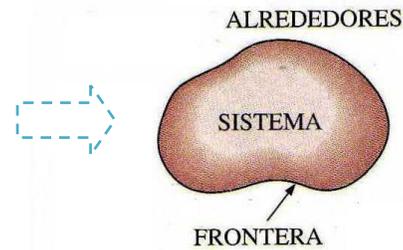


Formulario de Termodinámica Aplicada
Conceptos Básicos

| Formula | Descripción | Donde |
|----------------|-------------------------------------|---|
| Fuerza | $F = (m * a)$ | F= fuerza (newton) m = masa (kg) a = aceleración (m/s ²) |
| Peso | $P = (m * g)$ | P= peso (newton) m = masa (kg) g = gravedad (9.087 m/s ²) |
| Trabajo | $W = (F * d)$ 1 Joule = 1(N * m) | W = trabajo (newton por metro) (N * m) F= fuerza (newton) d = distancia (m) |

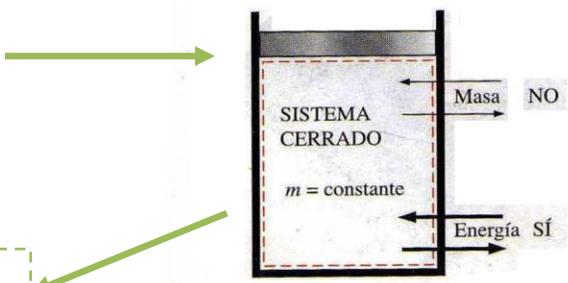
Sistemas Cerrados v Abiertos

Un sistema se define como una cantidad de materia o una región en el espacio elegida para análisis. La masa o región fuera del sistema se conoce como **alrededores**. La superficie real o imaginaria que separa al sistema de sus alrededores se llama **frontera**.



Sistema, alrededores y frontera.

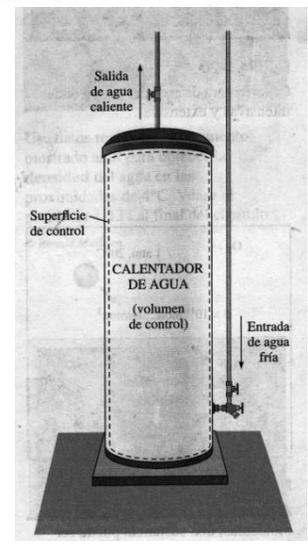
Un **sistema cerrado** conocido también como una masa de control consta de una cantidad fija de masa y ninguna otra puede cruzar su frontera, es decir ninguna masa puede entrar o salir de un sistema cerrado, pero la energía, en forma de calor o trabajo puede cruzar la frontera; y el volumen de un sistema cerrado no tiene que ser fijo



La masa no puede cruzar las fronteras de un sistema cerrado, pero la energía sí.

Si en un caso, incluso se prohíbe que la energía cruce la frontera, entonces se trata de un sistema aislado

Un **sistema abierto** o un volumen de control como suele llamarse es una energía elegida apropiadamente en el espacio, generalmente encierra un dispositivo que tiene que ver con flujo másico, como un compresor, turbina o tobera



Un sistema abierto (o volumen de control) con una entrada y una salida

Kathleen J. Hernandez O.

Formulario de Termodinámica Aplicada
Conceptos Básicos

| Formula | Descripción | Donde |
|------------------------|---------------------------------------|---|
| Densidad | $\rho = \frac{m}{V}$ | ρ = densidad (kg/m ³) m = masa (kg) V = volumen (m ³) |
| Volumen específico | $v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$ | v = volumen específico (m ³) m = masa (kg) V = volumen (m ³) |
| Presión | $P = \frac{F}{A}$ | P = presión (atm), (Pa) (1 Pa = 1 N/m ²) F= fuerza (newton) A = área (m ²) |
| Presión manométrica | $P_{manométrica} = P_{abs} - P_{atm}$ | Presión manométrica (bar, atm, Pa, mmHg) Presión absoluta (bar, atm, Pa, mmHg) |
| Presión de vacío | $P_{vacío} = P_{atm} - P_{abs}$ | Presión atmosférica (bar, atm, Pa, mmHg) Presión de vacío (bar, atm, Pa, mmHg) |
| Energía cinética (EC) | $EC = m \frac{V^2}{2}$ | EC = energía cinética (J) m = masa (kg) V= velocidad (m/s) |
| Energía cinética (EC) | $EC = \frac{V^2}{2}$ | EC = energía cinética (J/kg) V= velocidad (m/s) |
| Energía Potencial (EP) | $EP = mgZ$ | EP = Energía Potencial (J) m = masa (kg) g = gravedad (9.087 m/s ²) z = altura (m) |
| Energía Potencial (EP) | $EP = gZ$ | EP = Energía Potencial (J/Kg) g = gravedad (9.087 m/s ²) z = altura (m) |

Maquina Térmica
(esquema)

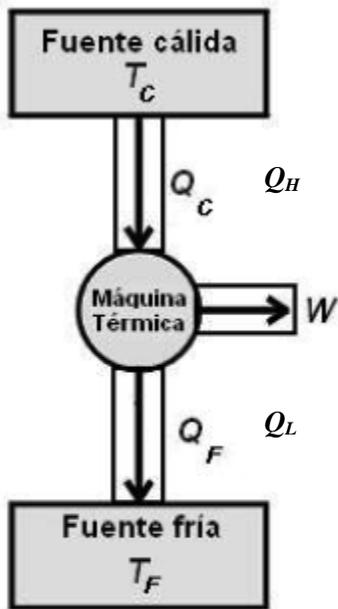
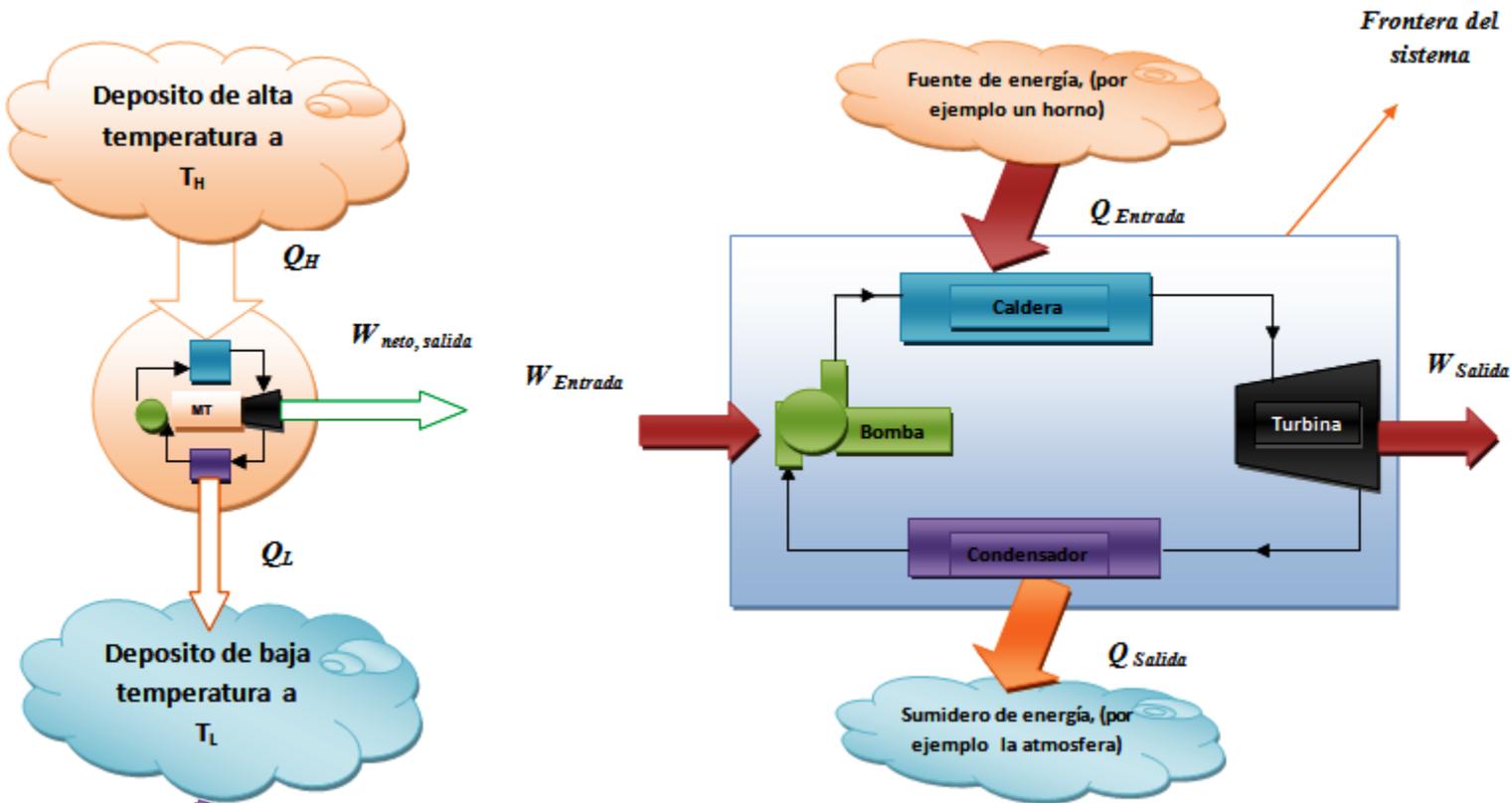


Figura 15.1 Representación esquemática de una máquina térmica.

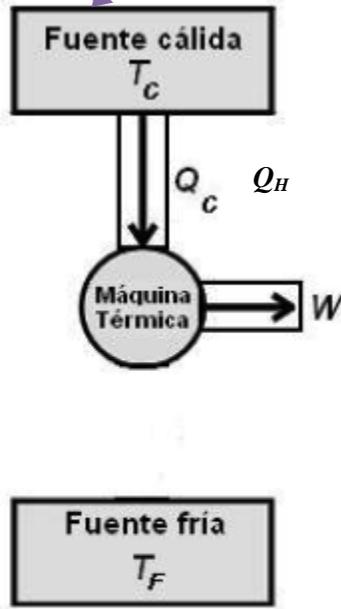


Figura 15.2 Representación esquemática de una máquina térmica imposible de construir.

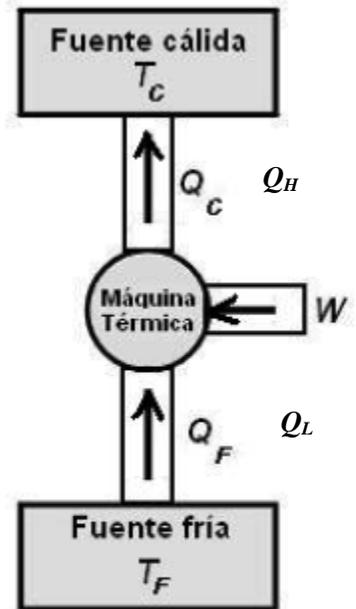
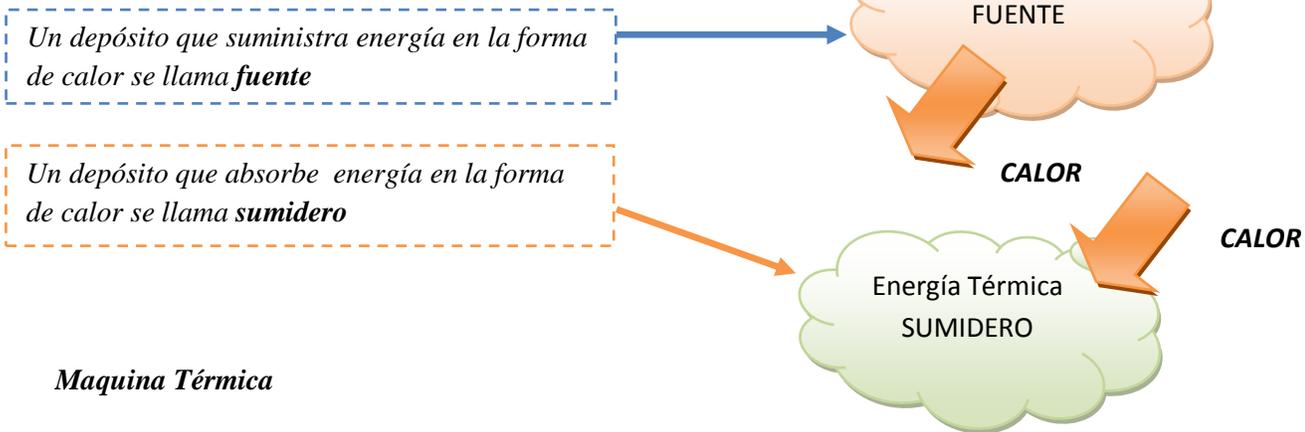


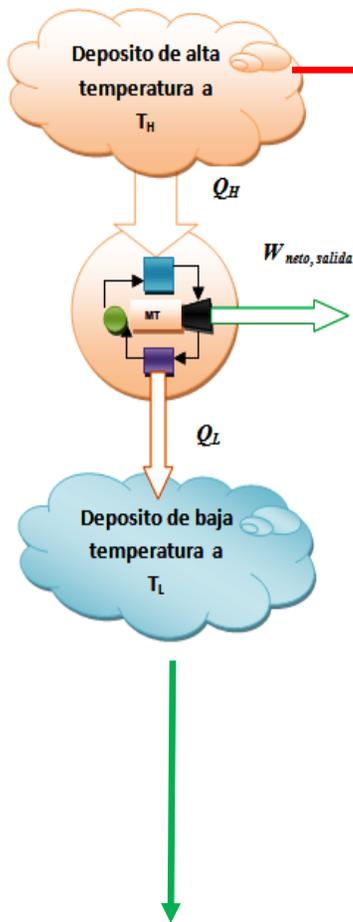
Figura 15.3 Representación esquemática de un refrigerador.

Formulario de Termodinámica Aplicada
Segunda ley de termodinámica

Depósitos de energía térmica



Maquina Térmica



Q_H (entrada) = cantidad de calor suministrada al vapor en una caldera desde una fuente de temperatura alta (horno)
 Q_L (salida) = cantidad de calor rechazada del vapor en el condensador hacia un sumidero de temperatura baja (atmósfera, río, entre otros)
 W = cantidad de trabajo realizado
La máquina, representada por el círculo en el centro del diagrama, Absorbe cierta cantidad de calor Q_H (el subíndice H se refiere a caliente) tomado de la fuente a temperatura más alta. Hace un trabajo W y libera calor Q_L (el subíndice L se refiere a frío) a la fuente de temperatura más baja.

Como opera en ciclo la energía interna de la sustancias es igual al inicio y al final $U_1 = U_2 = \Delta U = 0$

| Formula | Descripción | Donde |
|--|------------------------|---|
| Calor neto (Q_{Neto}) | $Q_{neto} = Q_H - Q_L$ | Q_H = calor (entrada) Q_L = calor (salida) W = trabajo (KJ) |
| Trabajo (W) | $W = Q_H - Q_L$ | |
| "El trabajo neto W realizado por la máquina es igual al calor neto que fluye hacia la misma". 1 ley de termodinámica | | |

Eficiencia térmica

$$e = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

La eficiencia térmica, e (o simplemente eficiencia), de una máquina térmica se define como la razón entre el trabajo neto realizado y el calor absorbido durante un ciclo

eficiencia termica = $\frac{\text{salida de trabajo neto}}{\text{entrada de calor total}}$

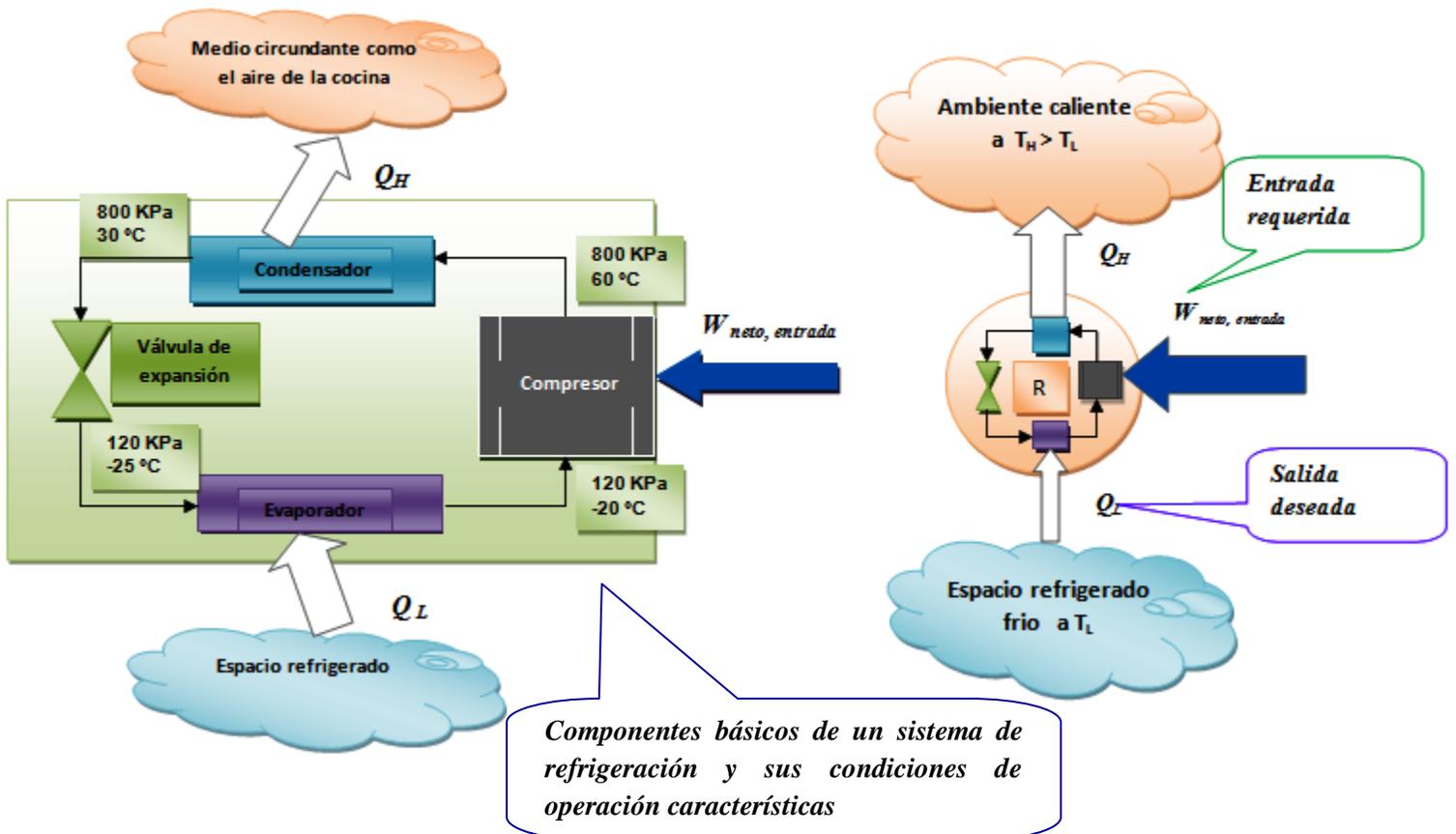
Formulario de Termodinámica Aplicada
Segunda ley de termodinámica

| Formula | Descripción | Donde |
|---|---|---|
| Q_H <i>cuando empleo el trabajo y la eficiencia</i> | $Q_H = \frac{W_{\text{neto, entrada}}}{E_{\text{Term.}}}$ | Q_H = Entrada de energía requerida para producir el trabajo W =Trabajo neto (hp) E =eficiencia térmica |
| Q_H <i>cuando empleo el flujo másico y el poder calórico</i> | $Q_H = \dot{m} * CP$ | \dot{m} = flujo masico (masa/tiempo) CP = poder calorífico |
| Tasa de consumo o flujo másico \dot{m} | $Q_H = \dot{m} * CP$ $\dot{m} = \frac{Q_H}{CP}$ | |
| Flujo másico (\dot{m}) | $\dot{m} = \rho * Q$ | \dot{m} = flujo masico (masa/tiempo) ρ = densidad Kg/m ³ Q = Caudal volumétrico (m ³ /s) |

Enunciado de Kelvin – Planck

“es imposible construir una máquina térmica que, operando en un ciclo, no tenga otro efecto que absorber la energía térmica de una fuente y realizar la misma cantidad de trabajo”.

Refrigerador (esquema de un refrigerador)



Kathleen J. Hernandez O.

Formulario de Termodinámica Aplicada
Segunda ley de termodinámica

Refrigerador

Q_L = Es la magnitud de calor eliminado del espacio refrigerado a temperatura T_L .
 Q_H = Es la magnitud del calor rechazado hacia el medio caliente a temperatura T_H
 $W_{\text{neto, entrada}}$ = es la entrada de trabajo neto al refrigerador
 Q_L y Q_H representan magnitudes, por lo tanto son cantidades positivas

El objetivo de un refrigerador es eliminar (Q_L) de un espacio enfriado

La eficiencia de un refrigerador se expresa en términos del coeficiente de desempeño (COP), el cual se denota mediante (COP_R)

| Formula | Descripción |
|---|---|
| Coeficiente de desempeño para un refrigerador (COP_R) | $COP_R = \frac{\text{Salida de calor deseada}}{\text{Entrada de trabajo Requerida}} = \frac{Q_L}{W_{\text{neto, entrada}}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$ |
| Coeficiente de desempeño para un refrigerador (COP_R) | $COP_R = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$ |

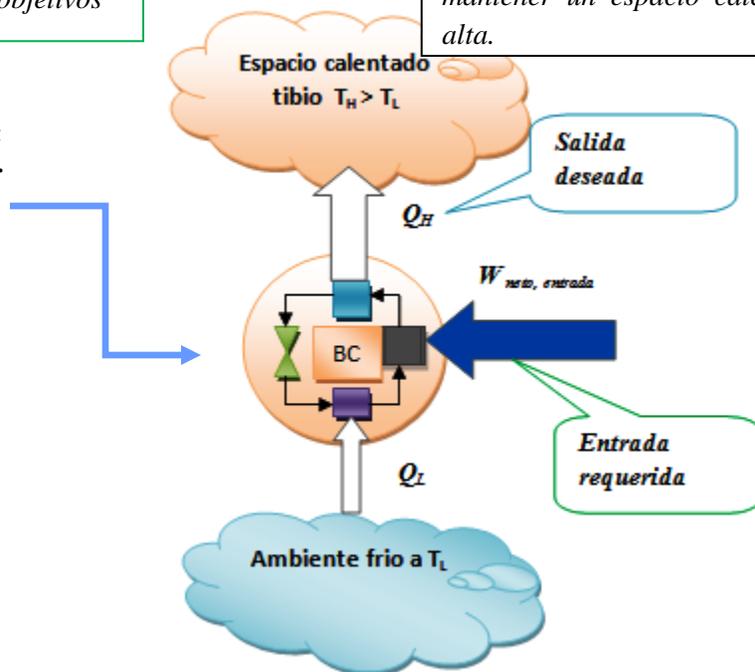
Bombas de calor (esquema)

Es otro dispositivo que transfiere calor desde un medio de baja temperatura a otro medio de alta temperatura, los refrigeradores y bombas de calor operan en el mismo ciclo, pero difieren de sus objetivos

El propósito de un **refrigerador** es mantener el espacio refrigerado a una temperatura baja eliminado calor de este espacio.

El objetivo de una **bomba de calor**, sin embargo es mantener un espacio calentado a una temperatura alta.

Esquema de una Bombas de calor



Kathleen J. Hernandez O.

Formulario de Termodinámica Aplicada
Segunda ley de termodinámica

Bomba de calor

La medida de desempeño de una **bomba de calor** también se expresa en términos del coeficiente de desempeño (COP_{BC})

| Formula | Descripción |
|---|--|
| Coeficiente de desempeño para una bomba de calor (COP_{BC}) | $COP_{BC} = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada requerida}} = \frac{Q_H}{W_{\text{neto, entrada}}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L}$ |
| Coeficiente de desempeño para una bomba de calor (COP_{BC}) | $COP_{BC} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$ |

Comparación de los coeficientes de desempeño de la bomba de calor y el refrigerador



$$COP_{BC} = COP_R + 1$$

Ciclo de Carnot

“ninguna máquina térmica real que opera entre dos fuentes de calor, puede ser más eficiente que una máquina de Carnot, operando entre las dos mismas fuentes”.

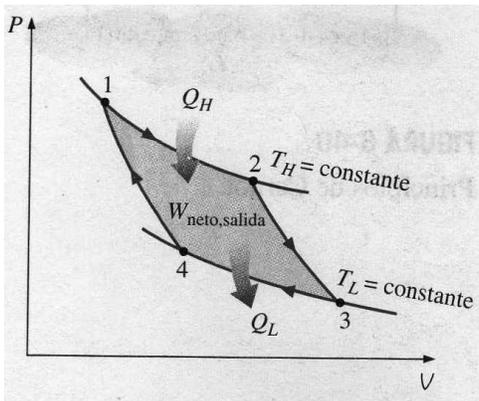


Diagrama P – V de un ciclo de Carnot

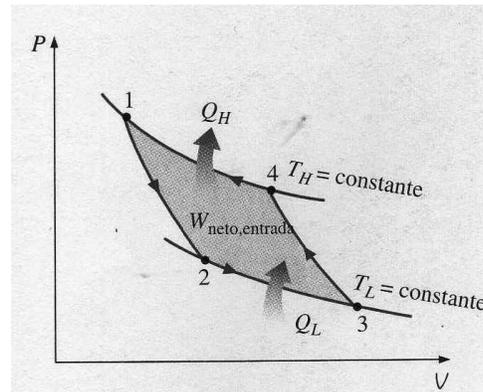


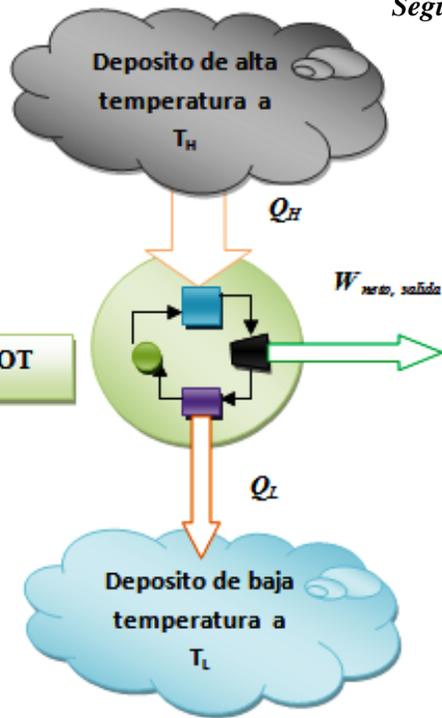
Diagrama P – V de un ciclo inverso de Carnot

La maquina térmica de Carnot

El trabajo neto realizado en el proceso cíclico reversible de Carnot es igual al área encerrada por la trayectoria **12341** en el diagrama P - V de un ciclo de Carnot. Este trabajo neto es igual al calor neto transferido al sistema, $Q_H - Q_L$, ya que el cambio de energía interna es cero.

Kathleen J. Hernandez O.

Formulario de Termodinámica Aplicada
Segunda ley de termodinámica



La maquina térmica de Carnot es la mas eficiente de todas las maquinas térmicas que operan entre los mismo depósitos a temperatura alta y baja

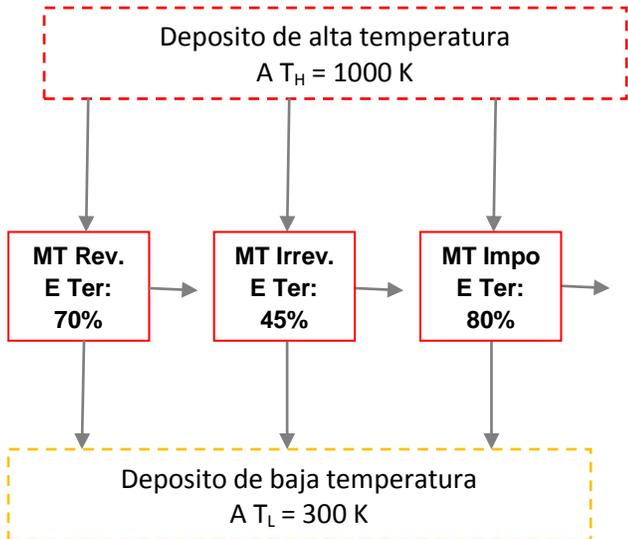
Eficiencia de un maquina térmica de Carnot

| <i>Formula</i> | <i>Descripción</i> | <i>Donde</i> |
|--|---|--|
| Eficiencia de una máquina térmica | $n_{ter} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$ | n_{ter} = eficiencia de la maquina térmica |
| Eficiencia de una maquina térmica de Carnot | $n_{ter,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$ | $n_{ter,rev}$ = Eficiencia de una maquina de Carnot |
| Eficiencia de una maquina térmica de Carnot | $E = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$ | T_L = Temperatura del deposito de baja temperatura T_H = temperatura del deposito de lata temperatura |
| Escala de temperatura termodinámica | $\left(\frac{Q_H}{Q_L}\right)_{rev} = \frac{T_H}{T_L}$ | $Q_{L,rev}$ = calor que rechaza la maquina térmica reversible $Q_{H,rev}$ = calor necesario para que la maquina térmica reversible, realice el trabajo neto, salida |
| usando la eficiencia de Carnot para encontrar T_H : | $n_{ter,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$ $T_H = \frac{T_L}{1 - n_{ter,rev}}$ | W = trabajo neto, salida |
| Para calcular el trabajo se puede usar la ecuación | $E = \frac{W}{Q_H} = W = E * Q_H$ | |
| De la Escala de temperatura termodinámica para obtener Q_L | $\left(\frac{Q_H}{Q_L}\right)_{rev} = \frac{T_H}{T_L}$ $Q_{L,rev} = \frac{T_L}{T_H} Q_{H,rev}$ | |

Formulario de Termodinámica Aplicada
Segunda ley de termodinámica

Las eficiencias térmicas reales y reversibles que operan entre los límites de temperatura se comparan

$$n_{ter} \begin{cases} < n_{ter,rev} & \text{maquina termica irreversible} \\ = n_{ter,rev} & \text{maquia termica reversible} \\ > n_{ter,rev} & \text{maquina termica imposible} \end{cases}$$



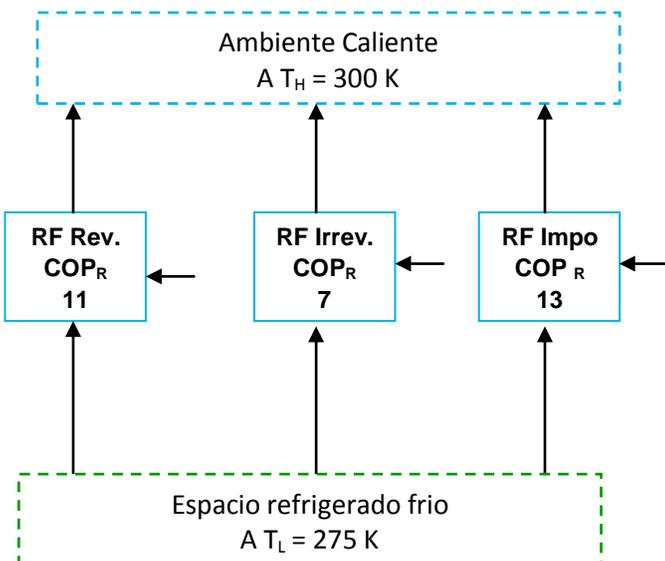
Ninguna maquina térmica puede tener una eficiencia mayor que una maquina térmica reversible operando entre los mismos depósitos

Refrigerador de Carnot

Los coeficientes de desempeños reales y reversibles que operan entre los límites de temperatura se comparan

$$COP_{RefR} \begin{cases} < COP_{Ref,rev} & \text{Refrigerador irreversible} \\ = COP_{Ref,rev} & \text{Refrigerador reversible} \\ > COP_{Ref,rev} & \text{Refrigerador imposible} \end{cases}$$

$$COP_{R,REV} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$



Ningún Refrigerador puede tener una COP mayor que otro Refrigerador reversible que opere entre los mismos límites de temperatura

Kathleen J. Hernandez O.

*Formulario de Termodinámica Aplicada
Segunda ley de termodinámica*

Bombas de calor de Carnot

$$COP_{BC,REV} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$$

Los **COP** de refrigeradores y bombas de calor disminuyen cuando T_L decrece, es decir, requiere más trabajo absorber calor de medios de temperatura menor. Cuando la temperatura del espacio refrigerado se aproxima a cero, la cantidad de trabajo requerida para producir una cantidad finita de refrigeración se aproxima a infinito y **COP_R** tiende a cero