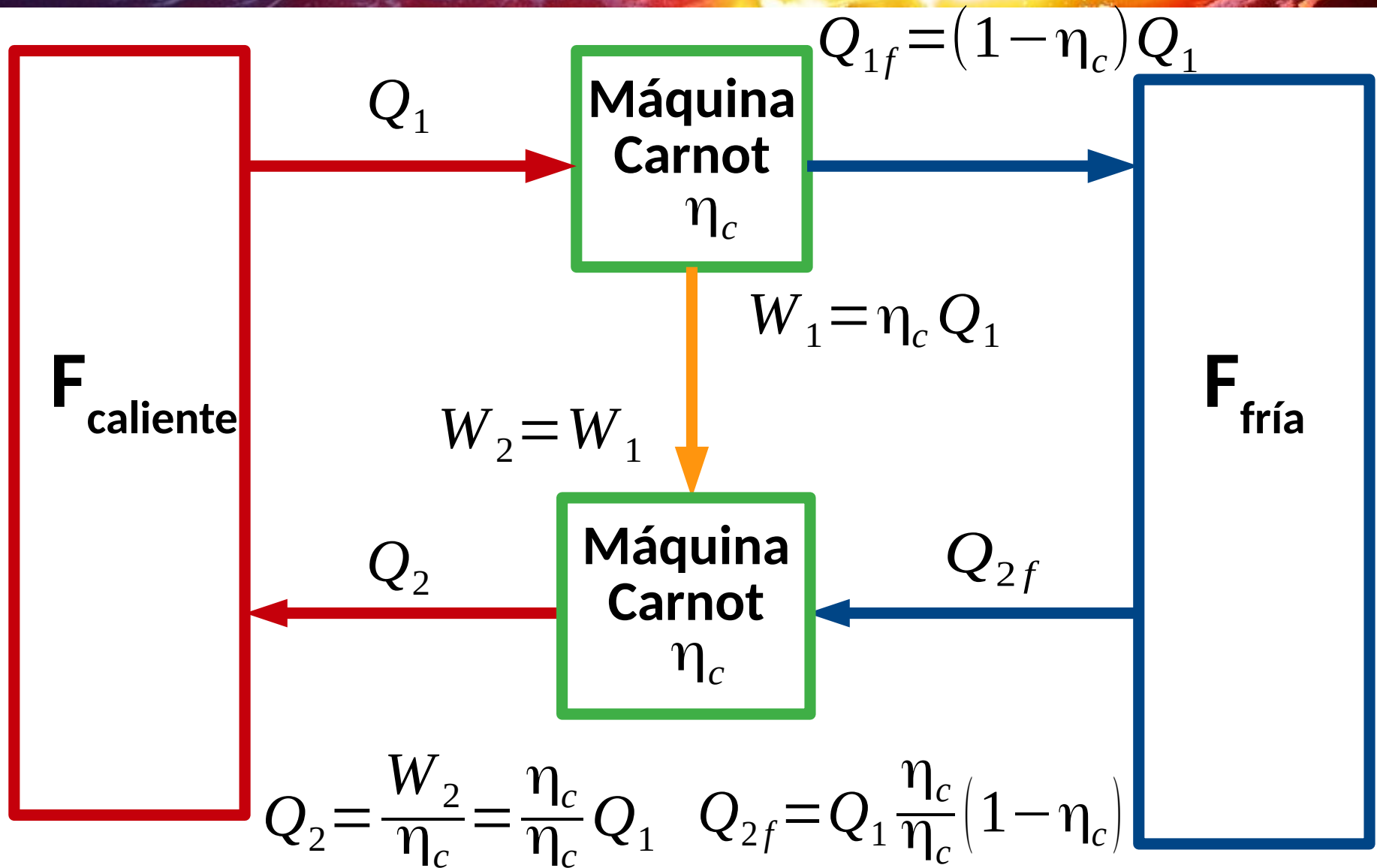


$$\rightarrow \Delta Q_c = Q_1 \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_c} \right) < 0 \rightarrow \eta_1 > \eta_c$$



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

Conclusión, η es el rendimiento de una máquina térmica no reversible, entonces

- 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*