Tema Nro. 4
2º Ley de la Termodinámica

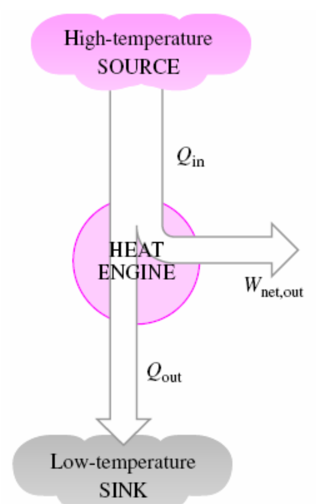
1. TRODUCCIÓN

La 2º Ley de la Termodinámica: se basa en el principio de la conservación de la energía, se utiliza para saber o predecir la dirección y extensión de la energía en un determinado proceso.

El calor se transfiere de forma espontánea o en proceso de forma que siempre tiene una dirección.

2. MÁQUINA TERMICA

Es un dispositivo que recibe calor, desarrolla trabajo y opera en un ciclo mecánico.



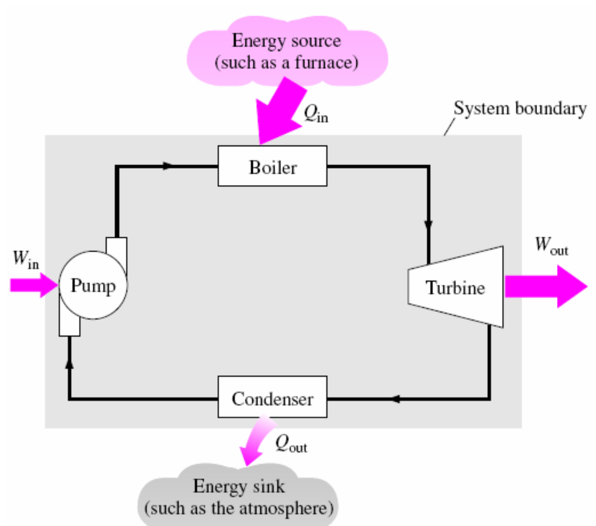


Figura que muestra una máquina térmica en general y como ejemplo una planta de energía a vapor.

En el presente curso llamaremos a la máquina térmica simplemente MT. Para cada uno de los dispositivos el trabajo neto realizado es:

$$\boxed{W_{neto} = Q_e - Q_s} \qquad (1.1)$$

2.1. EFICIENCIA $\rightarrow \mu$

En el grafico Q_s representa la magnitud de la energía desperdiciada con el fin de completar el ciclo. Pero Q_s nunca es cero, por lo que el trabajo netote salida es siempre inferior a la cantidad de calor de entrada. Es decir, que solo una fracción del calor de entrada es trasferido al motor como trabajo. La fracción entre el trabajo neto y el calor de entrada es una medida de resultados de un motor térmico y se llama "eficiencia térmica", para motores calientes la salida deseada es la salida neta de trabajo y la entrada requerida es la cantidad de calor suministrado a los fluidos de trabajo. Entonces el rendimiento térmico de un motor puede expresarse como:

$$\mu = \frac{\text{salida deseada}}{\text{entrada requerida}} = \frac{W_{neto}}{Q_e} = \frac{Q_e - Q_s}{Q_e}$$

$$\boxed{\mu = 1 - \frac{Q_s}{Q_e}} \qquad (1.2)$$

2.2. PRICIPIO DE KELVIN–PLANCK

Este principio dice que ninguna máquina térmica convierte todo el calor que recibe en trabajo útil. El enunciado dice:

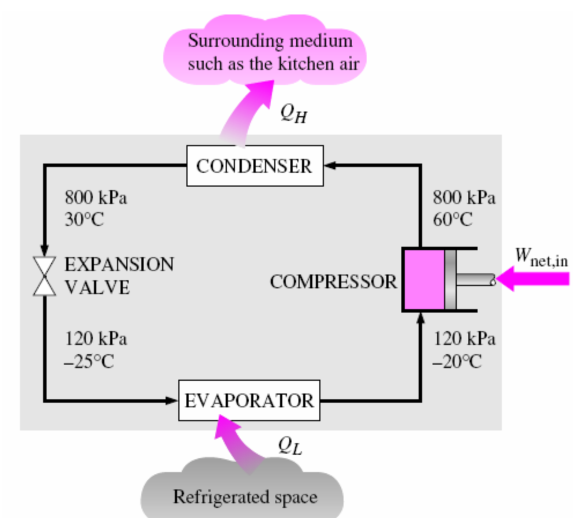
Es imposible para cualquier dispositivo que funcione en un ciclo de recibir calor de un solo depósito y producir una cantidad neta de trabajo (toda la energía convertida en calor)

El enunciado también se expresa como:

Ninguna máquina térmica puede tener una eficiencia de 100%, para que una planta de energía funcione, el fluido de trabajo debe intercambiar calor con el ambiente así como con el horno.

3. REFRIGERADORES Y BOMBAS DE CALOR

El refrigerador es una máquina que requiere trabajo para transferir calor de un cuerpo frío a otro caliente y opera en ciclos.



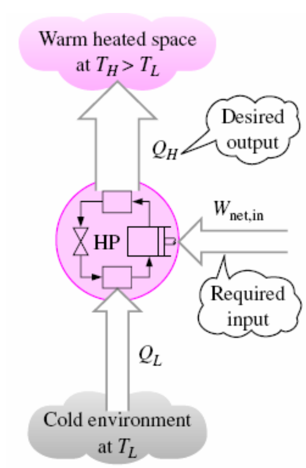
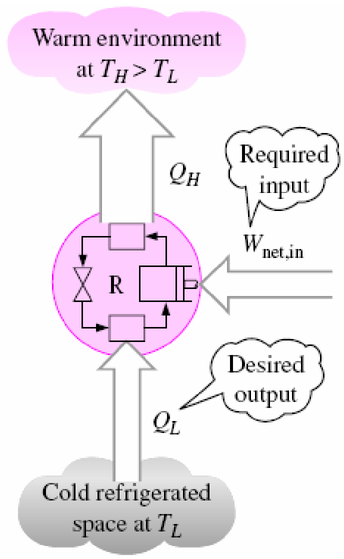
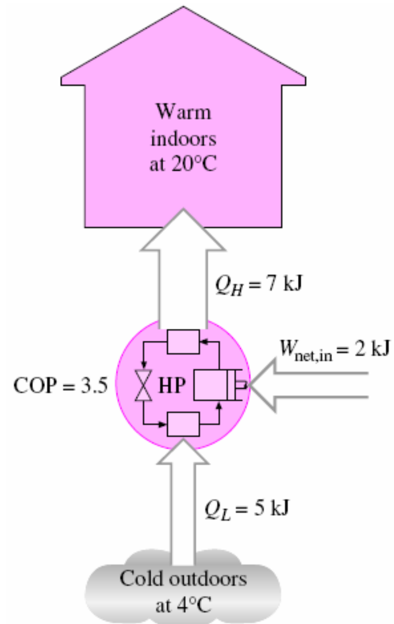


Figura que muestra al refrigerador *(fig. Izquierda)* y a la bomba de calor *(fig. de la derecha)*

Refrigerador $\longrightarrow$ Extrae calor de un sistema
Bomba de calor $\longrightarrow$ Suministra calor a una sistema





$$COP_R = \frac{\text{salida deseada}}{\text{entrada requerida}} = \frac{Q_e}{W_{\text{neto de entrada}}} = \frac{Q_e}{Q_s - Q_e}$$

$$\boxed{COP_R = \frac{1}{\frac{Q_s}{Q_e} - 1}} \qquad (1.3)$$

$$COP_{BC} = \frac{Q_s}{W_{\text{neto de entrada}}} = \frac{Q_e}{Q_s - Q_e}$$

$$\boxed{COP_{BC} = \frac{1}{1 - \frac{Q_e}{Q_s}}} \qquad (1.4)$$

3.1. PRINCIPIO DE CLAUSIUS

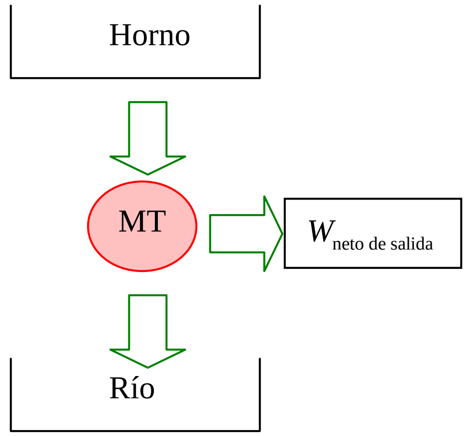
Se expresa como:

Es imposible construir un dispositivo que funcione en un ciclo y cuyo único efecto sea producir la transferencia de calor de un cuerpo a otro cuerpo de temperatura mas baja a un cuerpo de temperatura más alta.

Horno

Ejemplos

1. Se transfiere calor a una máquina térmica desde un horno a una relación de $80MW$. Si la relación de liberación de calor de desecho a un río es de $50MW$. Determinar:



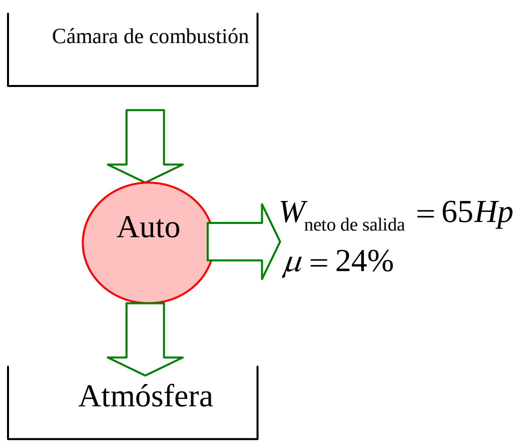
   a. Salida de potencia neta

$$\dot{W}_n = \dot{W}_{entra} - \dot{W}_{sale} = 80 - 50 = 30MW$$

   b. Eficiencia térmica

$$\mu = 1 - \frac{W_s}{W_e} = 1 - \frac{50}{80} = 0.37 \approx 40\%$$

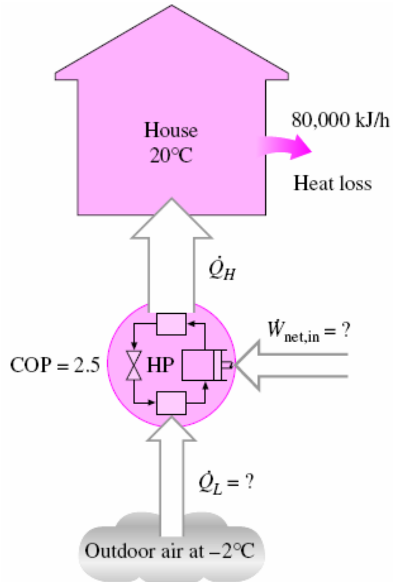
2. Un motor de un automóvil con una salida de potencia de 65Hp tiene una eficiencia térmica de 24%. Determine la relación de consumo de combustible de este automóvil si el combustible de este automóvil tiene un valor calorífico $19000\,{}^{Btu}\!/_{lbm}$, es decir $19000Btu$ de energía se liberan por cada libra de combustible quemado.



$$\mu = \frac{W_{\text{neto de salida}}}{Q_e} \Rightarrow Q_e = \frac{W_n}{\mu} = 689270.83\frac{Btu}{h}$$

$$\dot{m} = \frac{689270.83\frac{\cancel{Btu}}{h}}{19000\frac{\cancel{Btu}}{lb}} = 36.28\frac{lbm}{h}$$

3. Con una bomba de calor se cubren las necesidades de calefacción de una casa al mantenerlo a 20ºC. un día cuando la temperatura del aire exterior disminuye a –2ºC se estima que la casa pierde calor a una relación de $80000\, {kJ}/{h}$, si en estas condiciones la bomba de calor tiene $COP_{BC} = 2.5$, determine:



a. La potencia consumida por la bomba de calor

$$COP_{BC} = \frac{Q_s}{Q_s - Q_e}$$

$$2.5 = \frac{Q_s}{Q_s - Q_e} \Rightarrow \boxed{Q_e = 48\, {MW}/{h}}$$

b. La relación a la cual se extrae calor del aire exterior frío.

$$\dot{W} + Q_e = Q_s$$

$$\dot{W} = Q_s - Q_e = 32000\, {MW}/{h}$$

4. Una central eléctrica de vapor recibe calor de un horno a una taza de $280\, {KJ}/{h}$. Cuando el vapor pasa por tubos y otros componentes, las perdidas de calor hacia el aire circundante desde el vapor se estiman alrededor de $8\, {GJ}/{h}$. Si el calor de desecho se transfiere al H_2O de enfriamiento a una taza de $1145\, {GJ}/{h}$. Determine:

a. La salida de potencia neta.

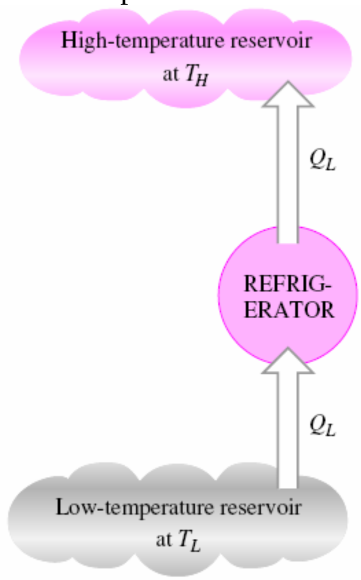
$$\dot{W} = \dot{Q}_h - \dot{Q}_l = 280 - 145 = 127\, \frac{Gj}{h} * \frac{1h}{3600s} * \frac{10^3 MJ}{1GJ}$$

$$\boxed{\dot{W} = 35.3 MW}$$

b. La eficiencia térmica de esta planta.

$$\mu = \frac{127\, {GJ}/{h}}{280\, {GJ}/{h}} = 0.454 \approx 45.4\%$$

5. Un refrigerador domestico que tiene una entrada de potencia de 450W y un coeficiente de operación de 0.5, enfriará a 8ºC 150 latas de cerveza a de 0.5*l* cada una. Si la lata de cerveza está inicialmente a 20ºC, determine cuanto tiempo tarda el refrigerador en enfriarlas. Para los cálculos la cerveza puede considerarla como agua.



$$COP_R = 2.5 = \frac{\dot{Q}_l}{\dot{W}_n}$$

$$Q_l = COP_R * \dot{W}_n = 2.5 * 450W = 1125\, {}^{KJ}\!/\!_{s}$$

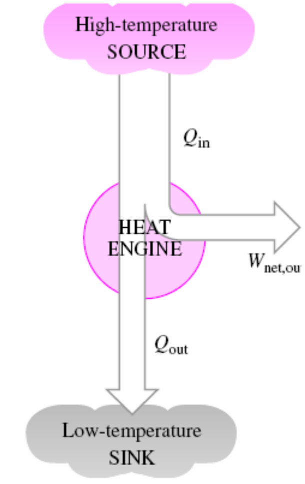
$$Q_l = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 1\, {}^{g}\!/\!_{cm^3} * 50 * 10^3 cm^3 * \frac{1cal}{g \cdot {}^{o}C}(8-20)$$

$$= -800cal * \frac{4.18J}{1cal} = 2.5 * 10^6 J$$

$$t = \frac{Q_l}{\dot{Q}_l} = 4.18h$$

6. Una central eléctrica de vapor con una salida de potencia de 150MW consume carbón mineral a una tasa de $60 \, {}^{ton}\!/_{h}$. Si el poder calorífico del carbón mineral es de $30000 \, {}^{KJ}\!/_{Kg}$, determine la eficiencia global de la central eléctrica. $\mu = 30\%$



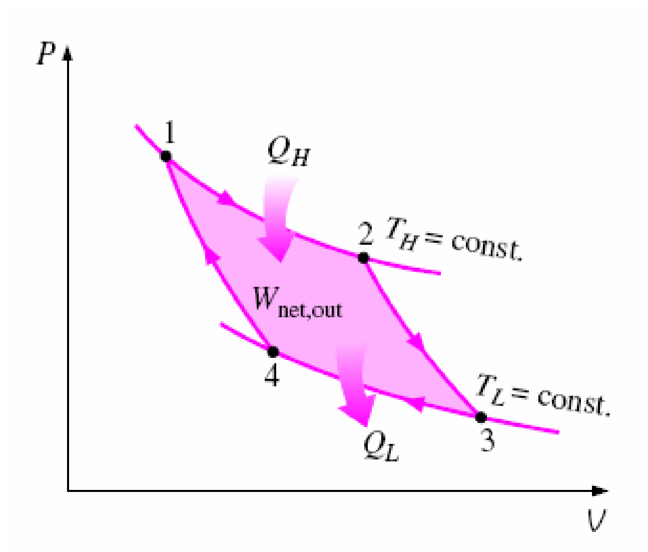
$$\dot{Q}_C = 30000 \, {}^{KJ}\!/_{Kg}$$

$$\dot{W}_n = 150MW$$

$$COP_P = \frac{\dot{W}_N}{\dot{Q}_H}$$

$$\mu = \frac{150}{500} = 0.3$$

3.2. CICLO DE POTENCIA. EL CICLO DE CARNOT



$1 \to 2$ Expansión isotérmica
$2 \to 3$ Expansión adiabática
$3 \to 4$ Compresión isotérmica
$4 \to 1$ Compresión adiabática

Ciclo de Carnot
↓
2 procesos isotermicos
↓
2 procesos adiabáticos

$$\boxed{\left(\frac{Q_h}{Q_l}\right)_{\substack{\text{ciclo}\\\text{reversible}}} = \frac{T_h}{T_l}}$$

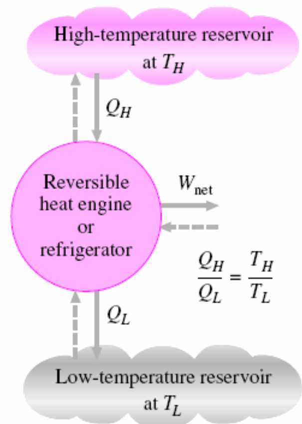
$$MT: \mu = 1 - \frac{Q_l}{Q_h} \to 1 - \frac{T_l}{T_h}$$

$$R: COP_r = \frac{1}{\frac{Q_l}{Q_h} - 1} \Rightarrow \frac{1}{\frac{T_l}{T_h} - 1}$$

$$BC: COP_{BC} = \frac{1}{1 - \frac{Q_h}{Q_l}} \Rightarrow \frac{1}{1 - \frac{T_h}{T_l}}$$

Ejemplo

1. Una máquina térmica funciona entre dos dispositivos que se encuentran a $375K$ y $300K$. Si el coeficiente de operación del refrigerador es 20 veces el valor de la eficiencia térmica. Determinar:



a. CO_R

$$COP_R = 20\mu$$

$$\mu = 1 - \frac{T_l}{T_h} = 1 - \frac{300}{375}$$

$$\mu = 0.2$$

$$COP_R = 4$$

b. La temperatura del depósito que proporciona la energía al refrigerador.

$$COP_R = \frac{T_l}{T_h - T_l} \Rightarrow 4 = \frac{T}{300 - T}$$

$$T = 240K$$