

Universidad Nacional de Río Negro

Física III B – 2019

- **Unidad** 03
- **Clase** U03 C01
- **Fecha** 23 Abr 2019
- **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

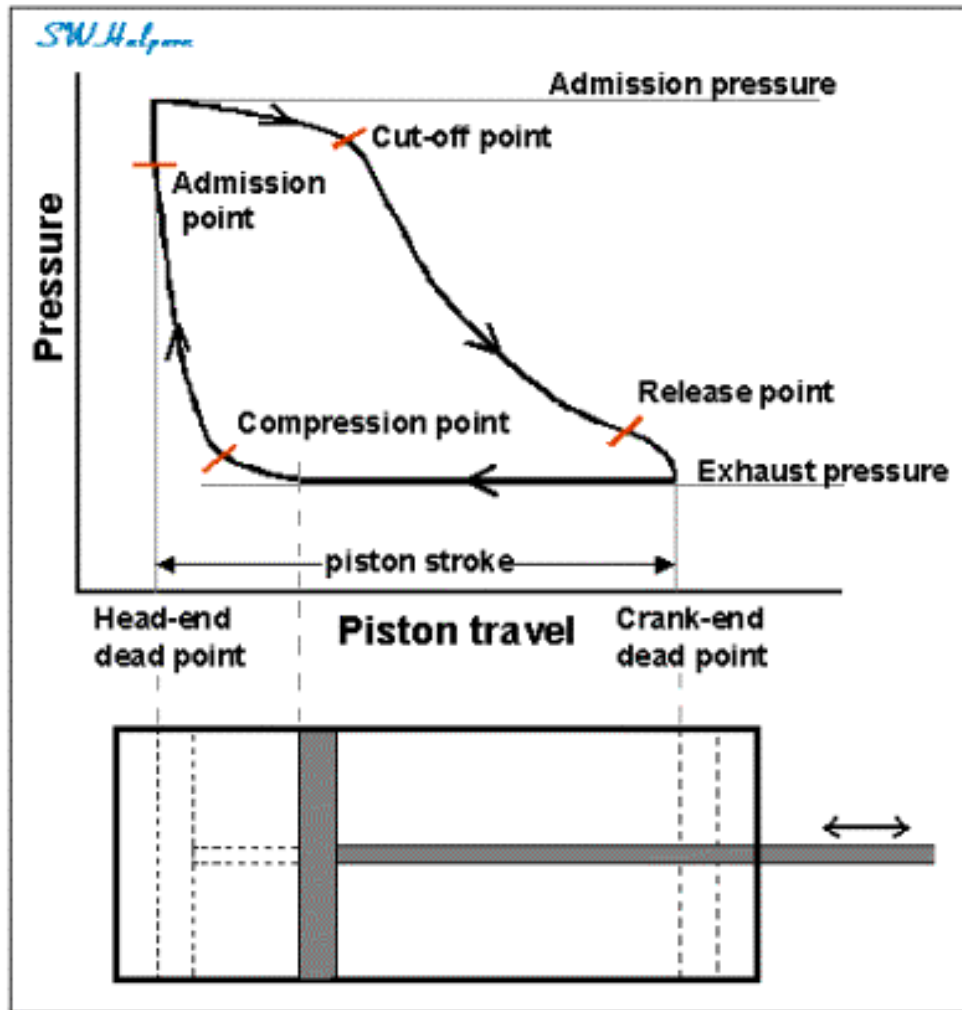
Del 02/May al 24/May (8 encuentros)

- **Ciclos termodinámicos. Ciclo de Carnot. Eficiencia de una máquina térmica.** Segundo principio de la termodinámica. Postulados. Móviles perpetuos. Entropía. Interpretación micro y macroscópica de la entropía. La flecha temporal



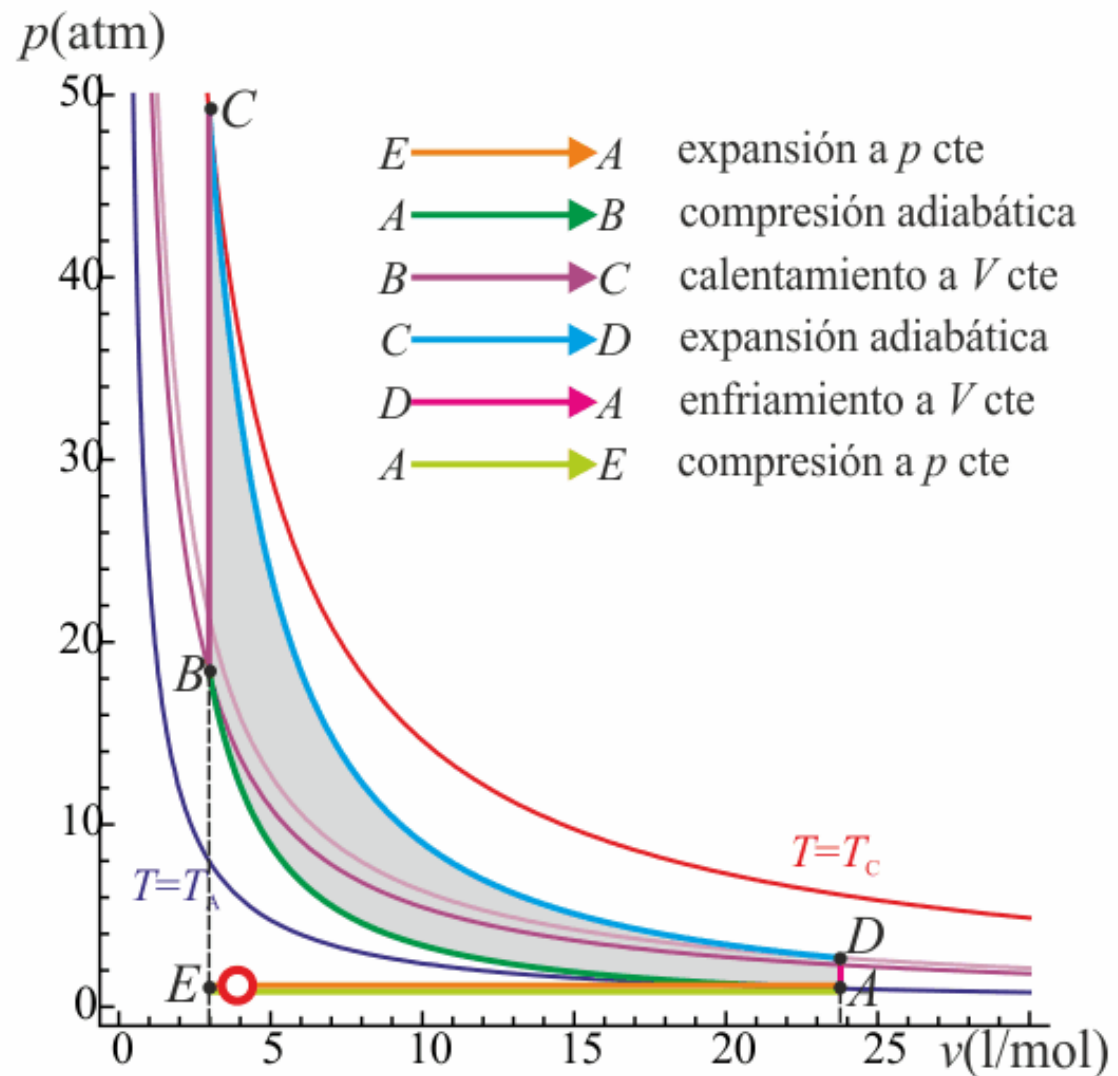
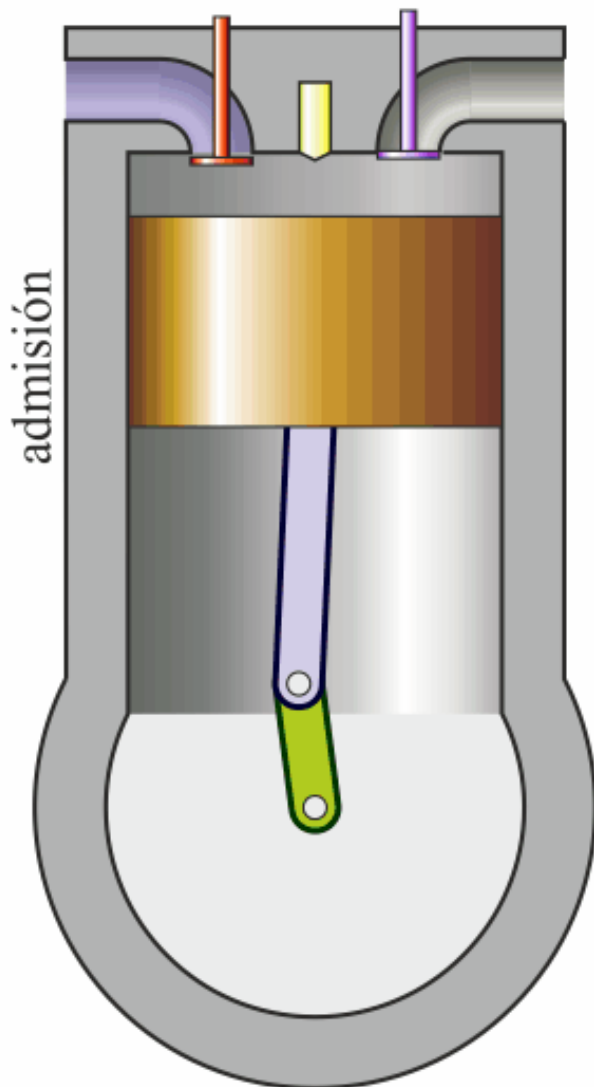
Un ciclo que funciona

El inicio de la revolución industrial

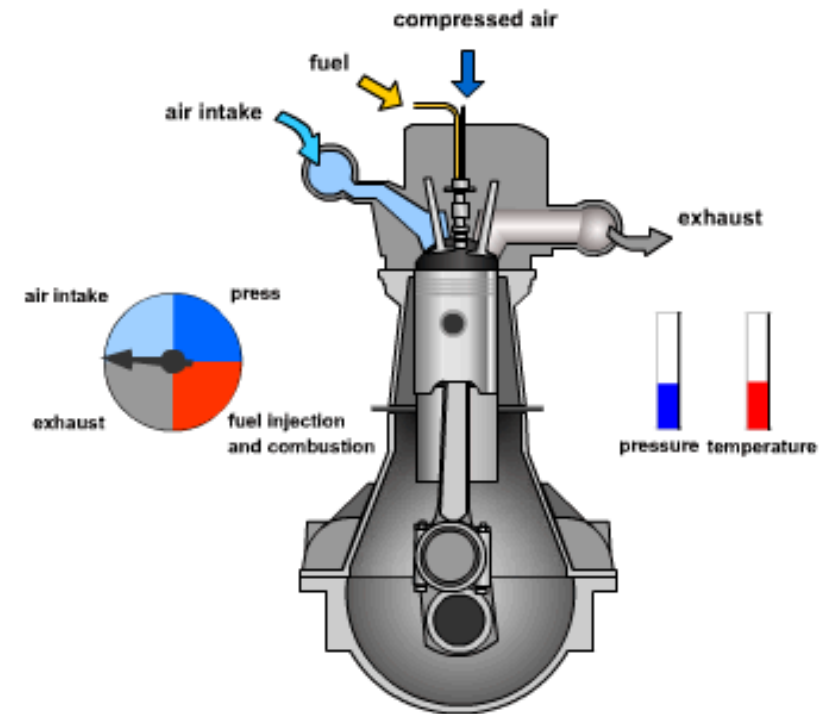
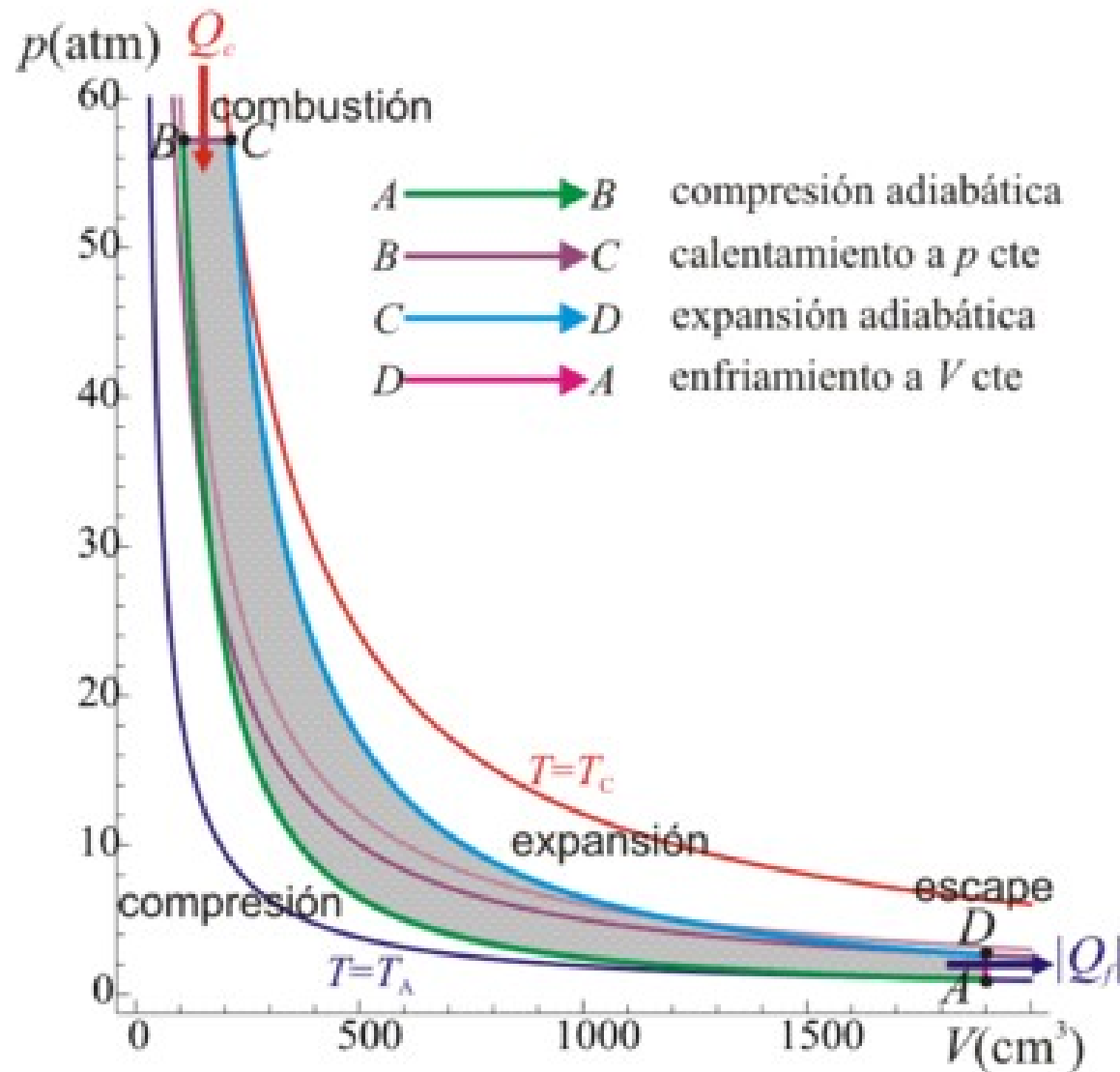


- **Admisión:**
el vapor de alta presión ingresa (ingreso de energía desde la fuente caliente)
- **Expansión:**
comienza la expansión del vapor desplazando al pistón y produciendo trabajo mecánico
- **Escape:**
Rápida salida de vapor de baja presión hacia la fuente fría
- **Compresión:**
La admisión de vapor del otro lado del cilindro comprime el remanente y ecualiza las presiones para la nueva admisión

El ciclo Otto - realista

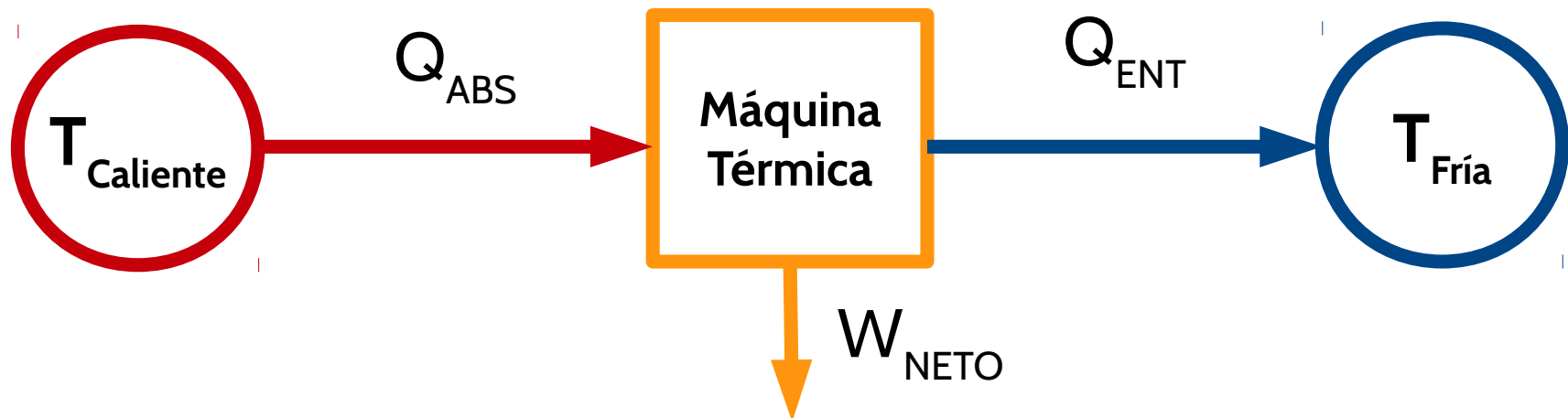


Ciclo Diésel o ciclo de combustión isóbara

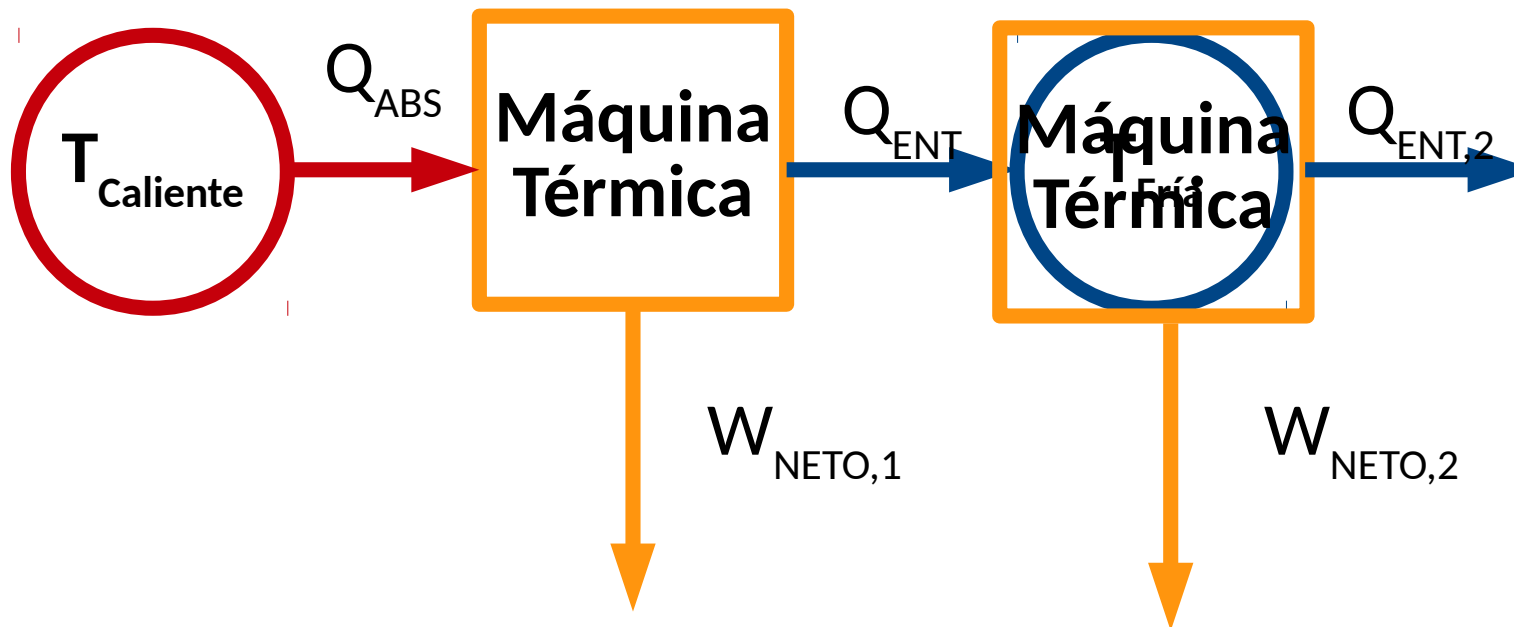


Máquinas térmicas

- Máquina térmica: obtengo trabajo mecánico a partir de la transferencia de calor de la fuente caliente a la fuente fría...



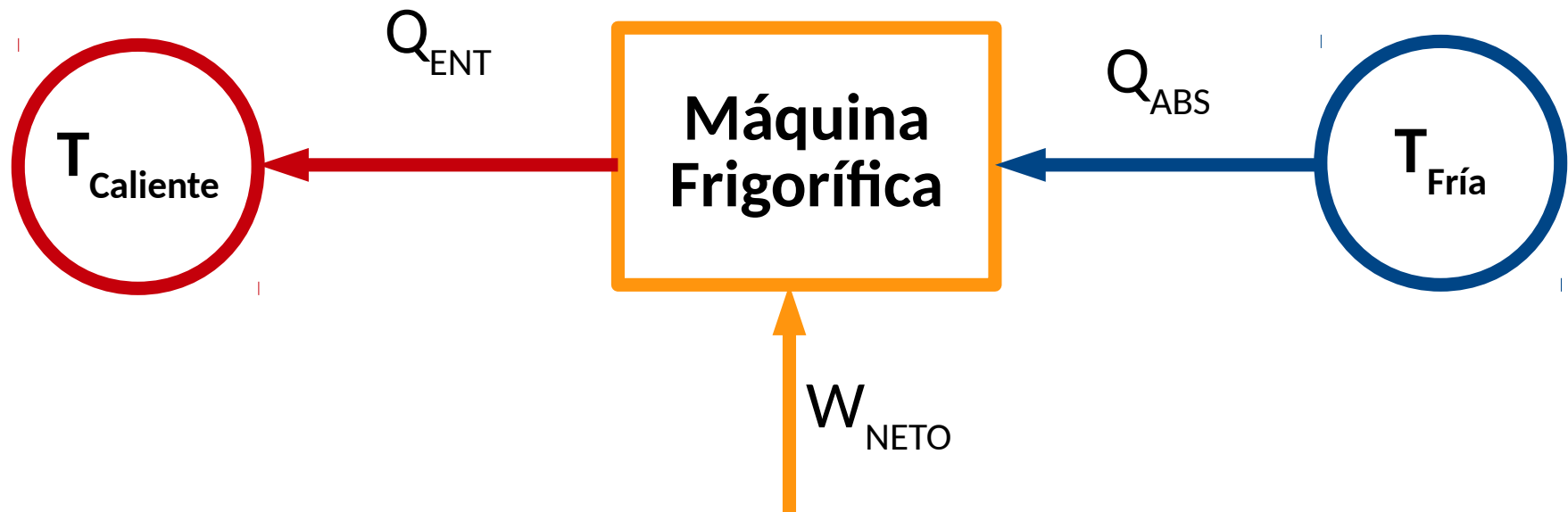
- Mejora de la eficiencia global



$$\eta = \frac{W_{\text{NETO},1} + W_{\text{NETO},2}}{Q_{\text{ABS}}}$$

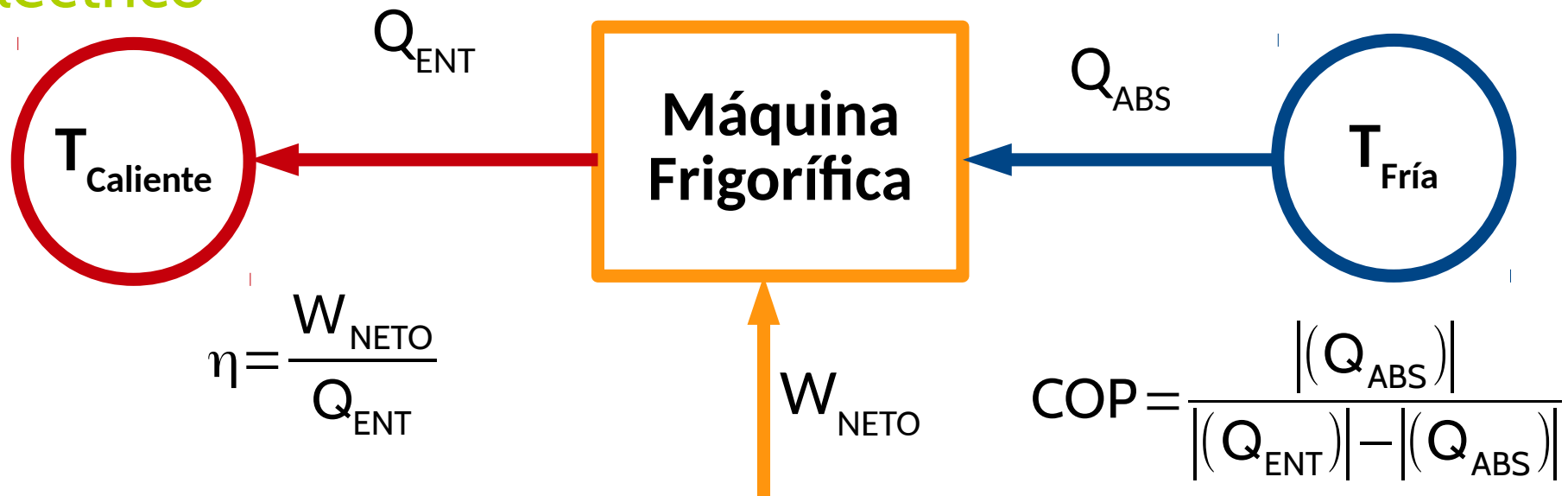
Ciclo inverso → Máquina frigorífica

- Si entrego trabajo, es posible transferir calor de la fuente fría a la caliente
- Heladera:



Ciclo inverso → Máquina frigorífica

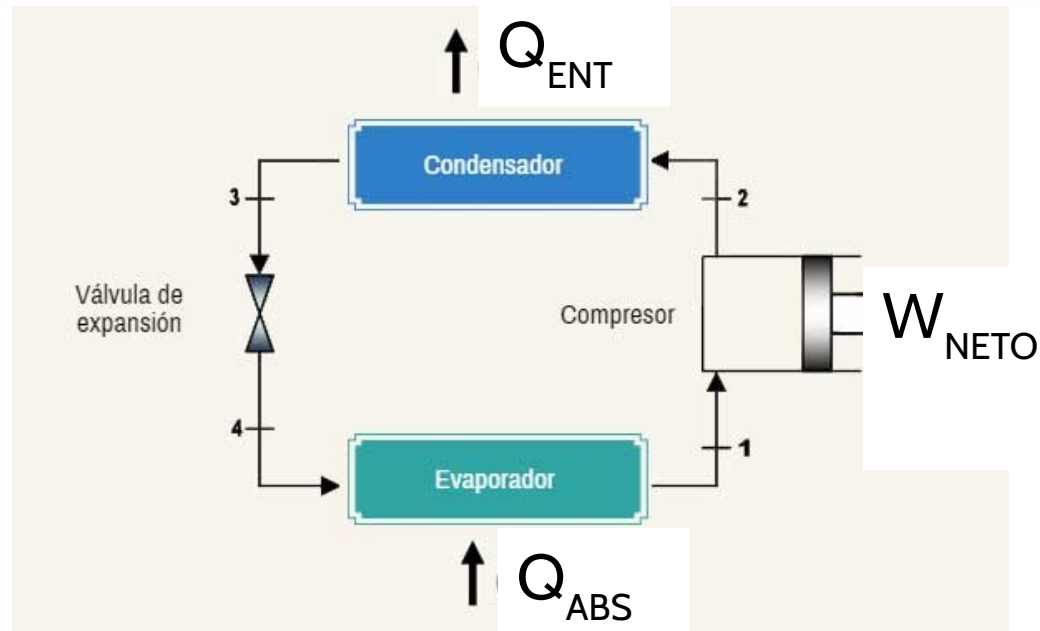
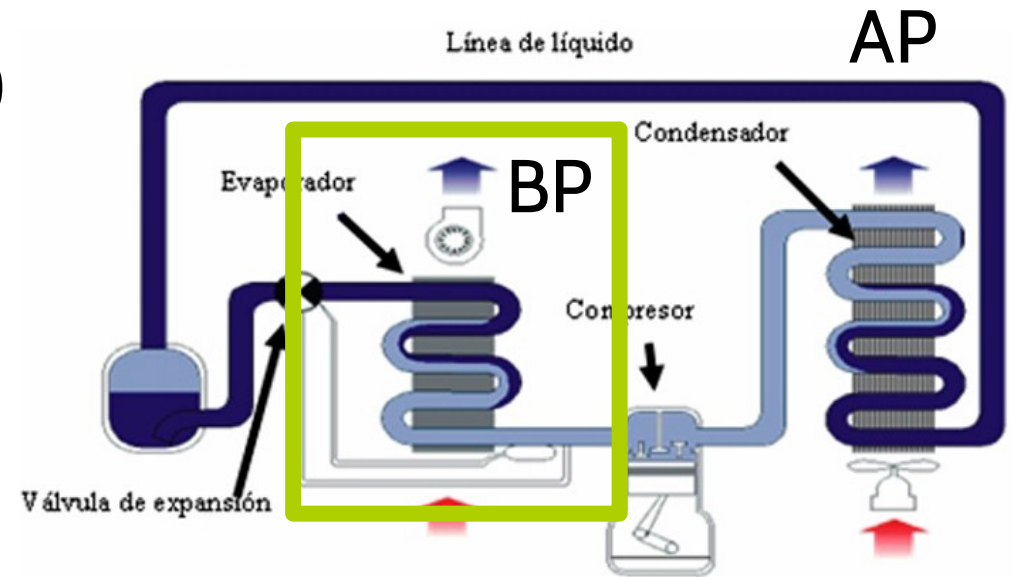
- Si entrego trabajo, es posible transferir calor de la fuente fría a la caliente
- **Heladera:** es una “bomba de calor” que extrae calor de una fuente fría para cederlo a otro a una temperatura mayor, impulsada por un motor externo, usualmente eléctrico



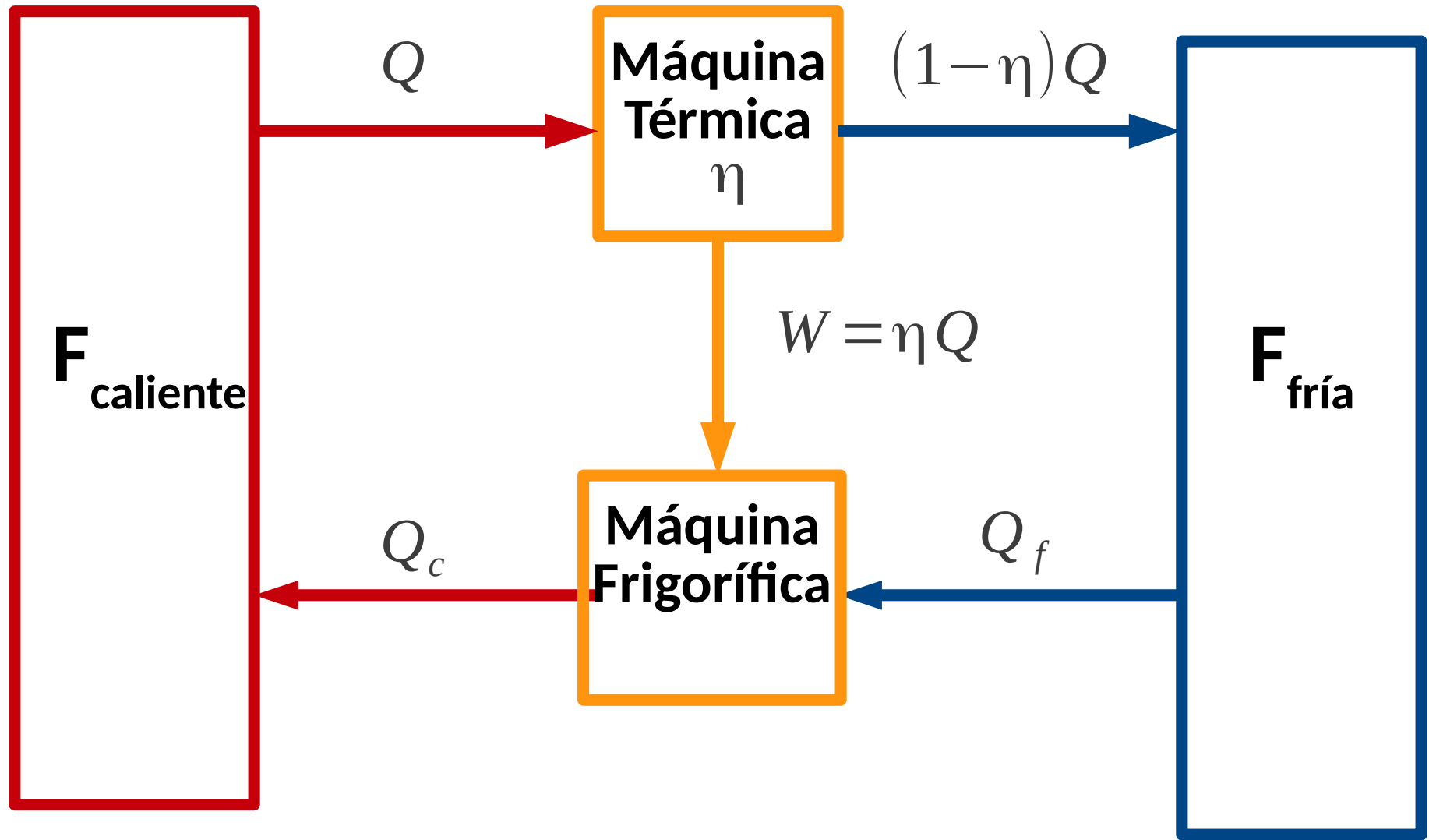
Funcionamiento: refrigeración por compresión:

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



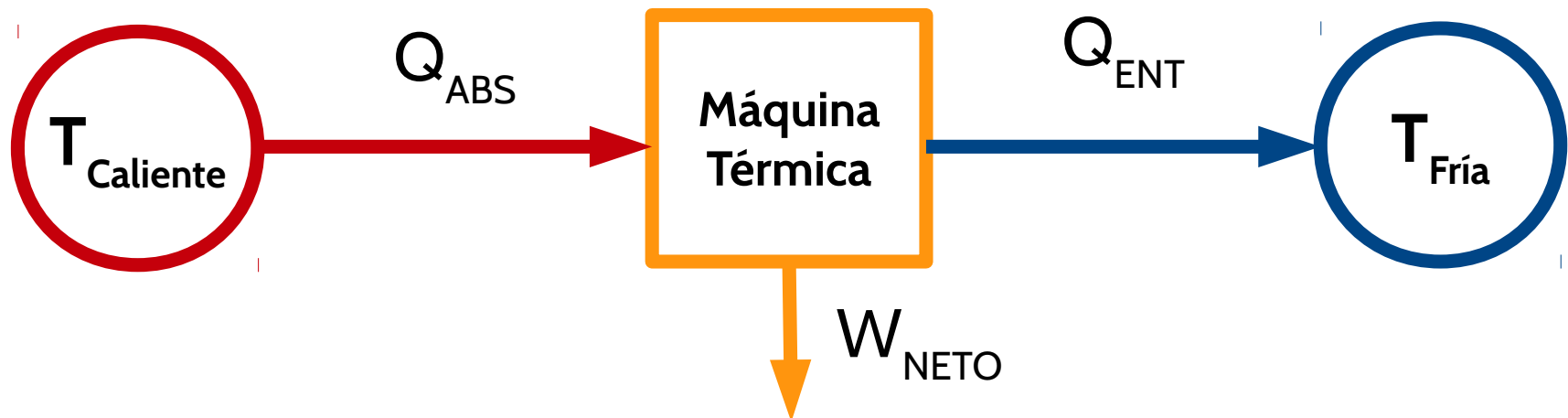
Máquina reversible e irreversible



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

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



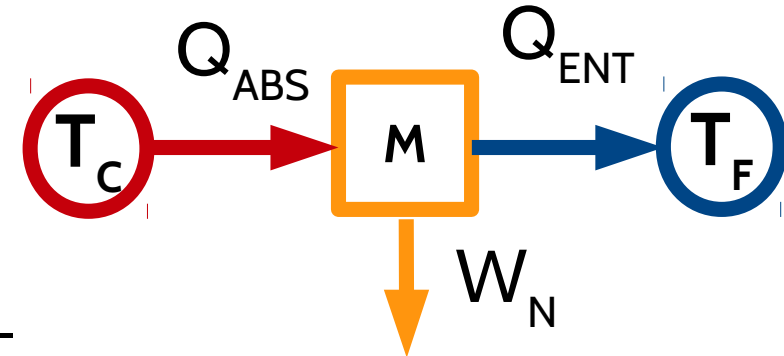
$$\eta = \frac{W_{\text{NETO}}}{Q_{\text{ABS}}} = \frac{Q_{\text{ABS}} - Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} = 1 - \frac{Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} \leq 1 - \frac{T_{\text{Fría}}}{T_{\text{Caliente}}}$$

Abr

¿Por qué no puede ser 1?

- Hemos dicho

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



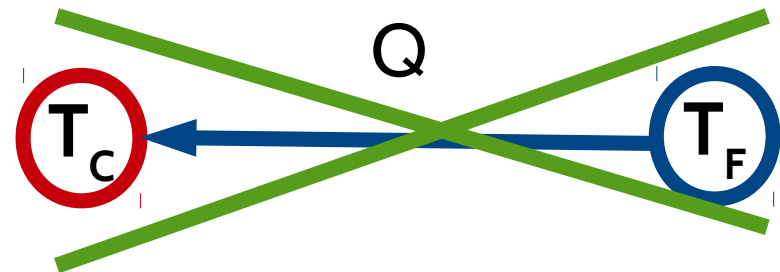
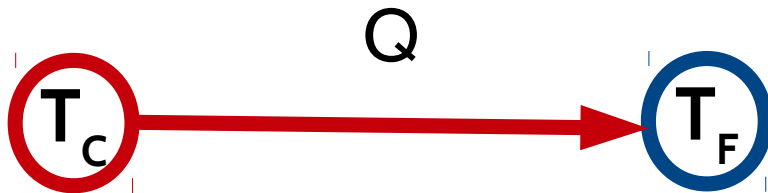
- Para que el rendimiento sea 1 debería pasar que $Q_{\text{ENT}}=0$
- **Esto implicaría una conversión total del calor entregado por la fuente caliente en trabajo ← Esto no es posible**

Segundo principio de la termodinámica

- **Enunciado de Clausius**

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

- Expresa un hecho empírico, y va por la negativa: nos dice lo que no es posible hacer



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

Segundo principio de la termodinámica

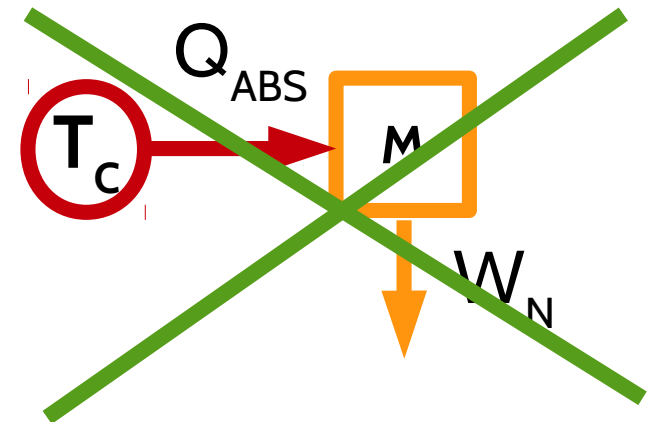
- **Enunciado de Kelvin-Planck (K-P)**

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.

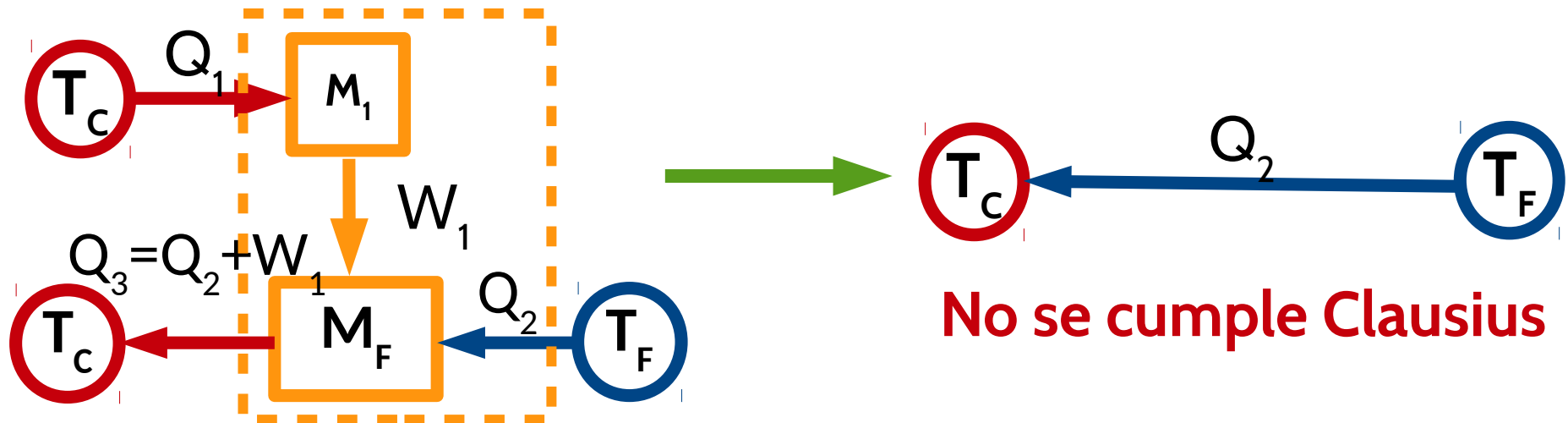
- Al igual que Clausius, también expresa un hecho empírico, y también va por la negativa

- El rendimiento de una máquina térmica siempre será menor que 1

$$\eta < 1$$

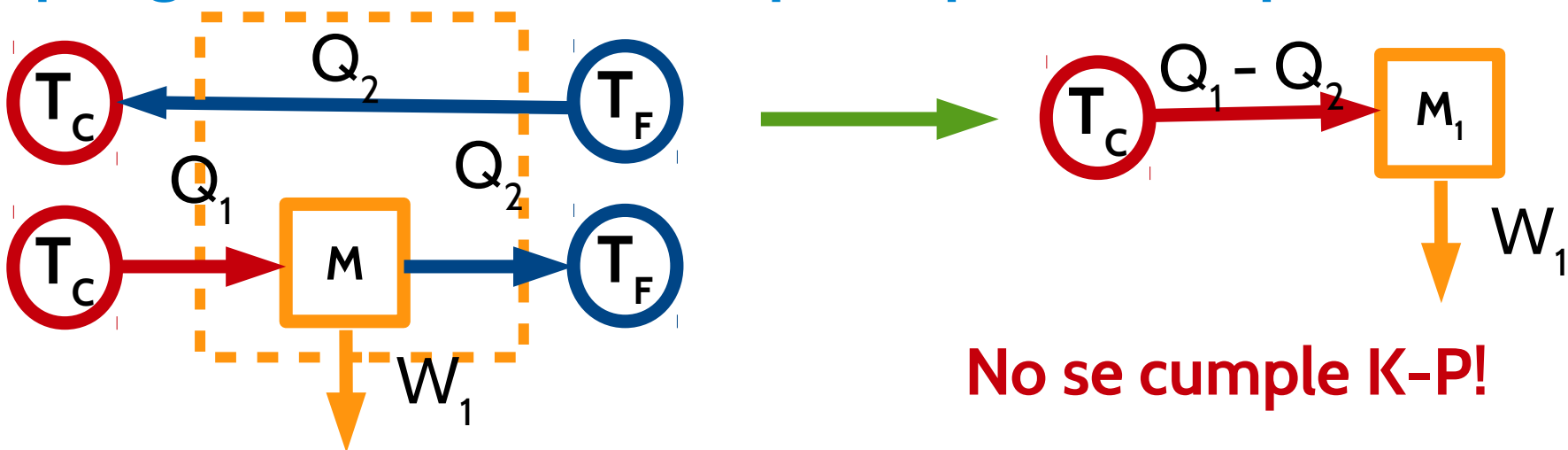


- Ambos enunciados son equivalentes:
Supongamos existe una máquina que no cumple K-P:



- 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:**

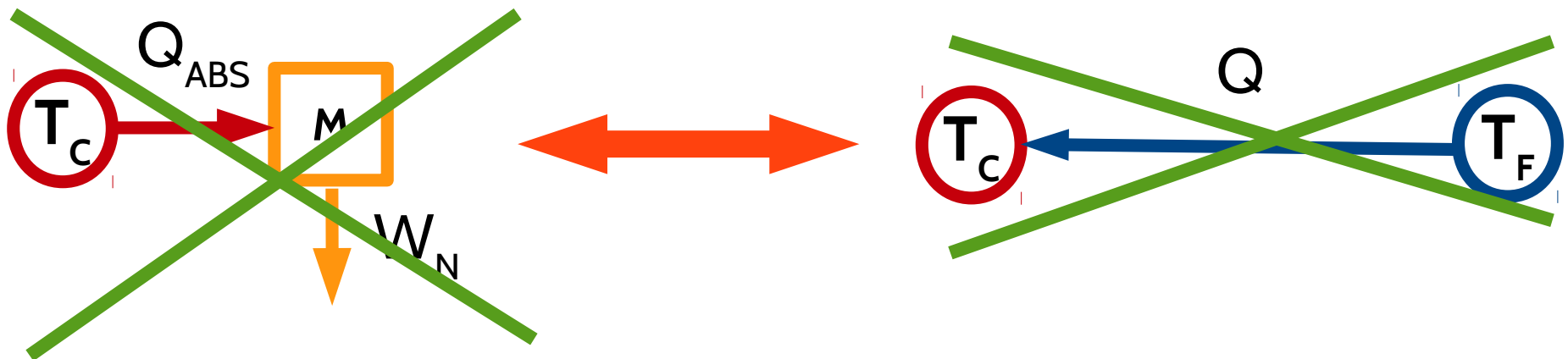


No se cumple K-P!

- 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 .

Equivalencia

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

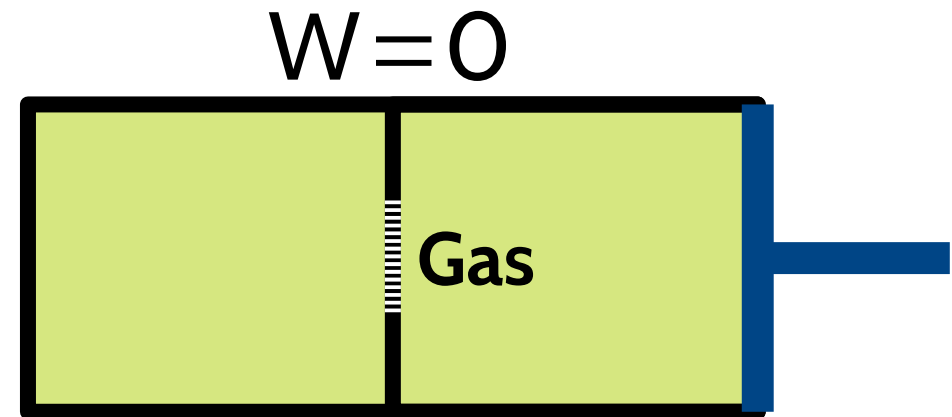




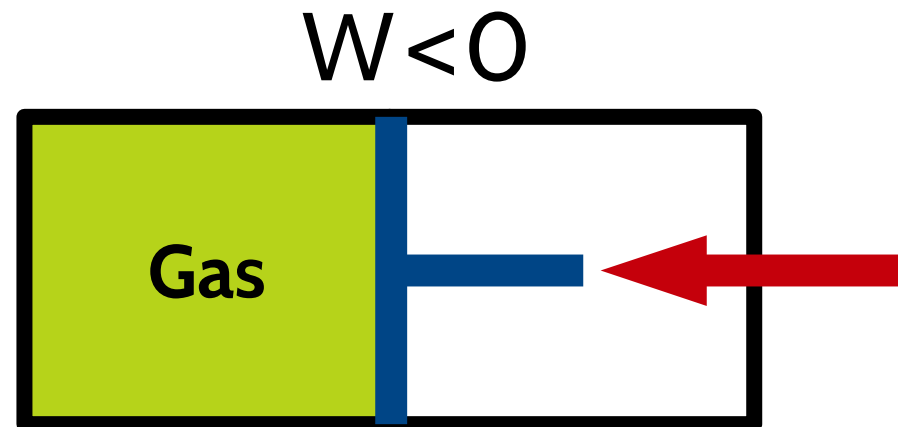
Reversibilidad, otra vez

- *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

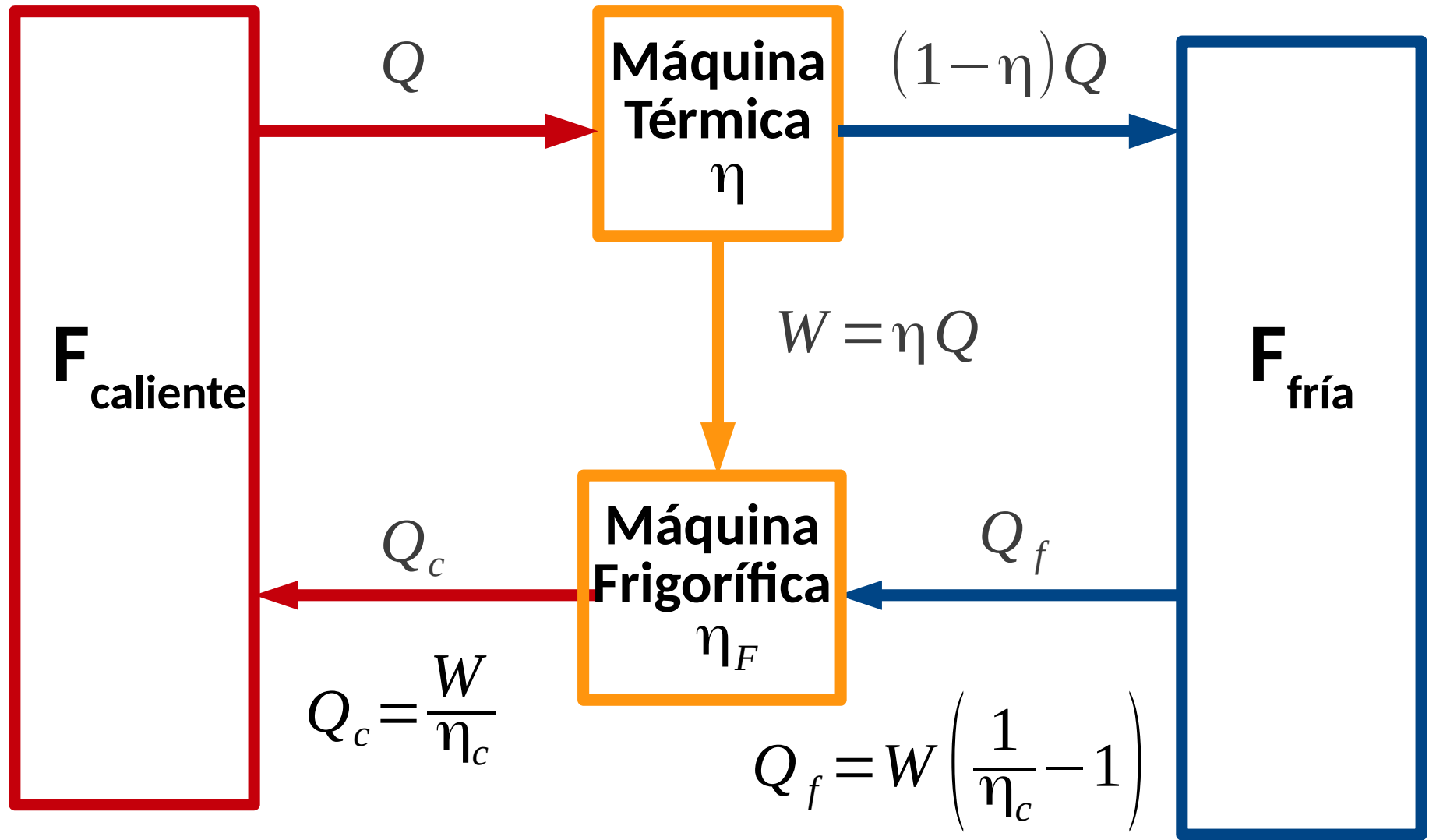


El proceso es irreversible porque el entorno cambió: realizó un trabajo sobre el medio

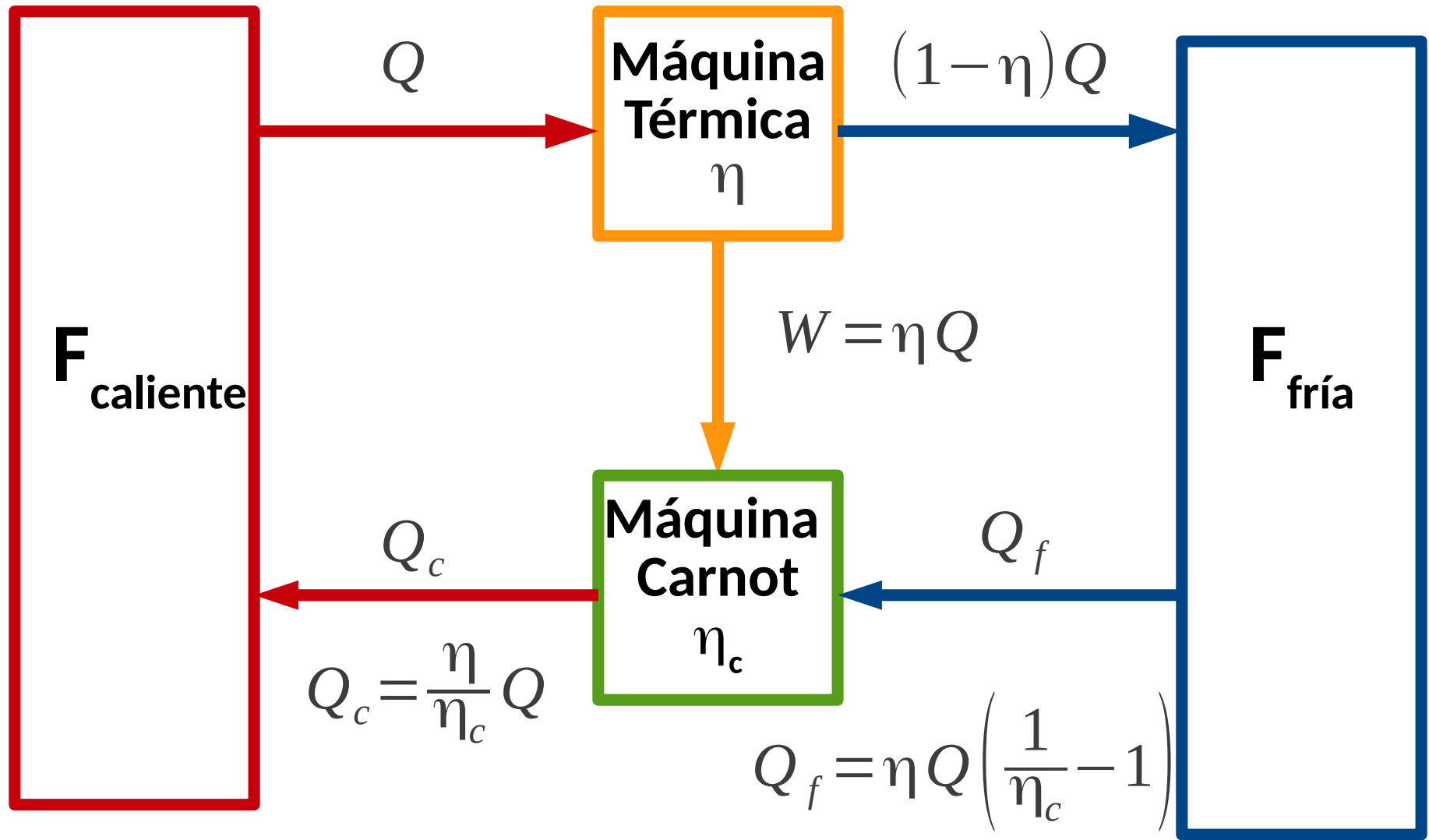


- **Interna:** procesos internos fuera de equilibrio → el sistema no está en un estado termodinámico definido
 - Mecánica: conversión de trabajo en calor (p. ej., viscosidad)
 - Térmica: transferencias de calor en el sistema
 - Químico-físicas: reacciones, mezclas, disoluciones, ...
 -
- **Externa:**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



Teorema de Carnot



Carnot y el segundo principio

- En la fuente caliente:

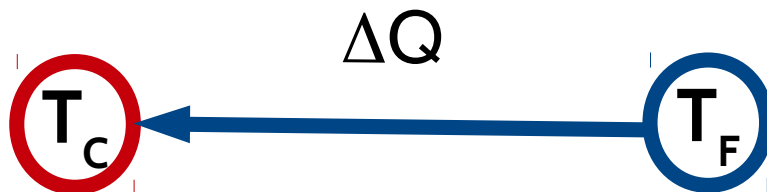
- Sale: Q $\longrightarrow \Delta Q_c = Q \left(\frac{\eta}{\eta_c} - 1 \right)$

- Entra: $Q_c = \frac{\eta}{\eta_c} Q$

- En la fuente fría

- Sale: $Q_f = \eta Q \left(\frac{1}{\eta_c} - 1 \right)$

- Entra: $Q(1 - \eta)$ $\longrightarrow \Delta Q_f = -Q \left(\frac{\eta}{\eta_c} - 1 \right)$



Si $\eta > \eta_c \rightarrow$ No se cumple Clausius

- 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

- $\rightarrow \eta < \eta_c$: Una máquina térmica tendrá 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*