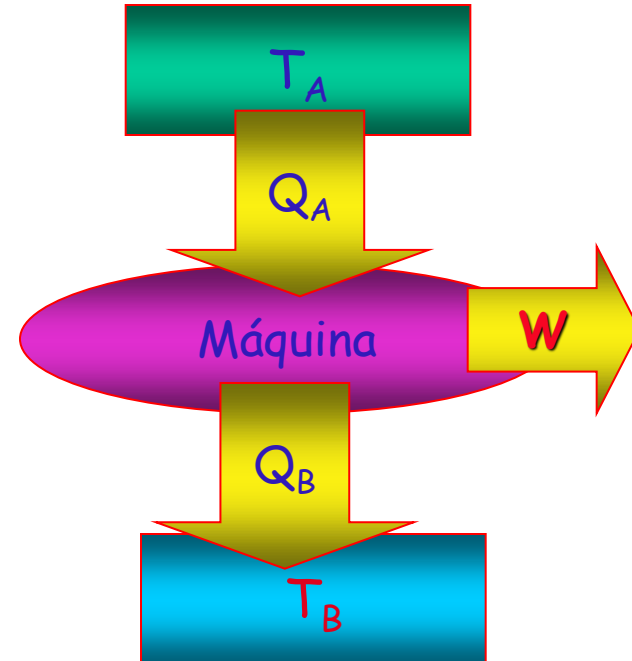




Ciclo de Carnot

De acuerdo con la 2a ley de la termodinámica, ninguna máquina térmica puede tener una eficiencia del 100%

¿Cuál es la eficiencia máxima que puede tener una máquina térmica, dados dos depósitos térmicos con temperaturas T_A y T_B ?





Facultad de Ingeniería

División de Ciencias Básicas

Ciclo de Carnot

El ingeniero francés Sadi Carnot (1796-1832) contestó esta pregunta en 1824, ideando una máquina térmica hipotética que tiene la máxima eficiencia posible de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica.





Facultad de Ingeniería

División de Ciencias Básicas

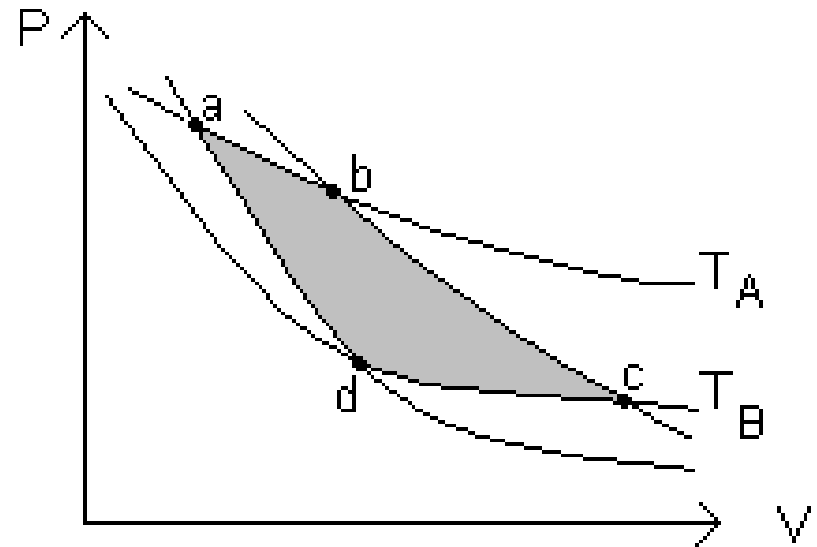
Ciclo de Carnot

a→b Expansión isotérmica a T_A

b→c Expansión adiabática hasta bajar su temperatura a T_B

c→d Compresión isotérmica a T_B

d→a Compresión adiabática hasta alcanzar la temperatura T_A



Ciclo de Carnot



Facultad de Ingeniería

División de Ciencias Básicas

Ciclo de Carnot

En el caso de que la sustancia de trabajo fuese un gas ideal.

Para la expansión isotérmica:

$$Q_A = W_{ab} = mRT_A \ln \frac{V_b}{V_a}$$

Para la compresión isotérmica:

$$Q_B = W_{cd} = -mRT_B \ln \frac{V_c}{V_d}$$

La relación entre calores es:

$$\frac{Q_B}{Q_A} = -\frac{T_B}{T_A} \frac{\ln \frac{V_c}{V_d}}{\ln \frac{V_b}{V_a}}$$



Ciclo de Carnot

En el caso de que la sustancia de trabajo fuese un gas ideal.

Para los procesos adiabáticos:

$$T_A V_b^{k-1} = T_B V_c^{k-1} \quad y \quad T_A V_a^{k-1} = T_B V_d^{k-1}$$

Dividiendo la primera expresión entre la segunda:

$$\frac{V_b^{k-1}}{V_a^{k-1}} = \frac{V_c^{k-1}}{V_d^{k-1}} \quad y \quad \frac{V_b}{V_a} = \frac{V_c}{V_d}$$



Eficiencia del Ciclo de Carnot

Sustituyendo en la relación entre calores es:

$$\frac{Q_B}{Q_A} = -\frac{T_B}{T_A} \frac{\ln \frac{V_c}{V_d}}{\ln \frac{V_b}{V_a}} = -\frac{T_B}{T_A} \quad \text{o} \quad \frac{|Q_B|}{|Q_A|} = \frac{T_B}{T_A}$$

La eficiencia de la máquina de Carnot es:

$$\eta = 1 - \frac{T_B}{T_A} = \frac{T_A - T_B}{T_A}$$



Facultad de Ingeniería División de Ciencias Básicas

Eficiencia del Ciclo de Carnot

El resultado anterior nos dice que la eficiencia de una máquina de Carnot sólo depende de las temperaturas de los depósitos térmicos. La eficiencia es grande si la diferencia de temperaturas es grande y muy pequeña cuando las temperaturas son casi iguales.

La eficiencia nunca podrá ser igual con uno a menos que T_B fuese igual con cero, lo cual resulta imposible.

En todos los cálculos sobre el ciclo de Carnot se deben usar temperaturas absolutas, ya que las ecuaciones provienen de la aplicación de la ecuación de estado de los gases ideales.



Ejemplo del Ciclo de Carnot

Una máquina de Carnot cuyo depósito de temperatura alta está a 500 K, recibe 620 J de calor a esa temperatura en cada ciclo y cede 335 J al depósito de temperatura baja.

- ¿Cuál es el valor de la temperatura baja?
- Calcule la eficiencia térmica en cada ciclo.
- ¿Cuánto trabajo mecánico realiza la máquina en cada ciclo?

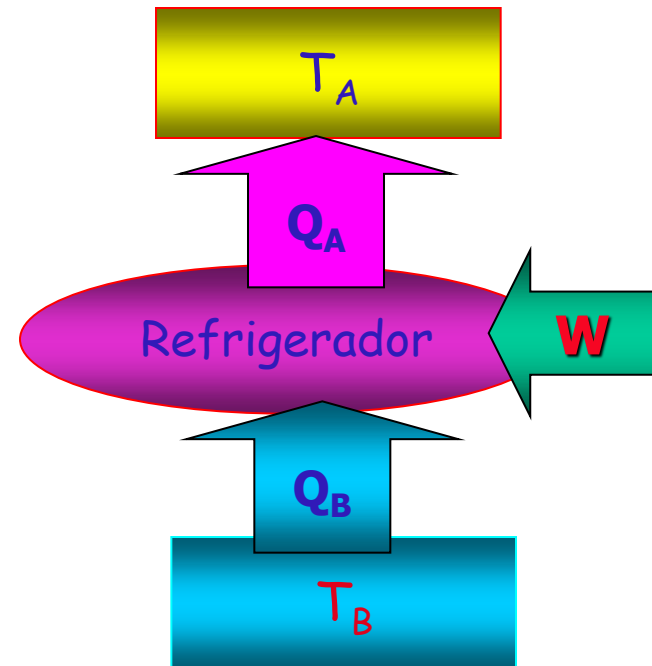
Solución:

a) $T_B=270.16[\text{K}]$, b) $\eta=0.4597\approx 46\%$, c) $W=285[\text{J}]$



Refrigerador de Carnot

$$\beta_{\text{Carnot}} = \frac{Q_B}{W} = \frac{Q_B}{Q_A - Q_B}$$
$$\beta_{\text{max}} = \frac{T_B}{T_A - T_B}$$





Ejemplo del refrigerador de Carnot

Una refrigerador de Carnot se utiliza para fabricar hielo, toma calor del agua a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y desecha calor a un cuarto que está a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Suponga que 40 kg de agua a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ se convierten en hielo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Calcule el coeficiente de operación del refrigerador.
- ¿Cuánto calor se desecha al cuarto?
- ¿Cuánto trabajo mecánico debe aportarse al refrigerador en cada ciclo?

Solución:

a) $\beta=12.4159$, b) 14.4 [MJ] , c) $W=10.8\text{[MJ]}$

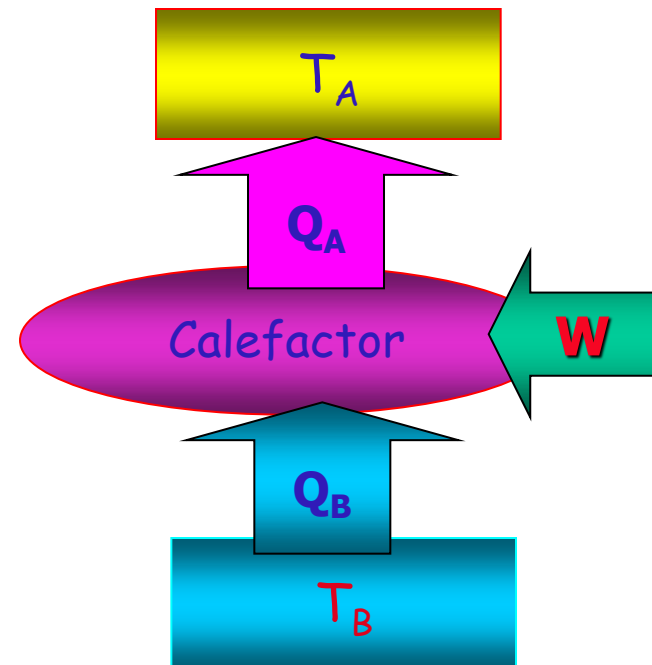


Facultad de Ingeniería

División de Ciencias Básicas

Calefactor de Carnot

$$\beta_{\text{Carnot}} = \frac{Q_A}{W} = \frac{Q_A}{Q_A - Q_B}$$
$$\beta_{\text{max}} = \frac{T_A}{T_A - T_B}$$





Ejemplo del calefactor de Carnot

Una bomba de calor ideal se utiliza para tomar energía en forma de calor del aire exterior a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y suministrarlo al sistema de calefacción de una casa a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. La bomba se acciona mediante energía eléctrica.

- Calcule el coeficiente de operación del calefactor.
- ¿Cuánto trabajo se necesita para bombear 1 kJ de calor dentro de la casa?
- ¿Cuánto calor se toma del aire exterior en cada ciclo?

Solución:

a) $\beta=6.96$, b) $W=143.68\text{ [J]}$, c) $Q=856.32\text{ [J]}$