

SEGUNDA LEY DE LA  
TERMODINÁMICA  
*Máquinas térmicas,  
refrigeradores y bombas  
de calor*

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=LMMZJPZR4PY](https://www.youtube.com/watch?v=LMMZJPZR4PY)

# VI. Segunda ley de la termodinámica

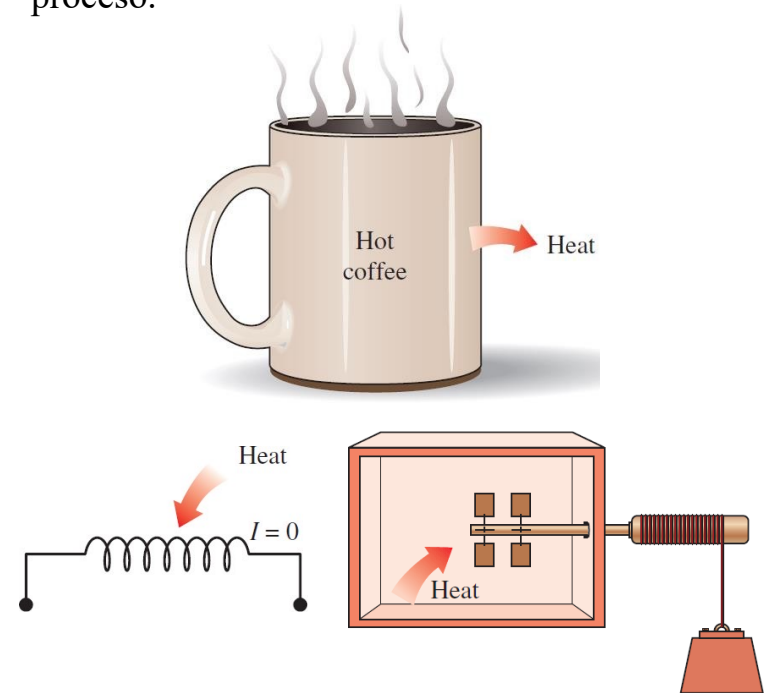
## Objetivos:

1. Introducir la segunda ley de la termodinámica.
2. Identificar los procesos válidos como aquellos que satisfacen tanto la primera ley como la segunda ley de la termodinámica.
3. Discutir fuentes y sumideros de energía térmica, procesos reversibles e irreversibles, máquinas de calor, refrigeradores, y bombas de calor.

## 1. Introducción a la segunda ley de la termodinámica.

Satisfacer la primera ley no garantiza que un proceso en realidad se lleve a cabo. Un proceso no puede ocurrir a menos que se satisfaga tanto la primera como la segunda ley de la termodinámica.

Los procesos reales ocurren en una determinada dirección y no en dirección inversa. La primera ley no coloca restricciones con respecto a en qué dirección se dará un proceso.

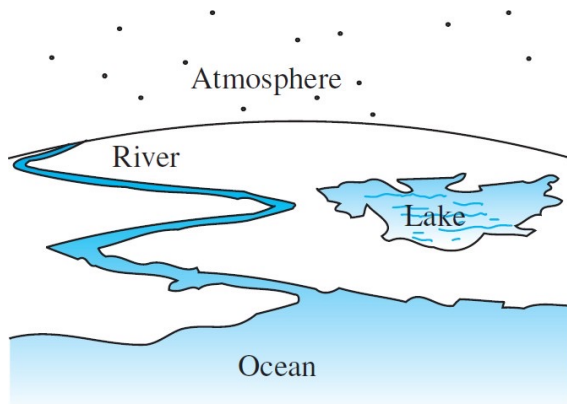


La violación de la segunda ley se puede detectar fácilmente a partir de una propiedad llamada *entropía*.

# VI. Segunda ley de la termodinámica

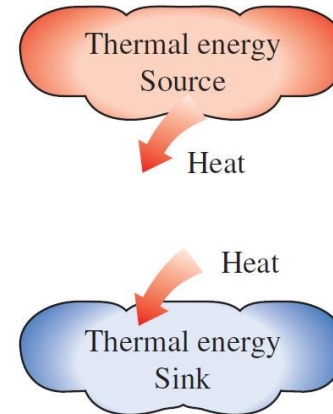
## 2. Reservorios (fuentes y sumideros) de energía térmica

Un *reservorio de energía térmica* es un cuerpo idealizado con una capacidad de energía térmica ( $\text{masa} \times \text{calor específico}$ ) relativamente grande que puede suplir o absorber cantidades finitas de calor sin que se dé ningún cambio en su temperatura. Ejemplos incluyen: océanos, lagos, ríos, aire atmosférico, o cualquier otro cuerpo físico cuya capacidad de energía térmica sea relativamente grande en comparación a la cantidad de energía que suplir o absorbe.



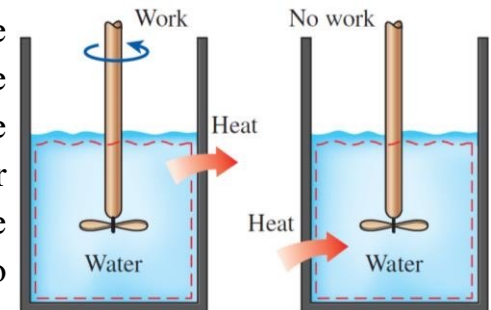
Una *fente* es un reservorio que supe energía en forma de calor.

Un *sumidero* es un reservorio que absorbe energía en forma de calor.



## 3. Máquinas de calor.

El trabajo se puede convertir fácilmente en otras formas de energía, pero convertir otras formas de energía en trabajo no es fácil.

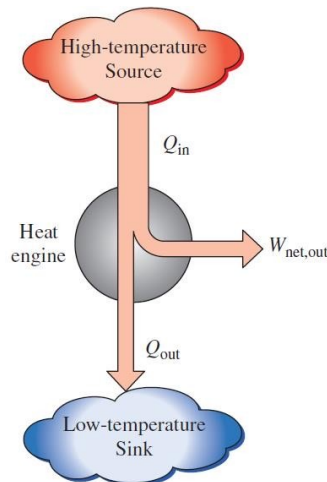


# VI. Segunda ley de la termodinámica

## 3. Máquinas de calor.

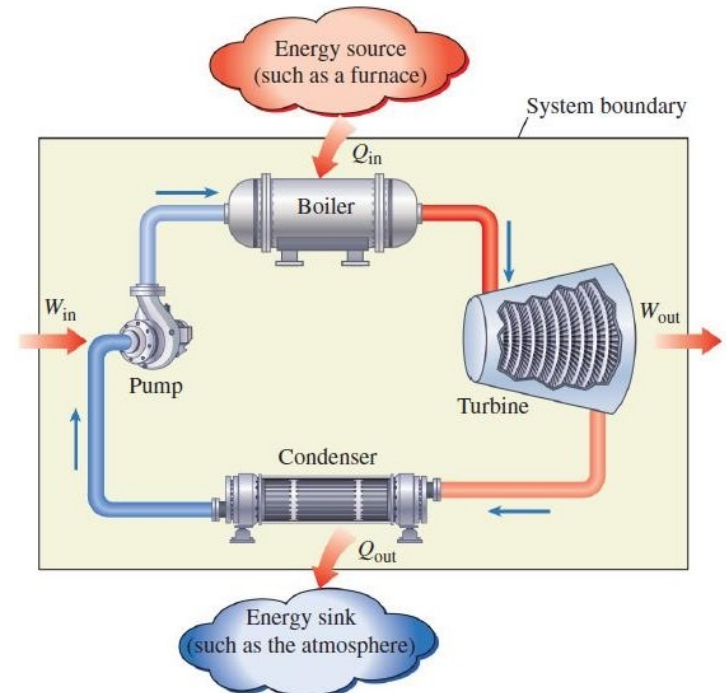
Una *máquina de calor* es un dispositivo para parcialmente convertir calor en trabajo. Las máquinas de calor pueden diferir considerablemente unas de otras, pero pueden ser caracterizadas por lo siguiente:

- Reciben calor de una fuente a alta temperatura.
- Convierten parte de este calor en trabajo.
- Rechazan el calor residual a un sumidero a baja temperatura.
- Operan en un ciclo.



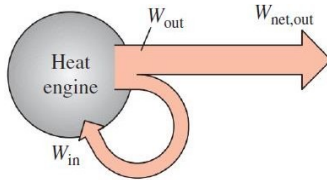
Las máquinas de calor y otros dispositivos cíclicos suelen involucrar un fluido sobre el cuál se dan las interacciones de calor durante el ciclo. A este fluido se le conoce como *fluido de trabajo*.

Un ejemplo de una máquina de calor lo constituye una planta de vapor.



# VI. Segunda ley de la termodinámica

## 3. Máquinas de calor.



$$W_{neto} = W_{salida} - W_{entrada} \quad [kJ]$$

$$W_{neto} = Q_{entrada} - Q_{salida} \quad [kJ]$$

### Eficiencia térmica

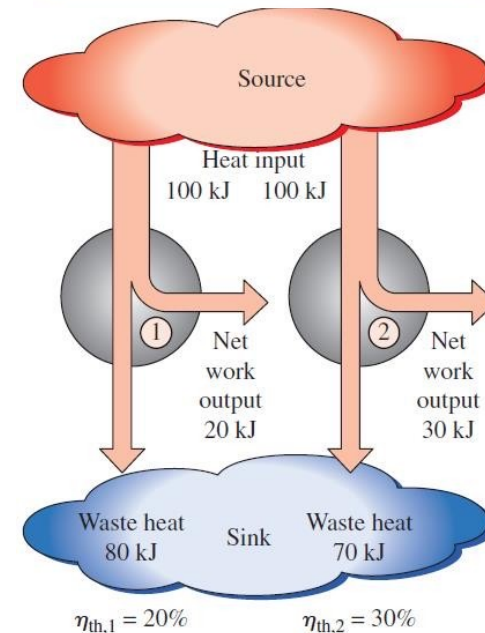
$Q_{salida}$  representa la cantidad de energía desechada para poder completar el ciclo y nunca es cero, por lo tanto el trabajo neto de salida siempre será menor a la cantidad de calor de entrada.

En las máquinas de calor, se desea el trabajo neto y lo que se paga es el calor suministrado al fluido.

Consecuentemente la eficiencia térmica  $\eta_{térmica}$  estaría dada por:

$$\eta_{térmica} = \frac{W_{neto}}{Q_{entrada}}$$

$$\eta_{térmica} = 1 - \frac{Q_{salida}}{Q_{entrada}}$$

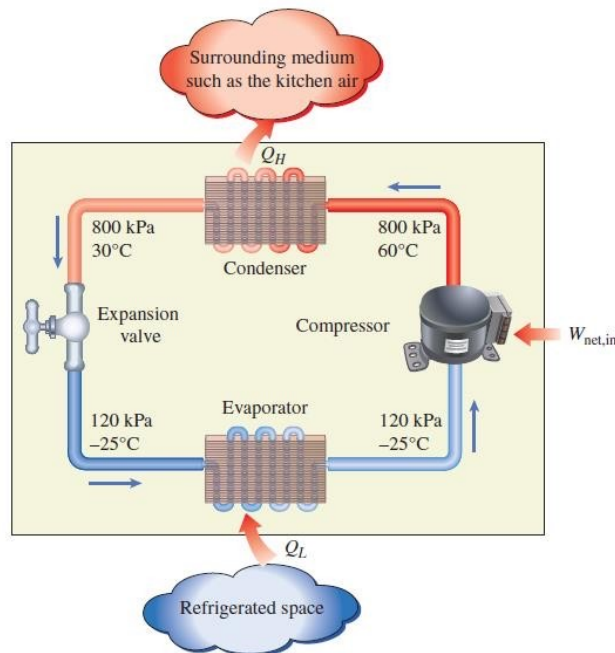


La *eficiencia térmica* es una medida de cuán eficientemente una máquina de calor convierte el calor que recibe en trabajo.

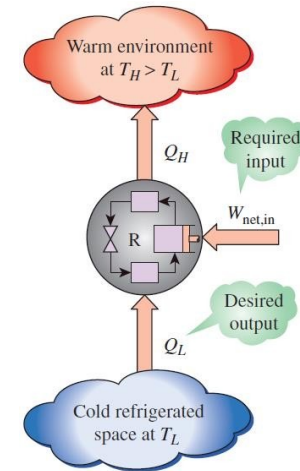
# VI. Segunda ley de la termodinámica

## 4. Refrigeradores y bombas de calor.

Un *refrigerador* es un dispositivo que permite la transferencia de calor de un medio que se encuentra a baja temperatura hacia un medio que está a mayor temperatura.



Los refrigeradores son dispositivos cíclicos y el fluido de trabajo en un ciclo de refrigeración se conoce como refrigerante. El ciclo de refrigeración más común es el de compresión de vapor.



### Coefficiente de desempeño (COP)

El coeficiente de desempeño de un refrigerador es análogo a la eficiencia de una máquina de calor.

$$COP = \frac{\text{Lo que quiero}}{\text{Lo que necesito}}$$

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{neto}}$$

Y en vista de que  $W_{neto} = Q_H - Q_L$ :

$$COP_R = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$$

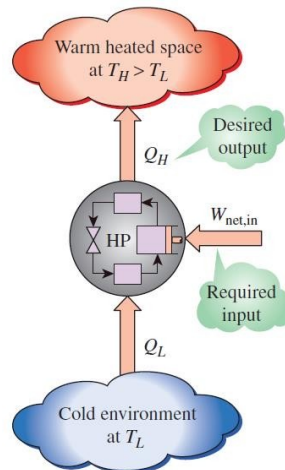
# VI. Segunda ley de la termodinámica

## 4. Refrigeradores y bombas de calor.

A diferencia de la eficiencia el  $COP_R$  puede ser mayor que la unidad, ya que  $Q_L$  puede ser mayor que  $W_{neto}$ .

### Bombas de calor

Otros dispositivos que transfieren calor de un medio de baja temperatura a otro de alta temperatura son las bombas de calor. Las bombas de calor operan en el mismo ciclo que los refrigeradores solo que difieren en sus objetivos.



En el caso de la bomba de calor, su coeficiente de desempeño  $COP$  puede ser definido como:

$$COP_{BC} = \frac{Q_H}{W_{neto}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L}$$

$$COP_{BC} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$

Una comparación entre el  $COP$  de un refrigerador y el de una bomba de calor revela que:

$$COP_R = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1} \rightarrow \frac{Q_H}{Q_L} = \frac{1}{COP_R} + 1$$

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{1 + COP_R}{COP_R}$$

$$COP_{BC} = \frac{1}{1 - \left(\frac{Q_L}{Q_H}\right)}$$

$$COP_{BC} = \frac{1}{1 - \left(\frac{COP_R}{1 + COP_R}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1 + COP_R - COP_R}{1 + COP_R}\right)}$$

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

# VI. Segunda ley de la termodinámica

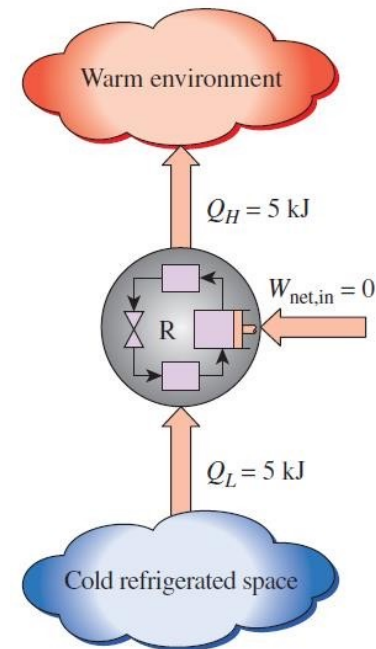
## 4. Refrigeradores y bombas de calor.

Consecuentemente para valores fijos de calor de entrada y de salida en un ciclo, si el  $COP_R > 1$ ,  $COP_{BC}$  también será mayor a la unidad.

Desempeño de refrigeradores, aires acondicionados, y bombas de calor

El desempeño de un aire acondicionado y de una bomba de calor es expresado con frecuencia en términos de la razón de eficiencia de energía ( $EER$ ).

$$EER = 3.412 COP_R$$





# Máquina térmica

## Example 5.2.2.1.

Heat is transferred to a Rankine power plant at a rate of 80 MW. If the net power output of the plant is 30 MW. Determine the thermal efficiency of the power plant.

To solve this problem by CyclePad, we take the following steps:

1. Build
  - A. Go to LIBRARY, select Rankine cycle unsolved.
  - B. Switch to analysis mode.
2. Analysis
  - A. Go to cycle, then cycle properties.
  - B. Input the given information: (a) rate of heat added is +80 MW, (b) net power output is +30 MW.
3. Display results: The answer is  $\eta=0.375$ .

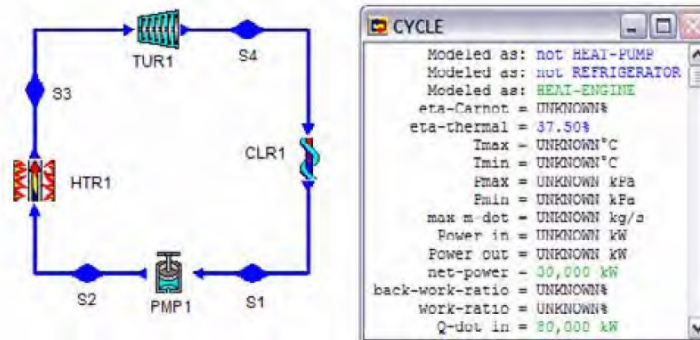


Figure E5.2.2.1. Heat engine efficiency

# Refrigerator

## Example 5.2.3.1.

The inside space of a refrigerator is maintained at low temperature by removing heat ( $\dot{Q}_{L}$ ) from it at a rate of 6 kW. If the COP of the refrigerator is 1.5, determine the refrigerator capacity in tons of refrigeration and the required power input to the refrigerator.

To solve this problem by CyclePad, we take the following steps:

1. Build
  - A. Go to LIBRARY, select basic refrigerator cycle unsolved.
  - B. Switch to analysis mode.
2. Analysis
  - A. Go to cycle, then cycle properties.
  - B. Input the given information: (a) COP is 1.5, (b) rate of heat removed from the refrigerator but added to the cycle is +6 kW.
3. Display results

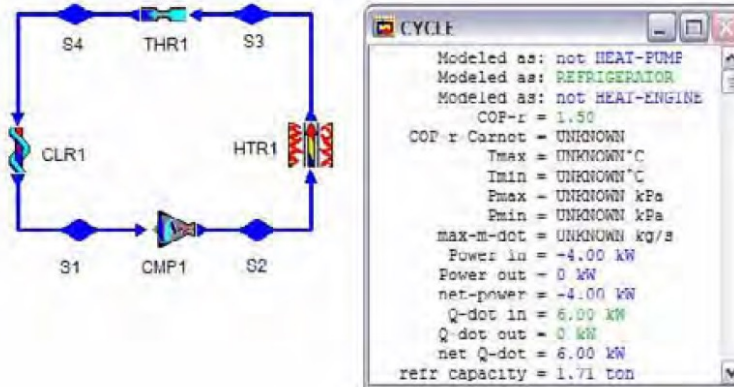


Figure E5.2.3.1. Refrigerator

# Bombas de calor

## Example 5.2.4.2.

A heat pump is selected to meet the heating requirements of a house and maintain it at 18°C. If the outdoor temperature is 2°C, the house is estimated to lose heat at a rate of 1000 kW and the net power input to the house is 680 kW. Determine the COP of the heat pump.

To solve this problem by CyclePad, we take the following steps:

1. Build
  - A. Go to LIBRARY, select basic refrigeration cycle unsolved.
  - B. Switch to analysis mode.
2. Analysis
  - A. Go to cycle, then cycle properties.
  - B. Input the given information: (a) net power input is -680 kW, (b) heat removed is -1000 kW.
3. Display results

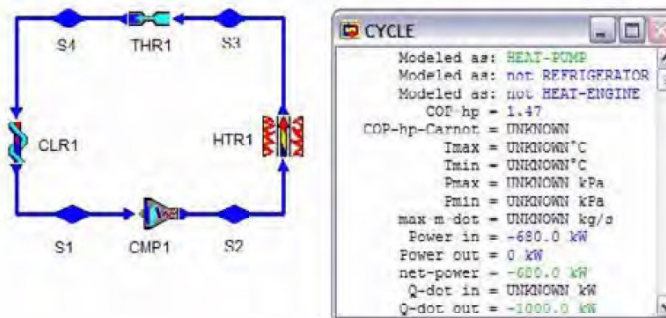


Figure E5.2.4.2. Heat pump

The answer is COP=1.47.