

El primer principio de la termodinámica en sistemas cerrados

Profesor:

Joaquín Zueco Jordán

Área de Máquinas y Motores Térmicos

Trabajo, energía cinética y energía potencial

Energía cinética

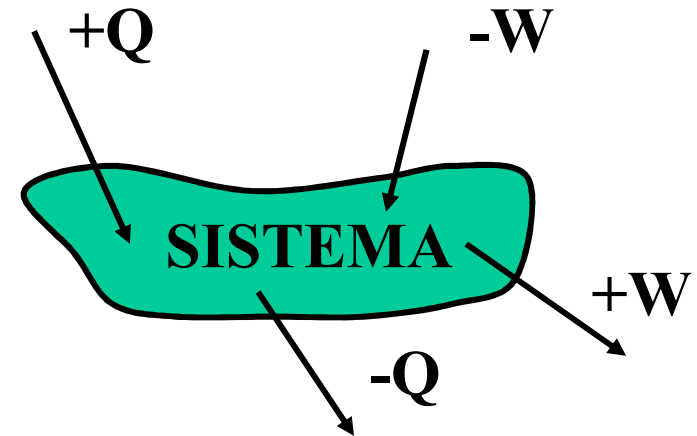
$$E_c = 1/2 m v^2$$

Energía potencial

$$E_p = m g z$$

Trabajo

$$W = \int F ds$$



Energía interna

Energía almacenada en un sistema

Modos de transferencia de calor

→ **CONDUCCIÓN**

→ **CONVECCIÓN**

→ **RADIACIÓN**

Energía total

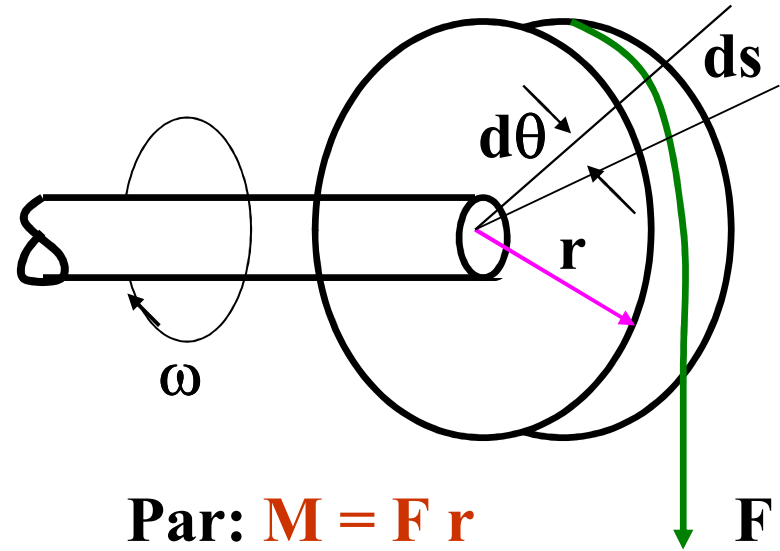
$$E = U + E_c + E_p$$

Trabajo en el eje

$$\delta W_{\text{eje}} = F ds = M/r (r d\theta) = M d\theta$$

$$\dot{W}_{\text{eje}} = \frac{\delta W_{\text{eje}}}{dt} = M \omega = 2\pi n M$$

$$W_{\text{eje}} = \int \dot{W}_{\text{eje}} dt = \int 2\pi n M dt$$

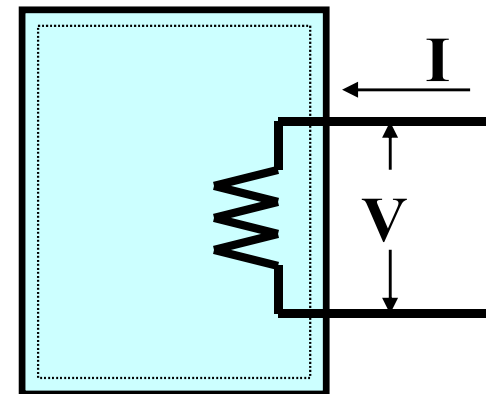


Par: $M = F r$

Trabajo eléctrico

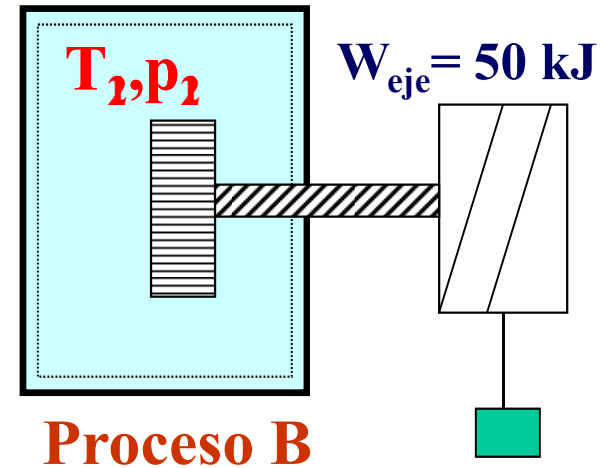
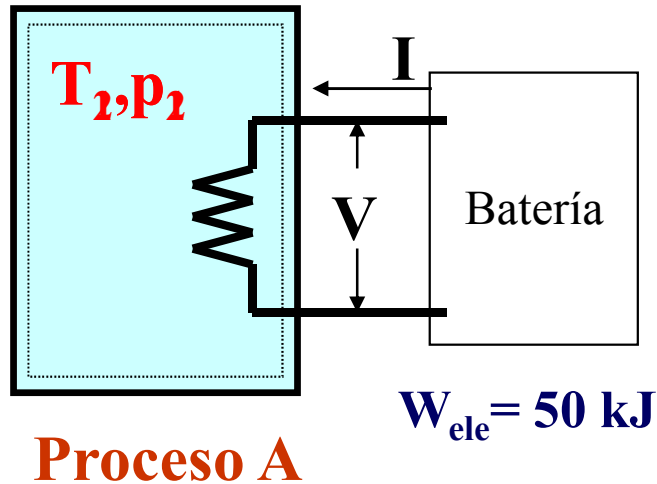
$$\delta W_{\text{ele}} = V \delta Q_c = V I dt$$

$$\dot{W}_{\text{ele}} = \frac{\delta W_{\text{ele}}}{dt} = V I$$



Enunciados generales del primer principio

Experimental: Procesos adiabáticos en sistemas cerrados



Joule a
principios
de XIX

$$\Delta E_{12} = E_2 - E_1 = -W_{12, \text{adiab}}$$

• La energía no se crea ni se destruye solo se transforma

Energía que
entra

=

+ Incremento de
- energía almacenada

+

Energía que
sale

• Otras expresiones

$$\Delta E_{12} = Q_{12} - W_{12}$$

$$dE = \delta Q - \delta W$$

$$dE/dt = \dot{Q}_{12} - \dot{W}_{12}$$

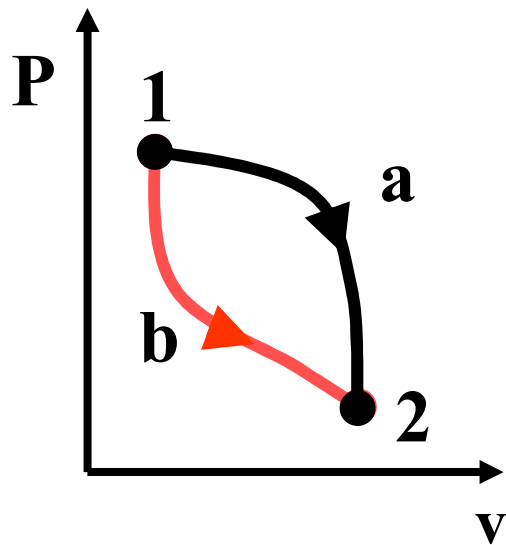
Régimen estacionario:

● \dot{Q}_{12} y \dot{W}_{12} (no dependen del tiempo)

● $dE/dt = 0$



$$\dot{Q}_{12} = \dot{W}_{12}$$



• **Función de estado**

$$W_{1a2} \neq W_{1b2}$$

Depende del camino seguido

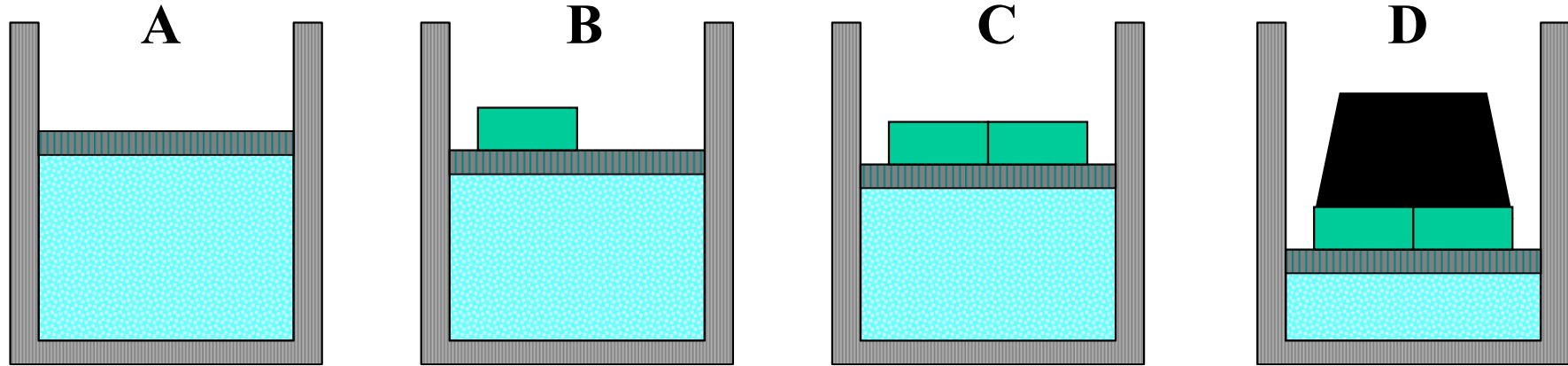
$$Q_{1a2} \neq Q_{1b2}$$

No son función de estado

$$\Delta U_{1a2} = \Delta U_{1b2}$$

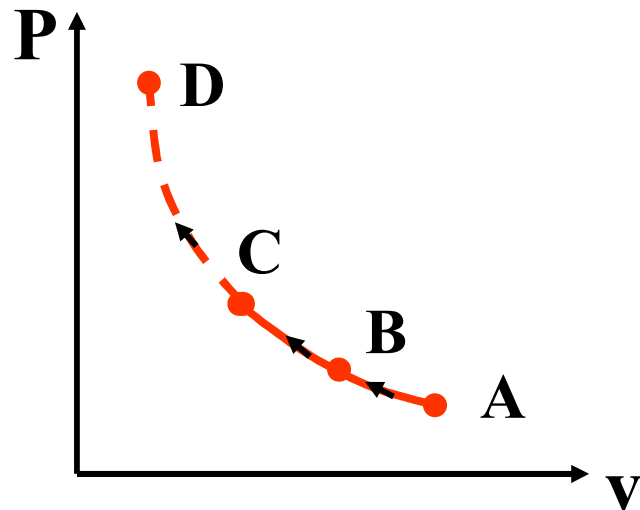
Depende del estado inicial y final no del camino seguido

Proceso cuasiestático



A-B-C => Proceso cuasiestático (no implica proceso sea reversible)

La compresión pasa por una serie de estados de equilibrio termodinámico ya que todos los parámetros del sistema varían lentamente



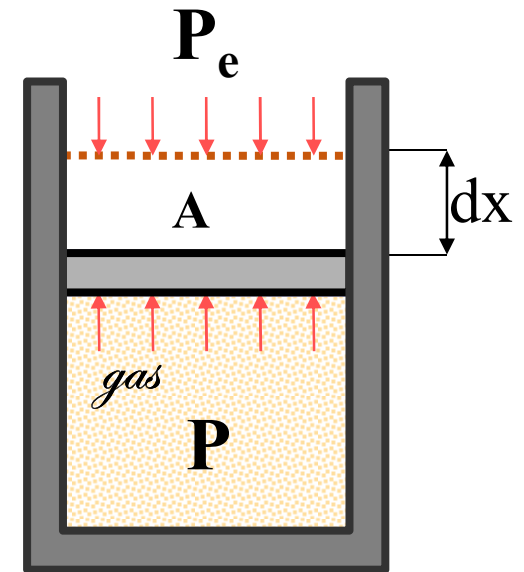
C-D => Proceso irreversible

Se produce una onda de presión, luego la presión no es la misma en todas partes del sistema y por lo tanto no hay estados de equilibrio termodinámico

Trabajo de un sistema (de frontera)

Al aumentar el volumen el sistema realiza un trabajo contra las fuerzas de la Presión externa P_e

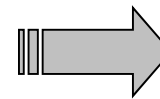
$$\left. \begin{array}{l} \delta W = P_e A dx \\ dV = A dx \end{array} \right\} \Rightarrow \delta W = P_e dV$$



• proceso cuasiestático

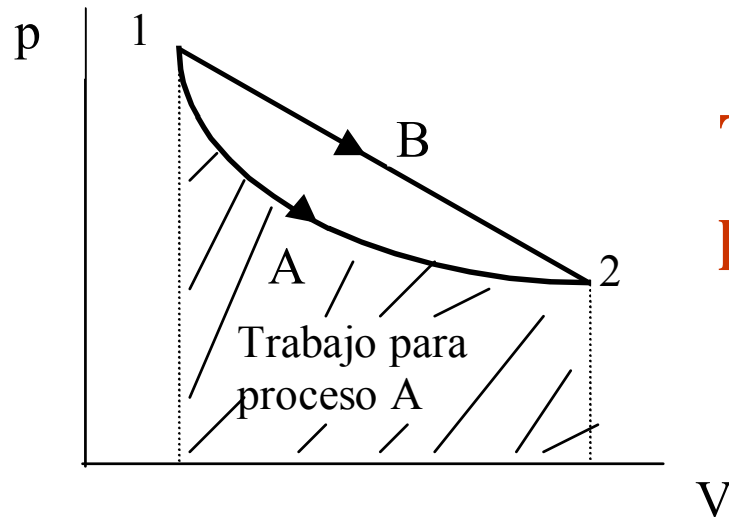
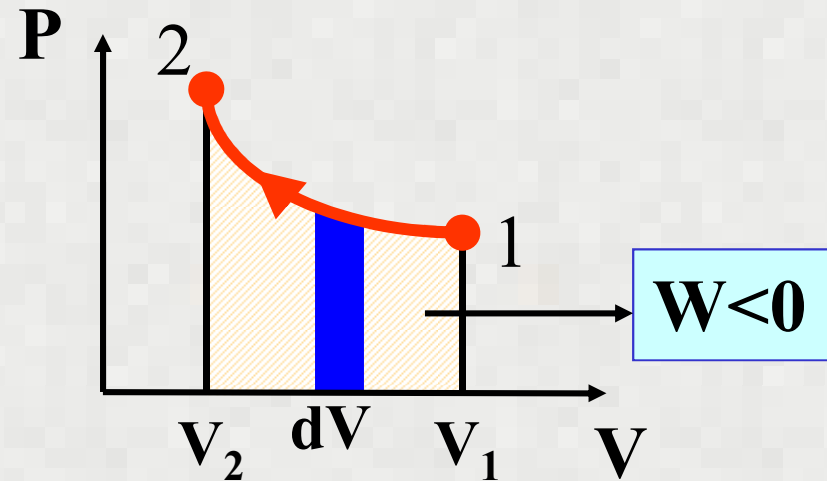
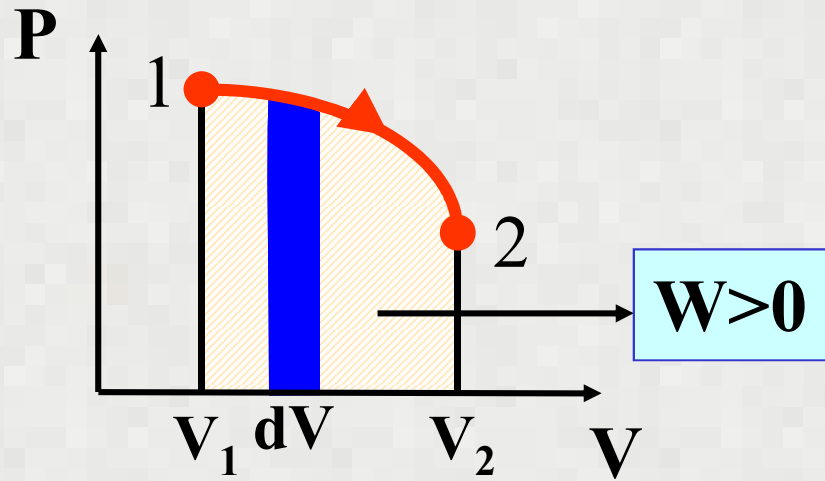
El sistema pasa por una sucesiva serie de estados de equilibrio

$$P_e = P \rightarrow \delta W = P dV$$



$$W_{12} = \int_1^2 P dV$$

$$W_{12} = \int_1^2 P dV$$



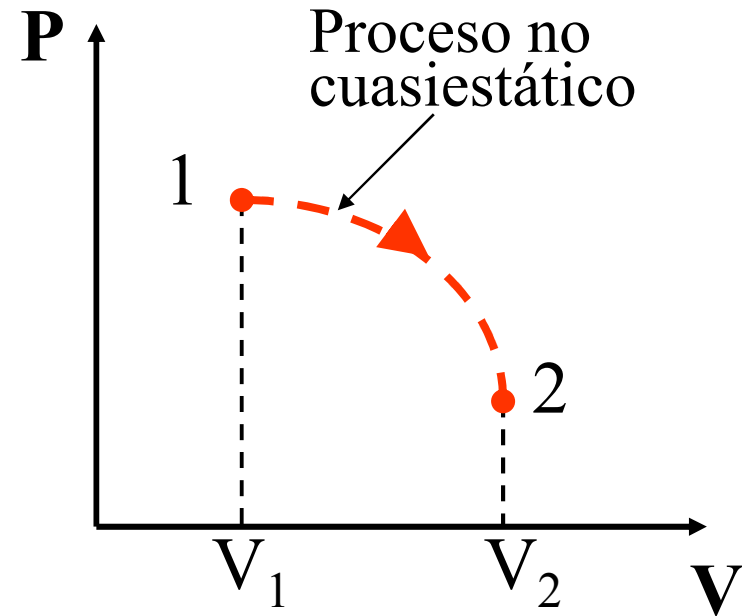
Trabajo depende del proceso

Trabajo de un sistema

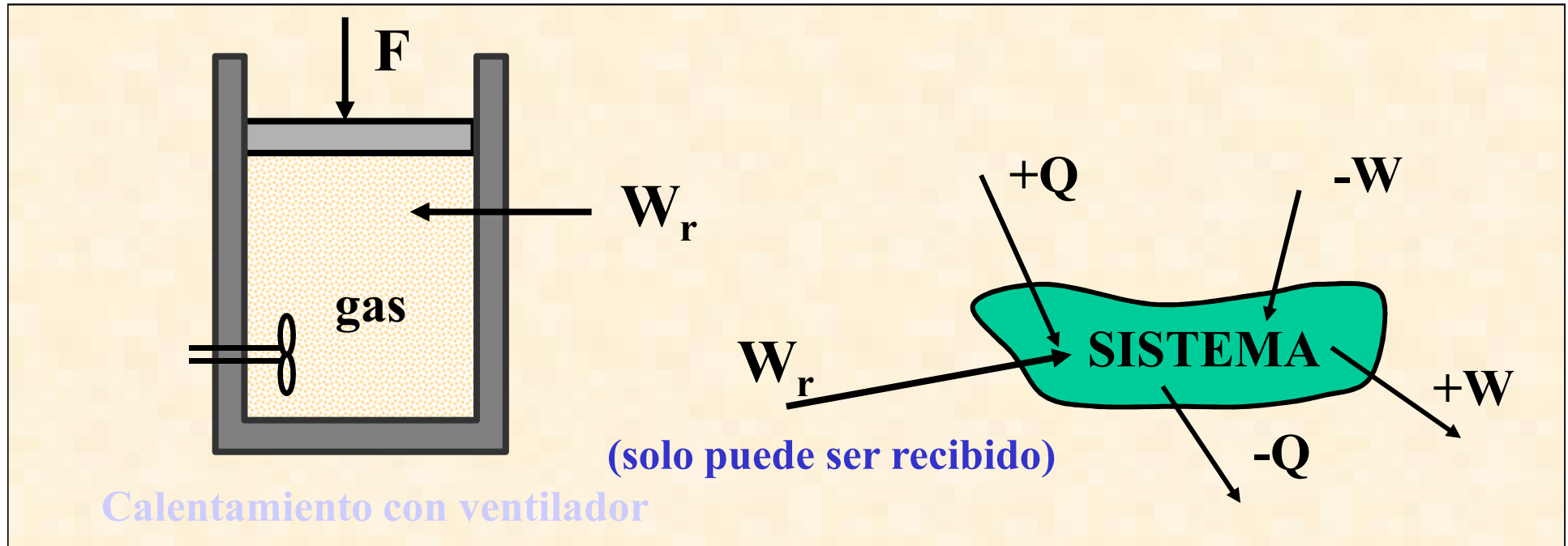
- proceso irreversible

Los estados intermedios, no están en equilibrio termodinámico, debido al desplazamiento rápido del pistón

$$W_{12} \neq \int_1^2 P dV$$



Trabajo de rozamiento (proceso irreversible)



En realidad, la velocidad finita del pistón va a producir turbulencias en el sistema, con el correspondiente rozamiento interno

$$W_{12} = W_{PdV} - |W_r| \quad \longleftrightarrow \quad W_{12} = \int_1^2 PdV - |W_r|$$

Trabajo de rozamiento (proceso irreversible)

$$Q_{12} + |W_r| = U_2 - U_1 + W_{PdV}$$

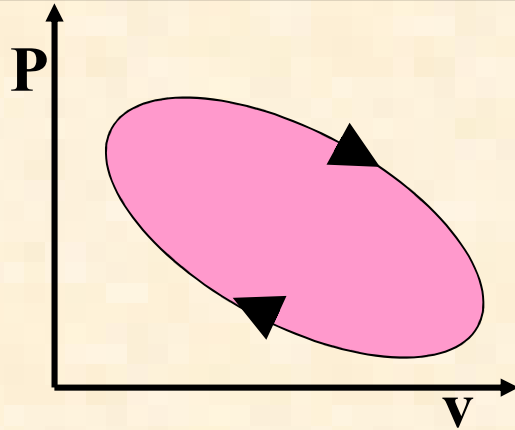
$$Q_{12} + |W_r| = U_2 - U_1 + \int_1^2 P dV$$

Forma diferencial

$$\delta Q + |\delta W_r| = dU + P dV$$

**En procesos adiabáticos
y reversibles**

$$dU + P dV = 0$$



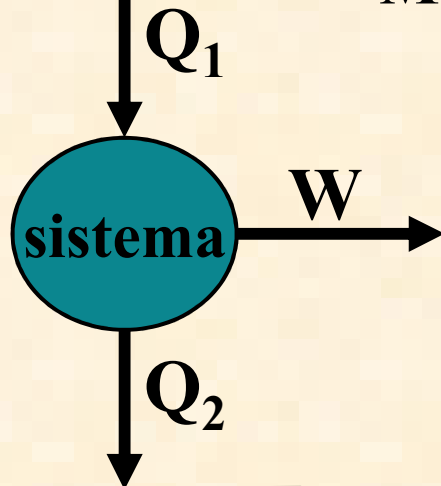
Análisis energético de ciclos

- en un proceso cíclico $Q = W$

Q calor entregado al sistema
 W trabajo neto

F.C.

Motor térmico

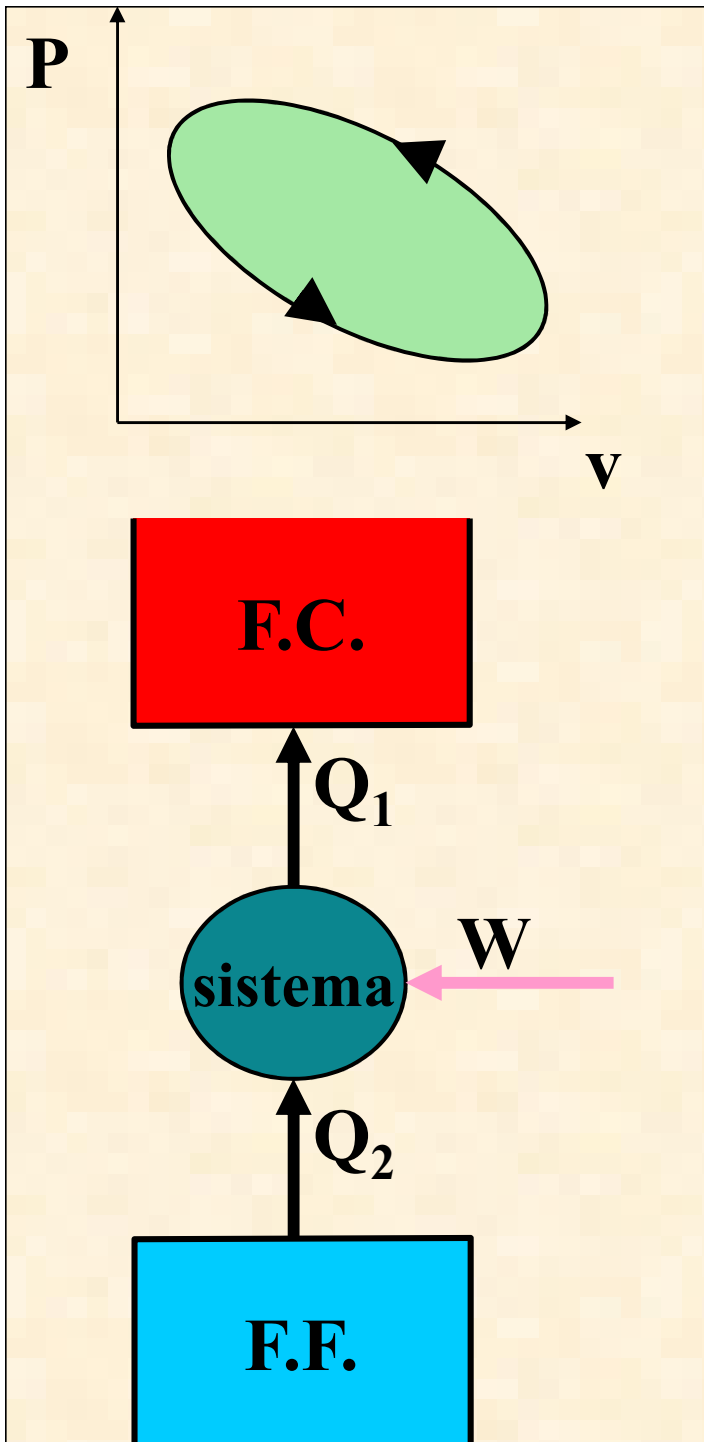


Q_1 calor entregado del F.C. al sistema
 Q_2 calor rechazado por el sistema al F.F.
 W trabajo neto

$$W = Q_1 - Q_2$$

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

F.F.



Ciclos inversos

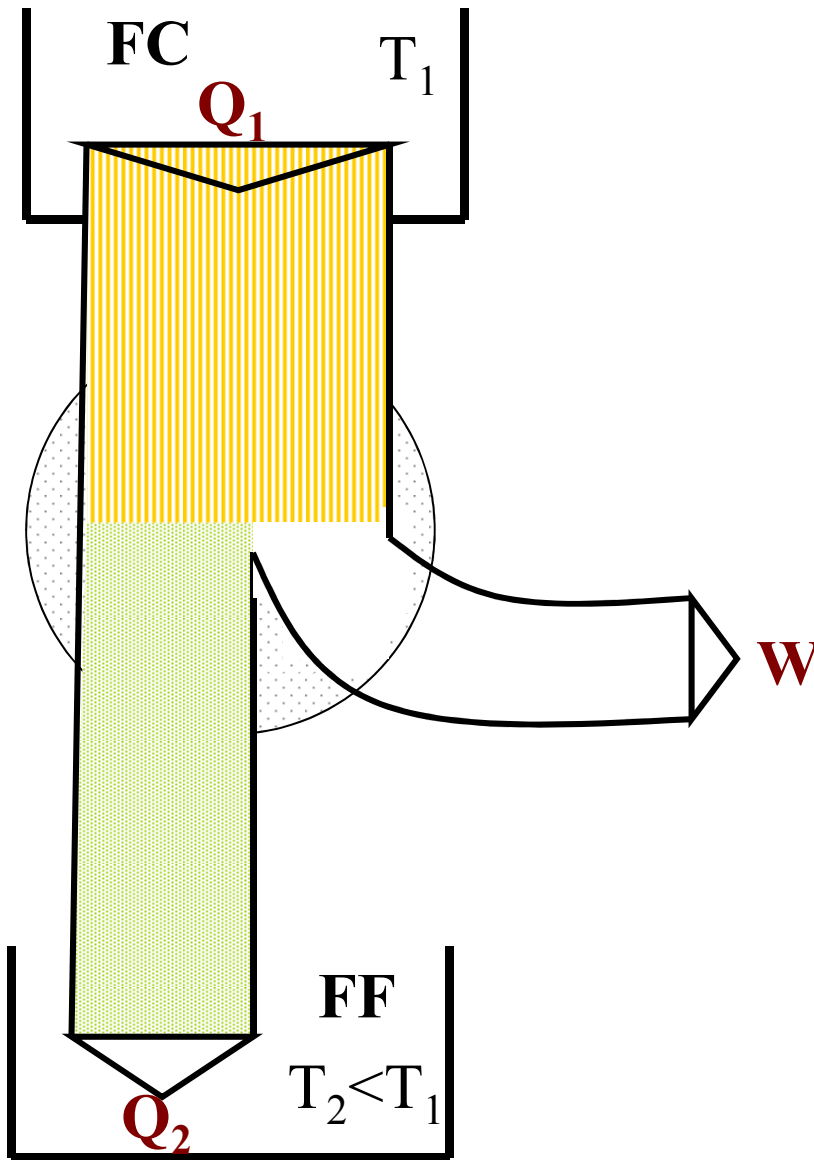
Máquina frigorífica:

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

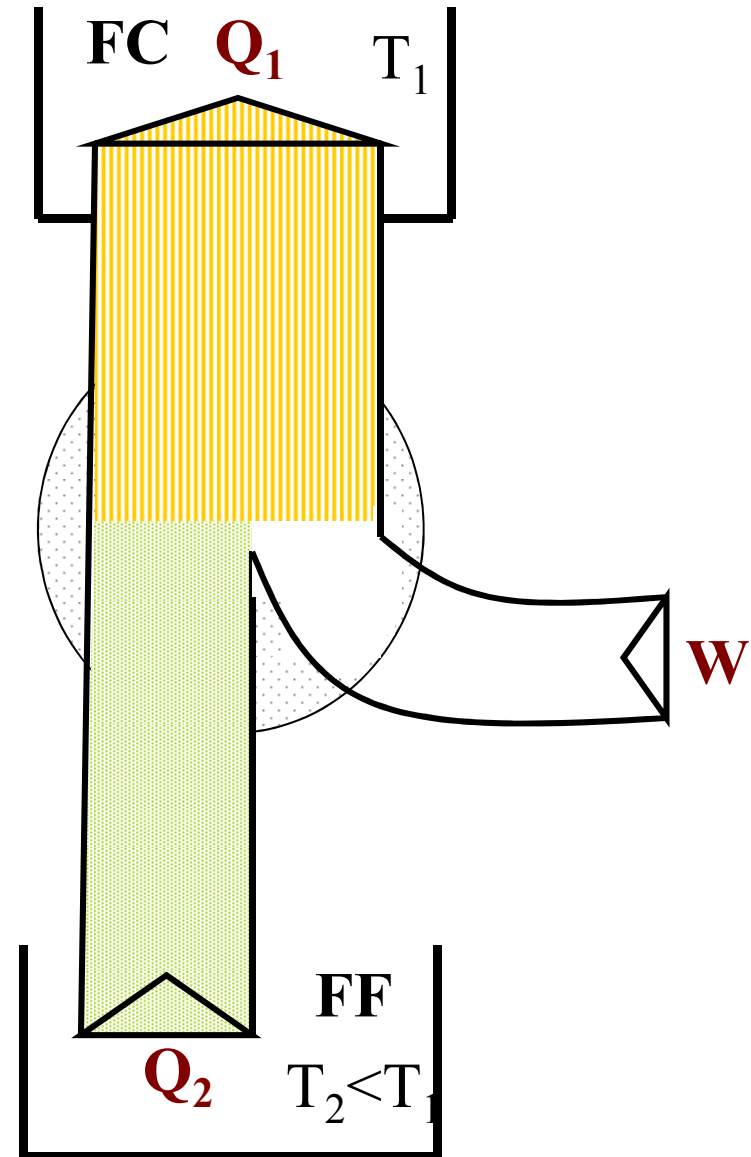
Bomba de calor

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

C.O.P. Coeficiente operación



MOTOR TÉRMICO



**MÁQUINA FRIGORÍFICA
/BOMBA DE CALOR**