

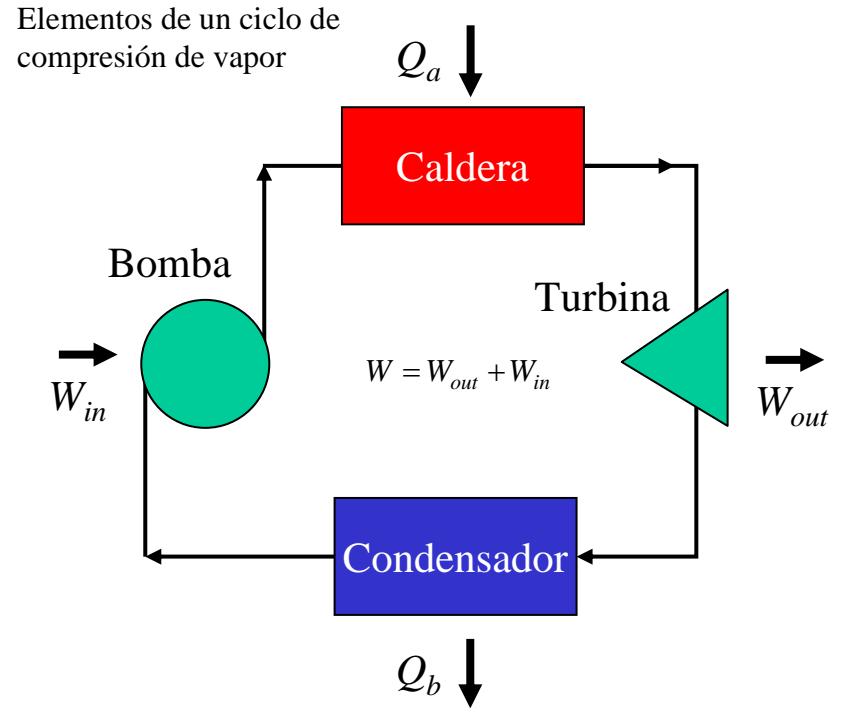
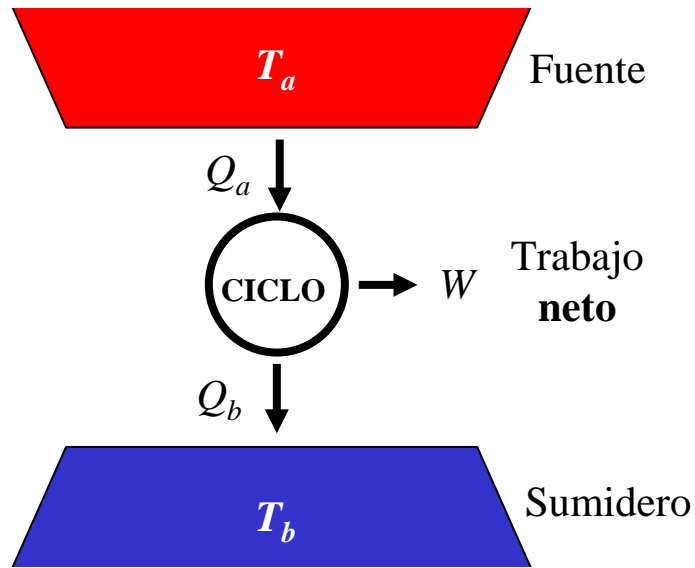
MÁQUINAS TÉRMICAS, REFRIGERADORES y BOMBAS DE CALOR

Equipo docente

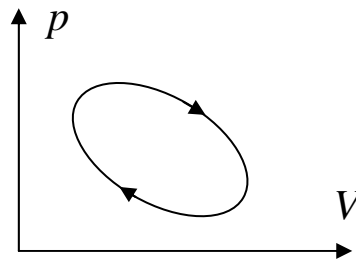
Antonio J. Barbero / Alfonso Calera / Mariano Hernández
Dpto. Física Aplicada. E.T.S. Agrónomos (Albacete)

Pablo Muñoz / José A. de Toro
Dpto. Física Aplicada. Escuela I.T.A. (Ciudad Real)

Máquinas térmicas: conversión de calor en trabajo, con las limitaciones marcadas por la Segunda Ley



- * Al menos dos focos a diferentes temperaturas
- * Un ciclo termodinámico
- * Un fluido de trabajo



Ciclo recorrido en sentido horario

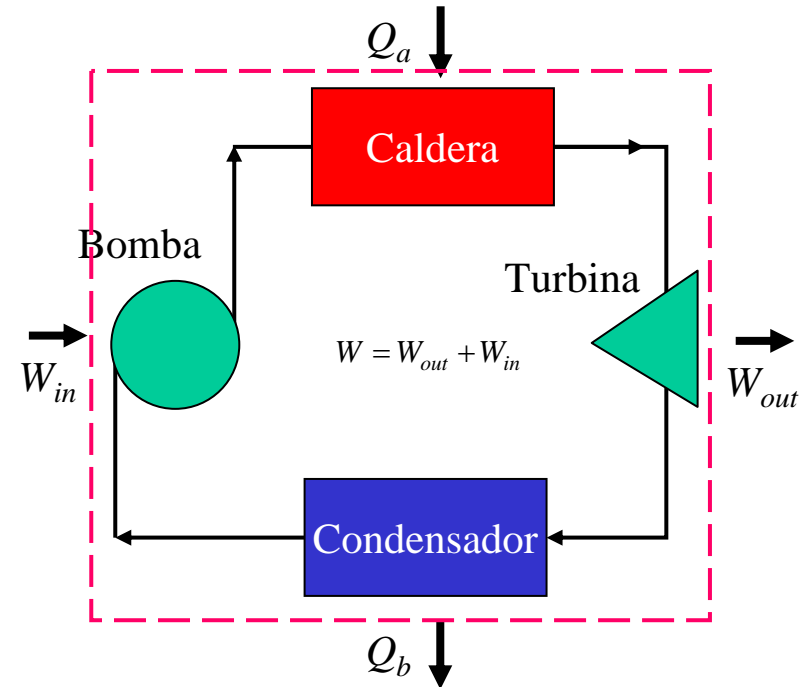
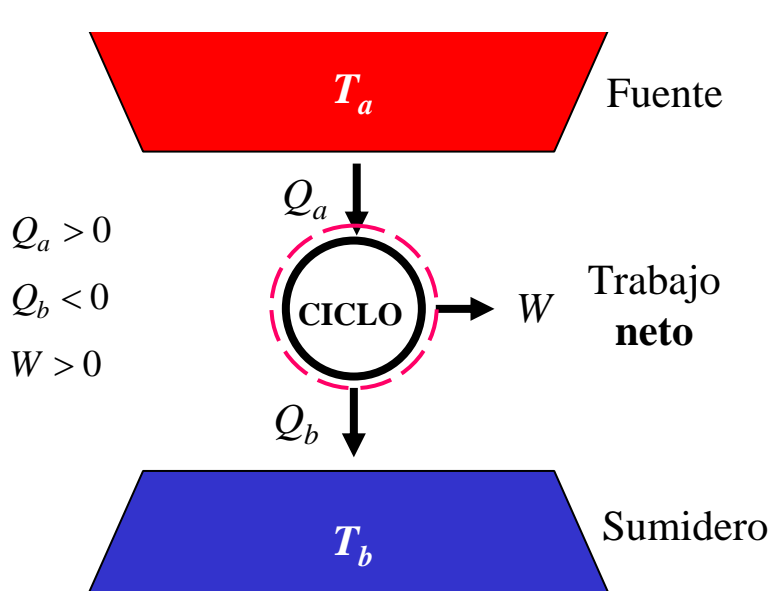
La turbina produce trabajo $\rightarrow W_{out} > 0$

La bomba requiere trabajo $\rightarrow W_{in} < 0$

$$W = W_{out} - |W_{in}|$$

Máquinas térmicas: Rendimiento

Balace de energía **del ciclo**: aplicamos el 1^{er} principio. $Q_a + Q_b - W = 0$



$Q_b < 0$, pues es el calor que sale del ciclo

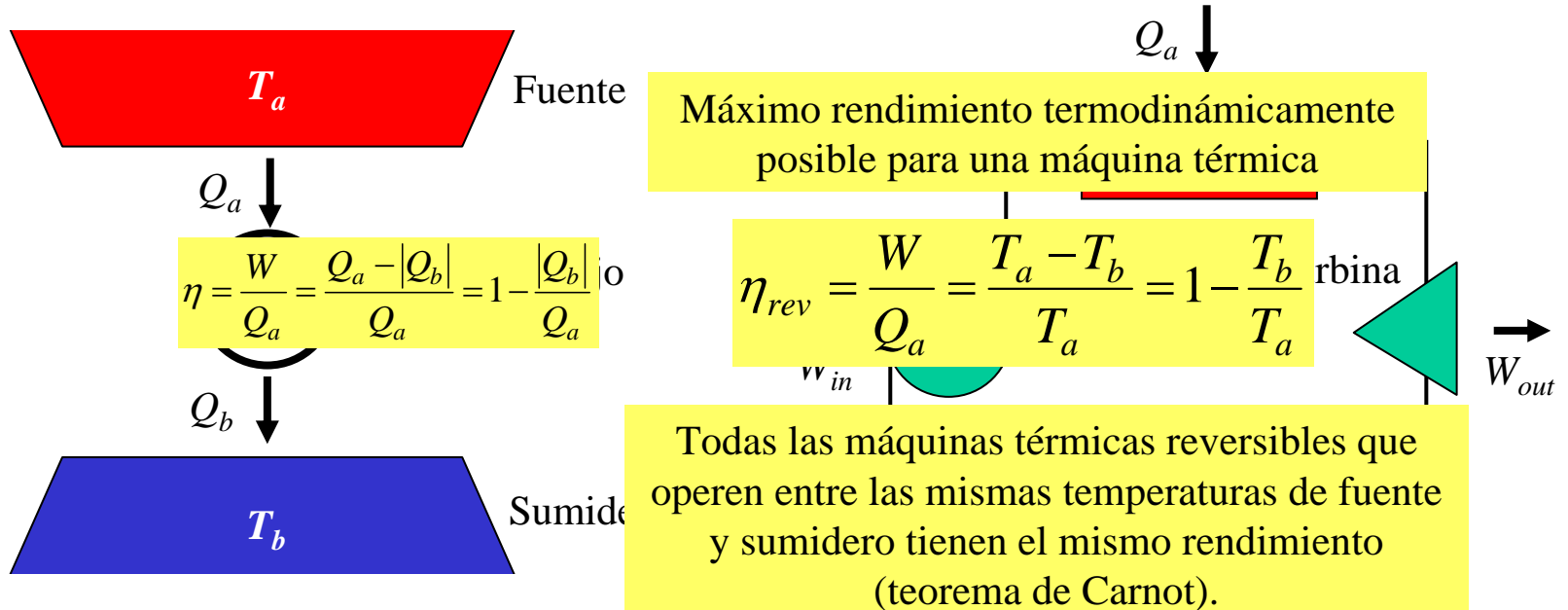
$$Q_a - |Q_b| = W \quad Q_a = W + |Q_b|$$

El rendimiento es el cociente entre el trabajo neto producido y el calor que debe suministrarse al ciclo para producirlo

$$\eta = \frac{W}{Q_a} = \frac{Q_a - |Q_b|}{Q_a} = 1 - \frac{|Q_b|}{Q_a}$$

Máquinas térmicas reversibles: teorema de Carnot

Veamos la situación cuando todos los procesos de intercambio de energía ocurren de forma reversible



Por ser un ciclo, la variación de entropía es nula

$$\Delta S_{universo} = \Delta S_a + \Delta S_b + \cancel{\Delta S_{ciclo}} = 0 \quad (\text{todos los procesos son reversibles})$$

$$\Delta S_a = \frac{Q_a}{T_a} < 0 \quad (\text{la fuente } a \text{ cede calor})$$

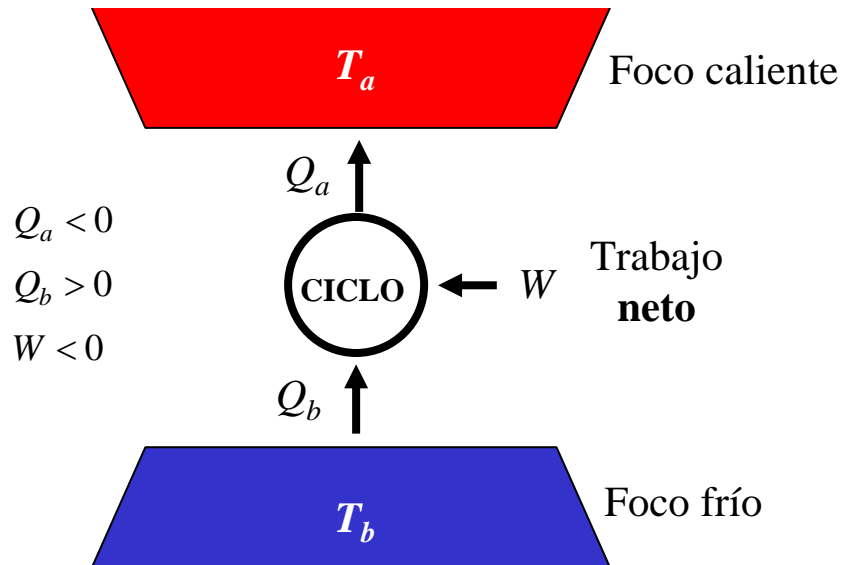
$$\Delta S_b = \frac{Q_b}{T_b} > 0 \quad (\text{el sumidero } b \text{ recibe calor})$$

$$\Delta S_{universo} = \Delta S_a + \Delta S_b = -\frac{|Q_a|}{T_a} + \frac{|Q_b|}{T_b} = 0$$

$$\frac{|Q_a|}{T_a} = \frac{|Q_b|}{T_b} \Rightarrow \frac{|Q_b|}{|Q_a|} = \frac{T_b}{T_a} \quad (\text{Procesos reversibles})$$

Ciclos frigoríficos. Refrigeradores.

Balance de energía **del ciclo**: aplicamos el 1^{er} principio. $Q_a + Q_b - W = 0$



Lo que se pretende con este ciclo es extraer energía del foco frío para mantener baja su temperatura.

Eficiencia del ciclo frigorífico:

Cociente entre el calor extraído del foco frío y el trabajo necesario para llevar a cabo este proceso.

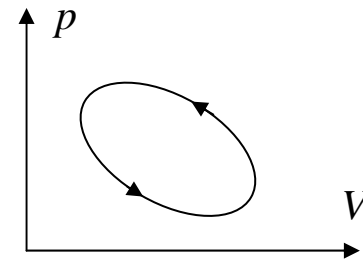
$$\varepsilon = COP = \frac{Q_b}{|W|}$$

↓

Coeficiente de operación frigorífica

- * Al menos dos focos a diferentes temperaturas
 - * Un ciclo termodinámico
 - * Un fluido de trabajo
- ... pero ahora se trata de transferir energía desde el foco frío T_b hacia el foco caliente T_a .

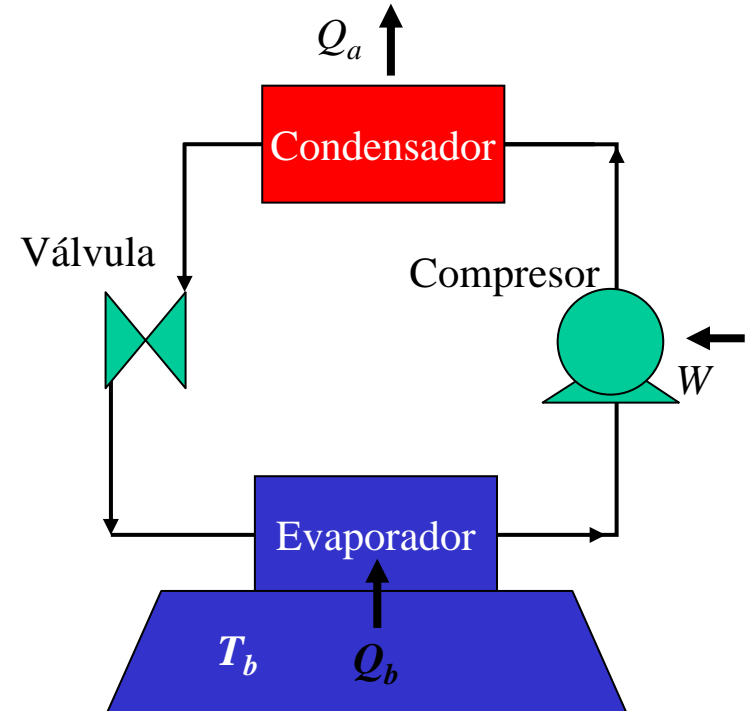
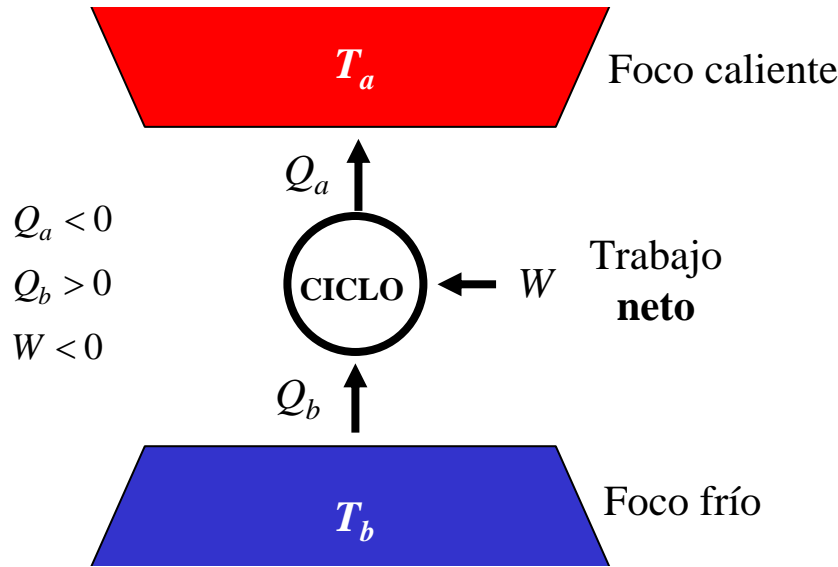
Para hacerlo, es preciso aportar trabajo.



Ciclo recorrido en sentido antihorario

Ciclos frigoríficos. Refrigeradores.

Esquema de funcionamiento de un ciclo de compresión de vapor



Eficiencia de un ciclo frigorífico ideal

Cuando todos los procesos son reversibles

$$\frac{|Q_b|}{|Q_a|} = \frac{T_b}{T_a}$$

$$\varepsilon = COP = \frac{Q_b}{|W|} = \frac{Q_b}{|Q_a| - Q_b} = \frac{Q_b / |Q_a|}{1 - Q_b / |Q_a|} = \frac{T_b / T_a}{1 - T_b / T_a}$$

$$\varepsilon_{rev} = COP_{rev} = \frac{T_b}{T_a - T_b}$$

$$Q_b + |W| = |Q_a| \quad |W| = |Q_a| - Q_b$$

El COP_{rev} para un refrigerador es mayor que la unidad siempre que $T_b > T_a - T_b$

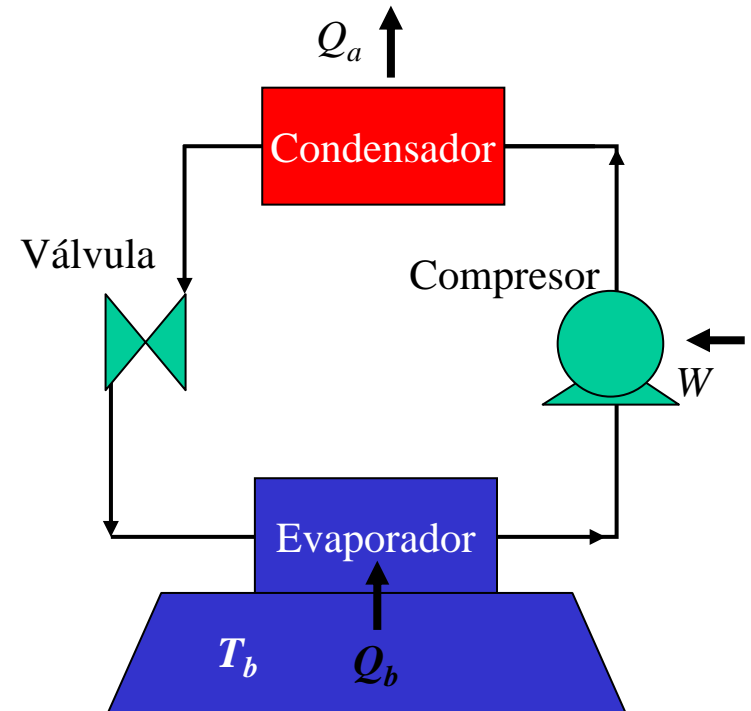
Ciclos frigoríficos. Refrigeradores.

La temperatura a la cual se evapora un líquido (o se condensa un vapor) depende de la presión y de la temperatura; así pues, si se hace trabajar la máquina con un fluido adecuado, éste se evaporará a temperatura y presión bajas en el evaporador (tomando calor de su entorno) y se condensará a temperatura y presión altas en el condensador (desprendiendo calor a su entorno).

El ciclo simple de refrigeración por compresión del vapor consta de cuatro elementos:

- 1. Evaporador:** absorbe calor a baja temperatura haciendo hervir un líquido a baja presión. El evaporador absorbe calor del lugar que se quiere mantener a baja temperatura (foco frío).
- 2. Compresor:** aumenta la presión del vapor, consume energía mecánica.
- 3. Condensador:** desprende calor a sus alrededores cuando se condensa el vapor a alta presión.
- 4. Reductor de presión (válvula):** la alta presión del líquido formado en el condensador debe reducirse antes de que el mismo sea devuelto al evaporador.

Esquema de funcionamiento de un ciclo de compresión de vapor



Ciclos frigoríficos. Bomba de calor.

Un ciclo frigorífico puede utilizarse con el propósito no de enfriar un recinto, sino para calentar otro; es decir, para transferir calor desde un foco frío a la temperatura T_b hasta un recinto que queremos mantener a una temperatura mayor T_a .

En este caso, tenemos una bomba de calor, de eficiencia (o coeficiente de operación) dado por:

$$\varepsilon = COP = \frac{|Q_a|}{|W|}$$

Se define de esta manera porque ahora estamos interesados en el calor suministrado al recinto a temperatura T_a .

Eficiencia de un ciclo frigorífico ideal usado como bomba de calor.

$$\varepsilon = COP = \frac{|Q_a|}{|W|} = \frac{|Q_a|}{|Q_a| - Q_b} = \frac{1}{1 - Q_b / |Q_a|} = \frac{1}{1 - T_b / T_a}$$

$$|W| = |Q_a| - Q_b$$

$$\varepsilon_{rev} = COP_{rev} = \frac{T_a}{T_a - T_b}$$

El COP_{rev} para una bomba de calor es mayor que la unidad siempre que $T_a > T_a - T_b$

Funcionamiento de una bomba de calor (ciclo compresión de vapor)

