

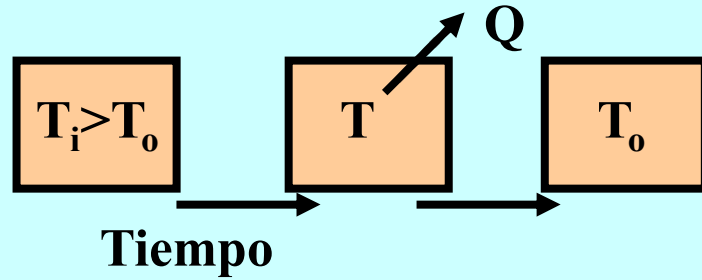
# El segundo principio de la termodinámica

Profesor:

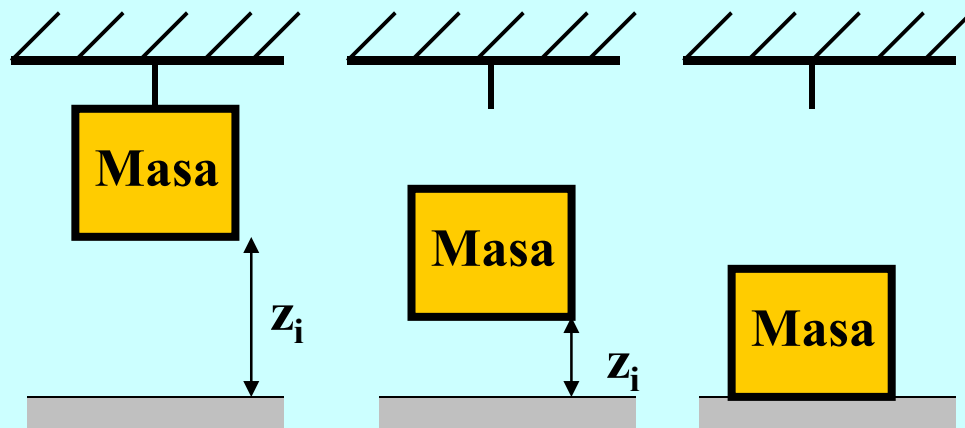
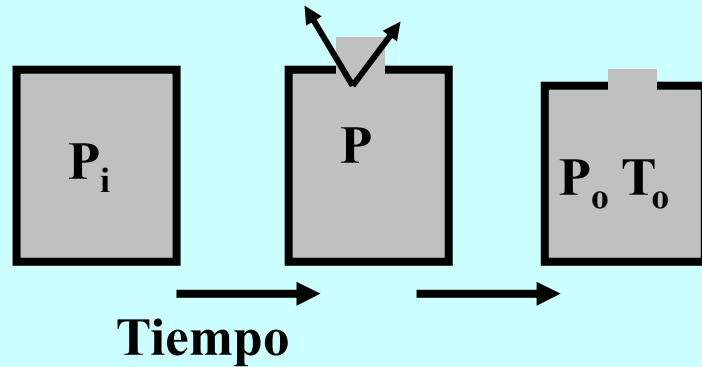
Joaquín Zueco Jordán

Área de Máquinas y Motores Térmicos

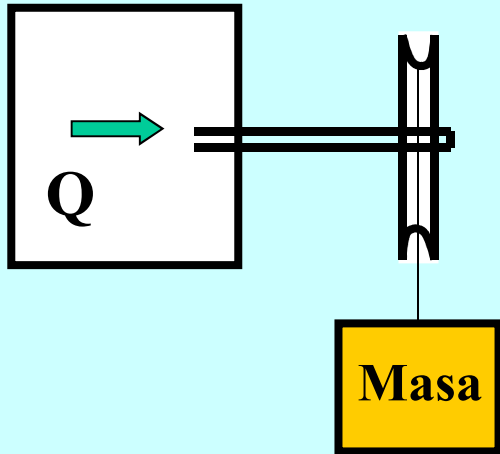
# Dirección de los procesos



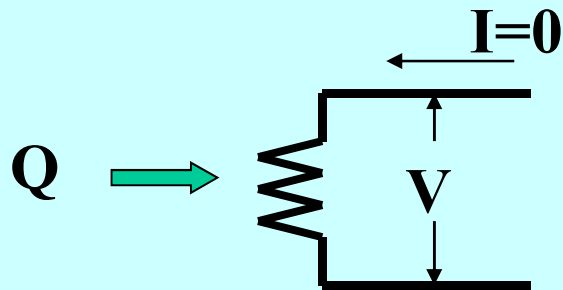
Los procesos inversos no son posibles espontáneamente



# Otros ejemplos de la dirección de los procesos

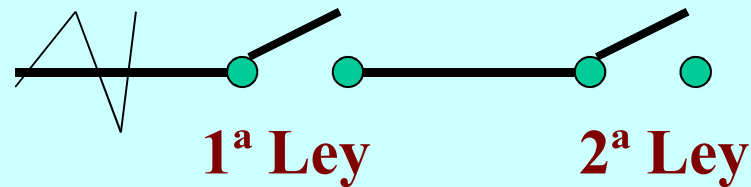


La transferencia de calor  $Q$  a una hélice no provocará que gire



La transferencia de calor  $Q$  a un alambre no generará electricidad

No todos los procesos que verifican el 1<sup>er</sup> principio son viables



Es necesario el 2<sup>o</sup> principio:

- Saber si un proceso es espontáneo
- Saber la dirección de un proceso
- Saber si un proceso puede ocurrir

Oportunidad de producir trabajo

## **Más utilidades del Segundo Principio**

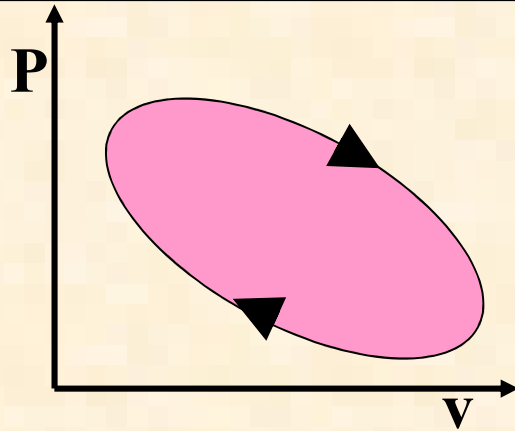
**Si hay posibilidad de producir trabajo:**

- ¿Cuál es la máxima cantidad de trabajo?**
- ¿Cuáles son los factores que hacen imposible obtenerlo?**

**-Establecer las condiciones de equilibrio**

**-Definición de una escala de temperatura independiente de la sustancia termométrica**

**- Desarrollo de expresiones para evaluar  $u$  y  $h$  en función de otras propiedades más fácilmente medibles**



• Según el primer principio, en un proceso cíclico

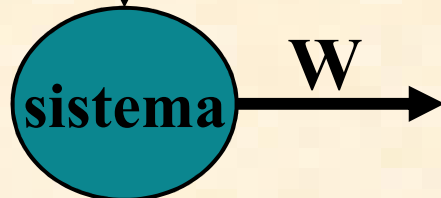
$$Q = W$$

$Q$  calor entregado al sistema  
 $W$  trabajo neto



Motor térmico

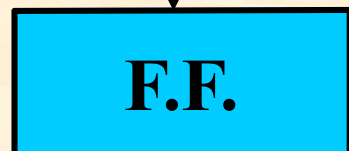
$$Q > W$$

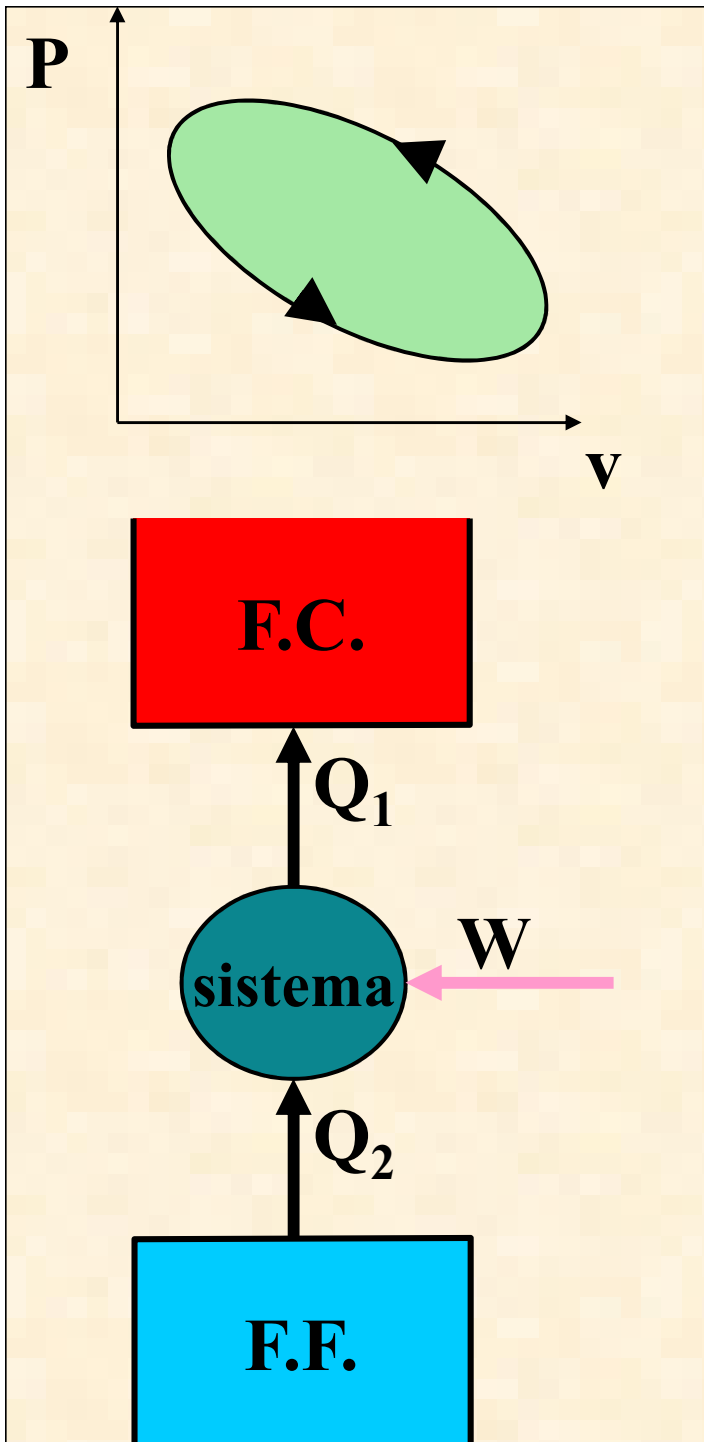


$Q_1$  calor entregado del F.C. al sistema  
 $Q_2$  calor rechazado por el sistema al F.F.  
 $W$  trabajo neto

$$W = Q_1 - Q_2$$

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1$$





## Ciclos inversos

**Máquina frigorífica:**

$$\text{C.O.P.}_{\text{MF}} = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

**Bomba de calor**

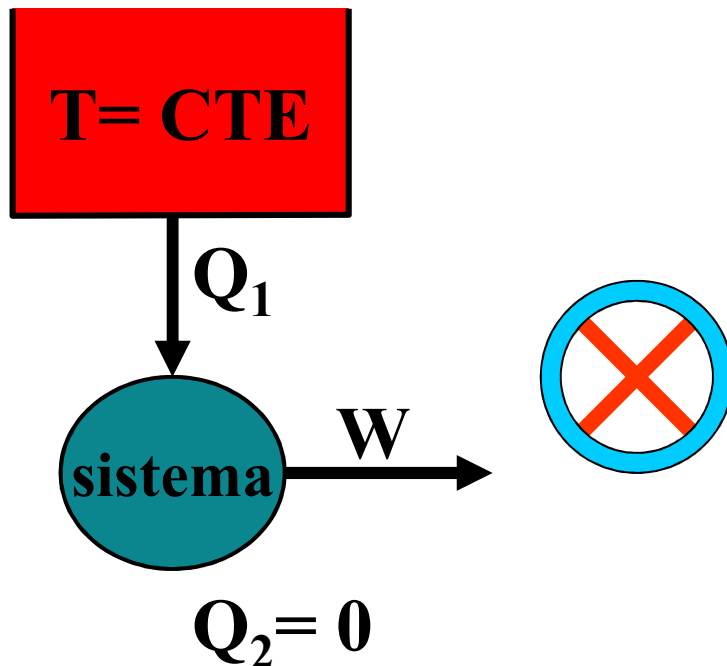
$$\text{C.O.P.}_{\text{BC}} = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} > 1$$

**C.O.P. Coeficiente operación**

## Enunciados del segundo principio

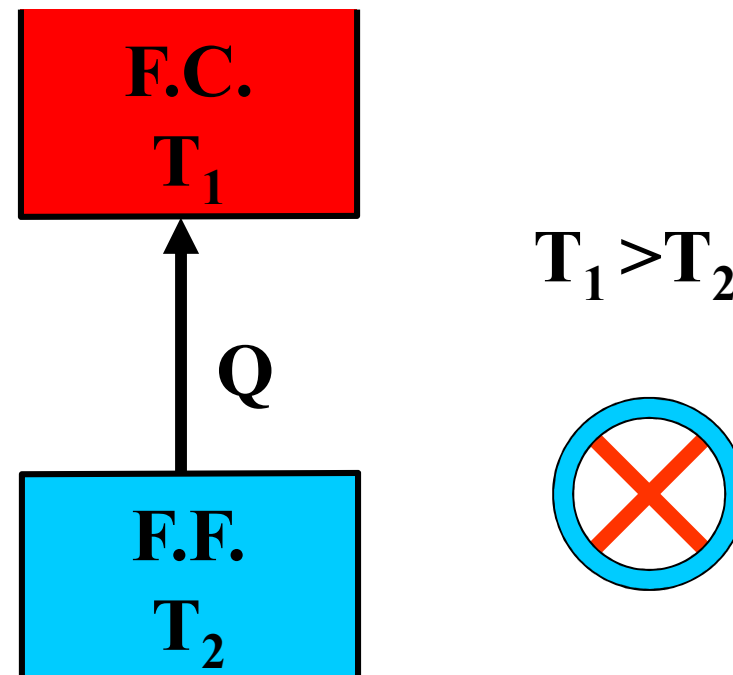
### Kelvin Plank

Es imposible con un motor térmico, producir un trabajo neto, en un ciclo completo, intercambiando calor solamente, con un cuerpo a una temperatura fija.

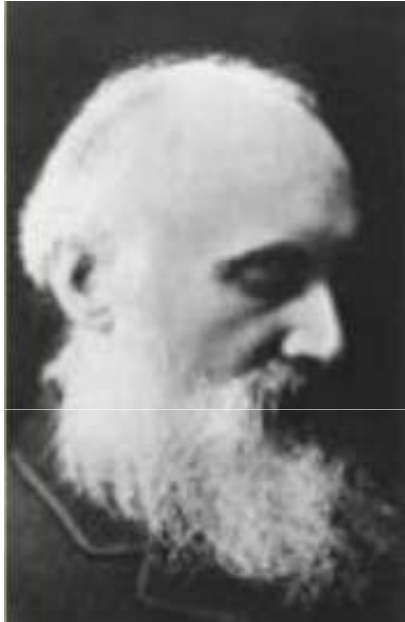


### Clausius

Es imposible construir una máquina, que funcionando con un ciclo, no produzca otro efecto, que transferir calor desde un cuerpo a otro de mayor temperatura.



## Físicos que enunciaron el segundo principio



*Kelvin*



*Plank*



*Clausius*



## Procesos irreversibles

Aquellos que una vez ha sucedido, es imposible devolver al sistema y al entorno a sus estados iniciales

- **Transferencia de calor**
- **Expansión libre de un fluido**
- **Reacción química espontánea**
- **Mezcla espontánea de sustancias con diferente composición o estado**
- **Rozamiento (fricciones mecánicas/ deslizamiento por la viscosidad de un fluido)**

**Todos los procesos reales son irreversibles**

**Internas**

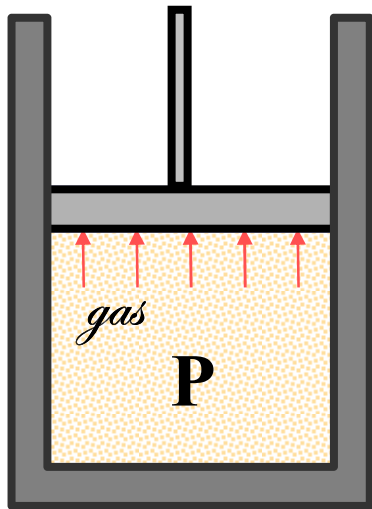
**Externas**

# Procesos reversibles

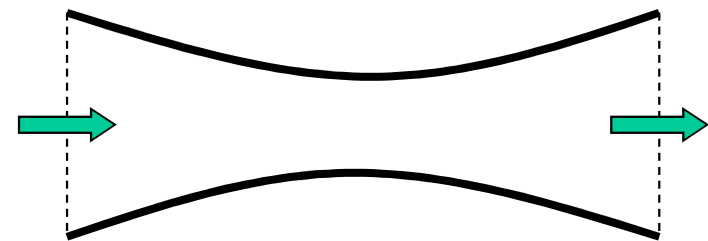
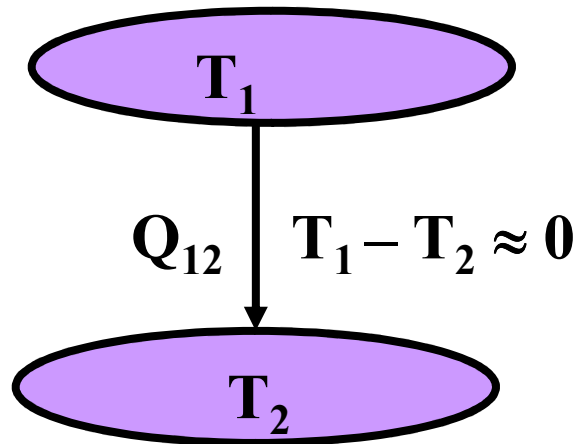
Aquellos que una vez ha sucedido, es posible devolver al sistema y al entorno a sus estados iniciales

Estos procesos no ocurren, sólo se definen ya que algunos procesos reales son casi reversibles

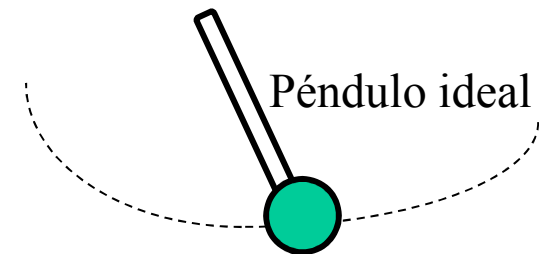
Saber límite IDEAL



$$W_{\text{exp}} = -W_{\text{comp}}$$



Tobera-difusor subsónicos



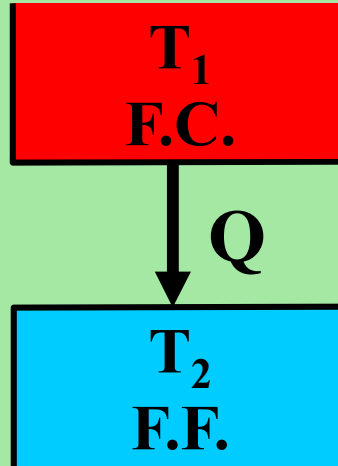
## Procesos irreversibles

### •Transferencia de calor

$$T_1 > T_2$$

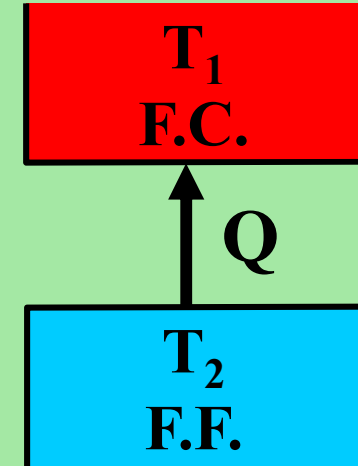
$$\Delta T = T_1 - T_2 > 0$$

\* Si  $\Delta T \rightarrow 0$ :  
proceso reversible



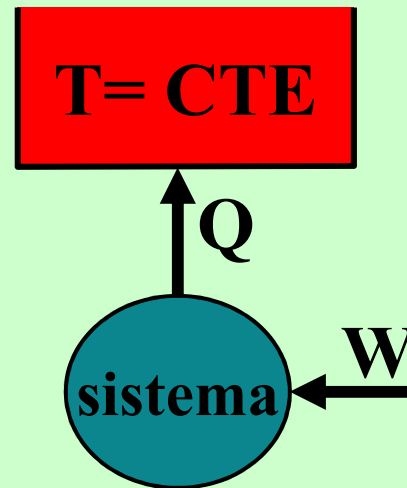
## Inversión del proceso

Violación del  
enunciado de  
Clausius.

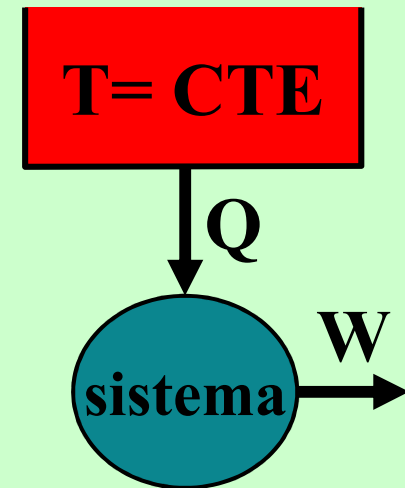


### •Rozamiento

$$W = Q$$



Violación del  
enunciado de  
Kelvin Plank.

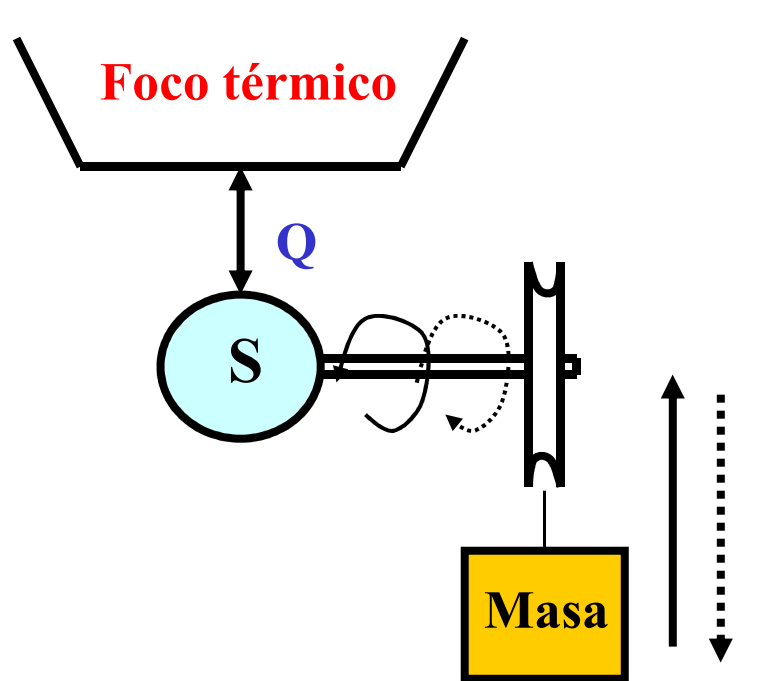


### •Proceso no cuasiestático

Imposible reproducir los estados  
del proceso directo, ya que no  
están definidos.



# Formulación analítica del enunciado de Kelvin-Planck



Condiciones a cumplir:

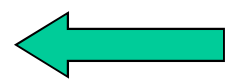
i) 1<sup>er</sup> Principio:  $W_{\text{ciclo}} = Q_{\text{ciclo}}$

ii) 2<sup>o</sup> Principio:

**Kelvin-Planck:** No se puede transferir una cantidad neta de trabajo cíclicamente a su entorno

$$Q_{\text{ciclo}} \leq 0$$

$$W_{\text{ciclo}} \leq 0$$

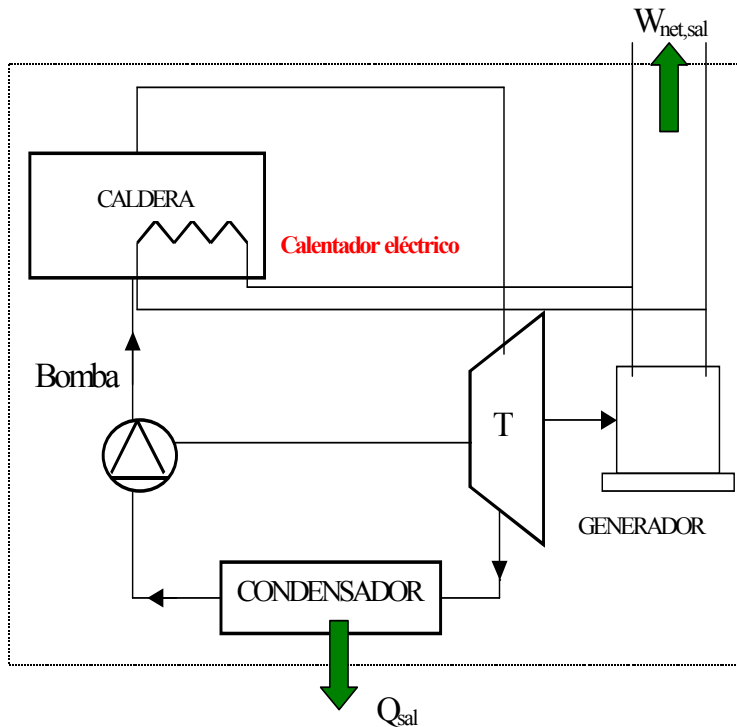


(Un único foco)

# Máquinas de movimiento perpetuo

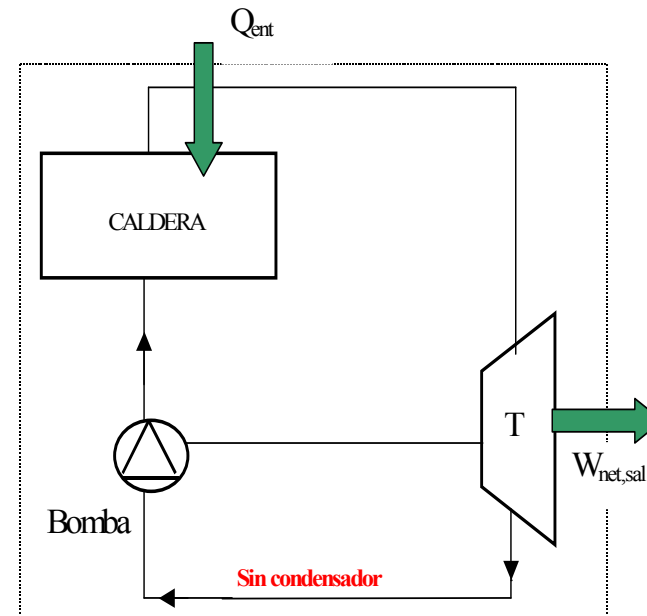
Son máquinas que no funcionan, al no verificar una de las 2 Leyes

MMP de 1ª especie



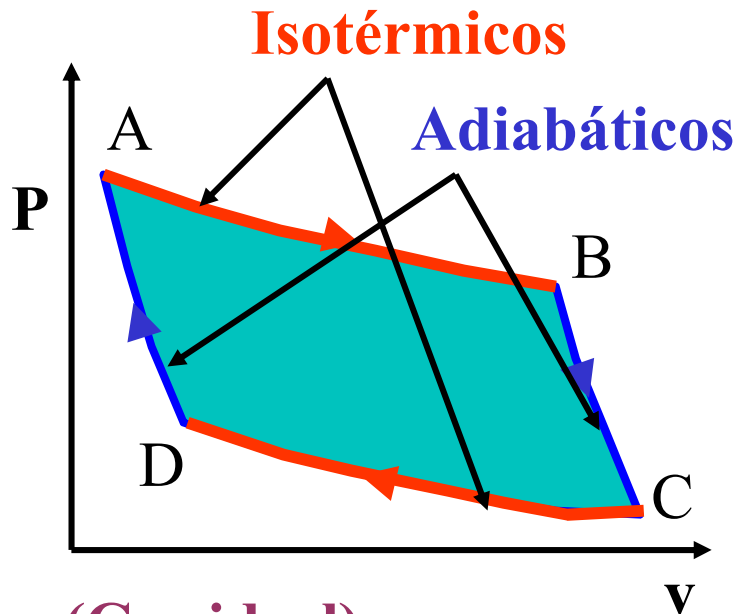
(viola la 1ª Ley)

MMP de 2ª especie



(viola la 2ª Ley)

# Ciclo de Carnot



(Gas ideal)



N.L. Sadi Carnot (1796-1832)

## ■ Isotérmicos AB CD

$$Q_1 = Q_{AB} = W_{AB} = m R T_1 \ln \frac{v_B}{v_A}$$

$$Q_2 = Q_{CD} = W_{CD} = - m R T_2 \ln \frac{v_D}{v_C}$$

## ■ Adiabáticos BC DA

$$\left. \begin{aligned} T_1 v_B^{\gamma-1} &= T_2 v_C^{\gamma-1} \\ T_1 v_A^{\gamma-1} &= T_2 v_D^{\gamma-1} \end{aligned} \right\} \ln \frac{v_B}{v_A} = \ln \frac{v_C}{v_D}$$

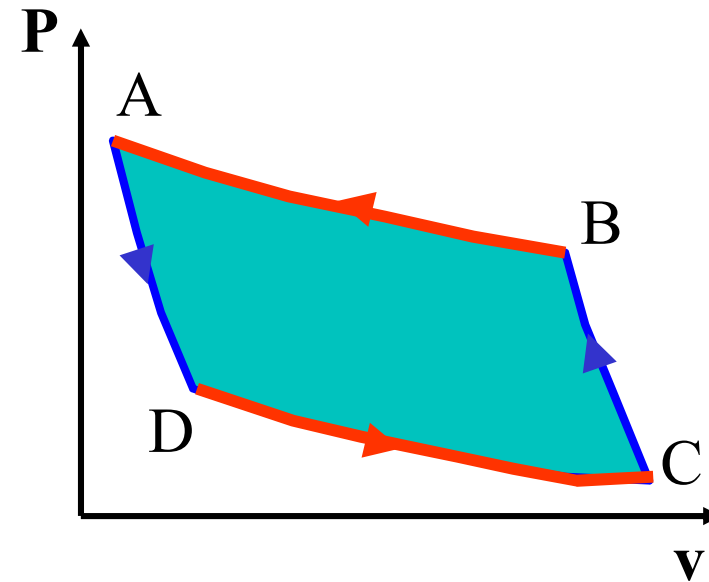
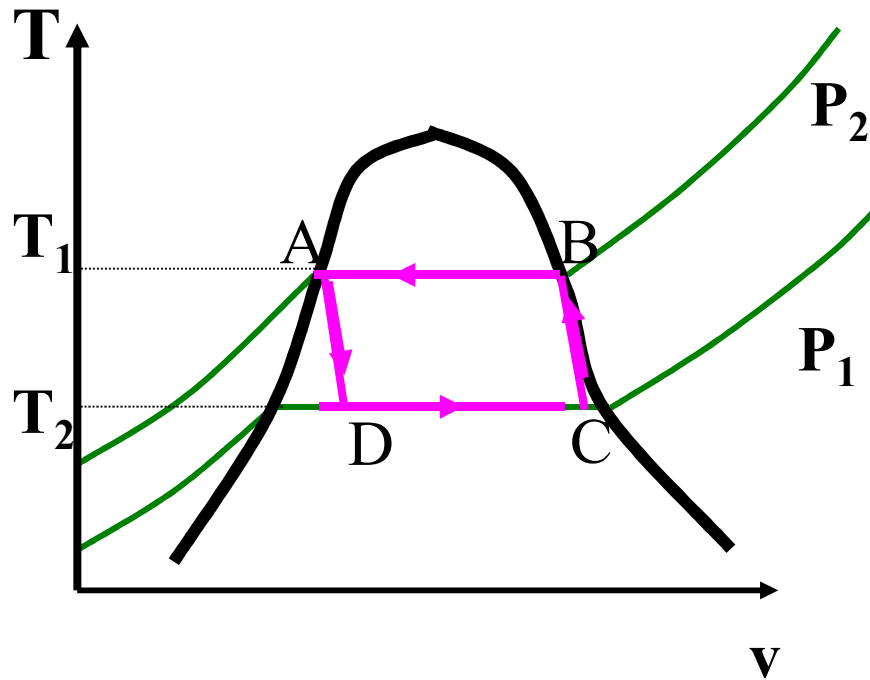
## Rendimiento de Carnot

Un motor térmico logrará un rendimiento máximo si funciona con un ciclo reversible entre dos niveles de temperatura.

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2 \ln \frac{v_C}{v_D}}{T_1 \ln \frac{v_B}{v_A}}$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

# Ciclo de Carnot inverso

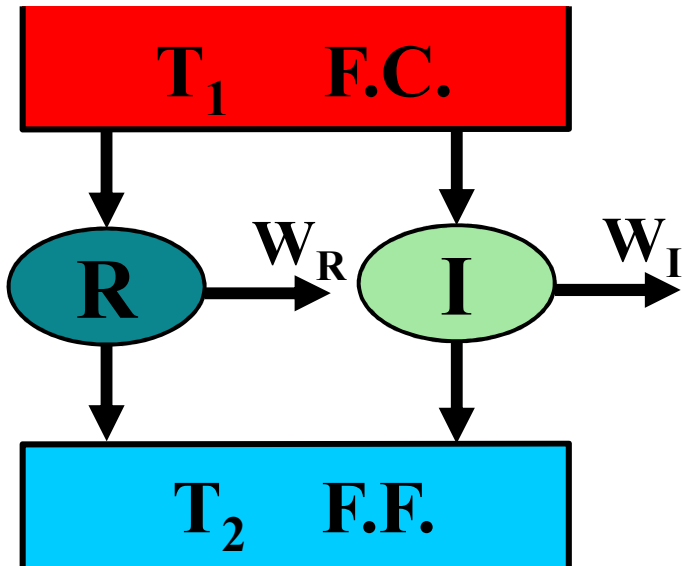


•Maquina frigorífica

$$\text{C.O.P.}_{\text{MF}} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

•Bomba de calor

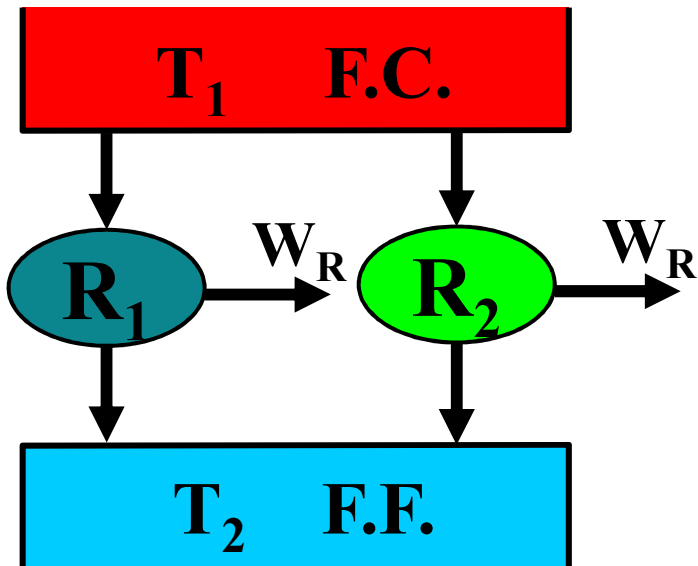
$$(\text{C.O.P.})_{\text{BC}} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$



## Teorema de Carnot

$$\eta_I \leq \eta_R$$

$$1 - \frac{Q_2}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$



## Corolarios

$$\eta = f(T_1, T_2)$$

$$\eta \neq f \left[ \begin{array}{l} - \text{ fluido operante} \\ - \text{ tipo de máquina} \end{array} \right]$$

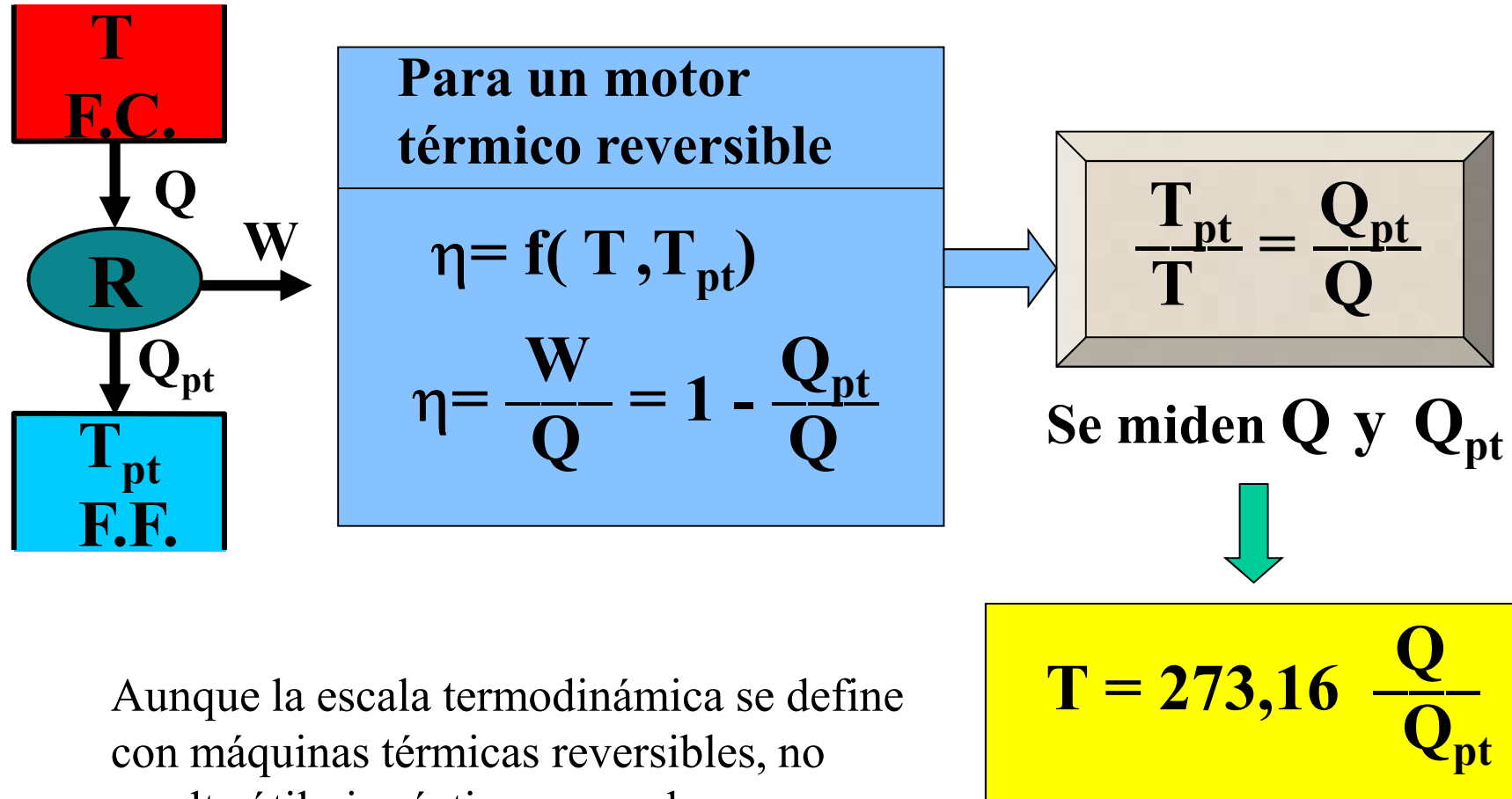
$$\eta_{R1} = \eta_{R2}$$



# Escala termodinámica de temperatura absoluta

## Escala Kelvin de temperaturas:

**Punto triple del agua (pt)  $\longrightarrow$  273,16 K**



Aunque la escala termodinámica se define con máquinas térmicas reversibles, no resulta útil ni práctico su empleo, ya que las  $T^{\text{as}}$  se miden con termómetros

# Escala termodinámica de temperatura absoluta

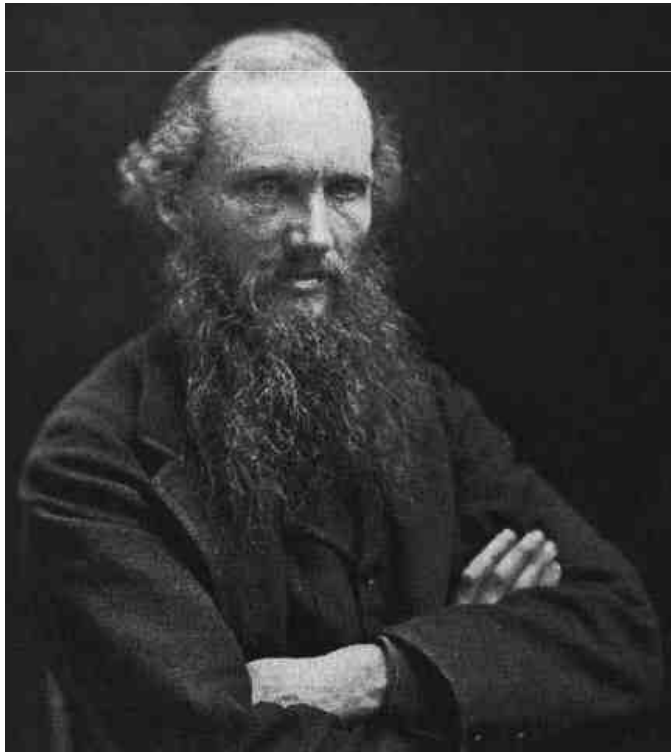
## Cero absoluto

Maquina frigorífica reversible

$$\text{COP} = \frac{Q_F}{W} = \frac{T_F}{T_C - T_F}$$

$$W = \frac{(T_C - T_F) Q_F}{T_F}$$

$$T_F \rightarrow 0 \quad W \rightarrow \infty$$



**Cero absoluto es inalcanzable**

William Thomson (Lord Kelvin)