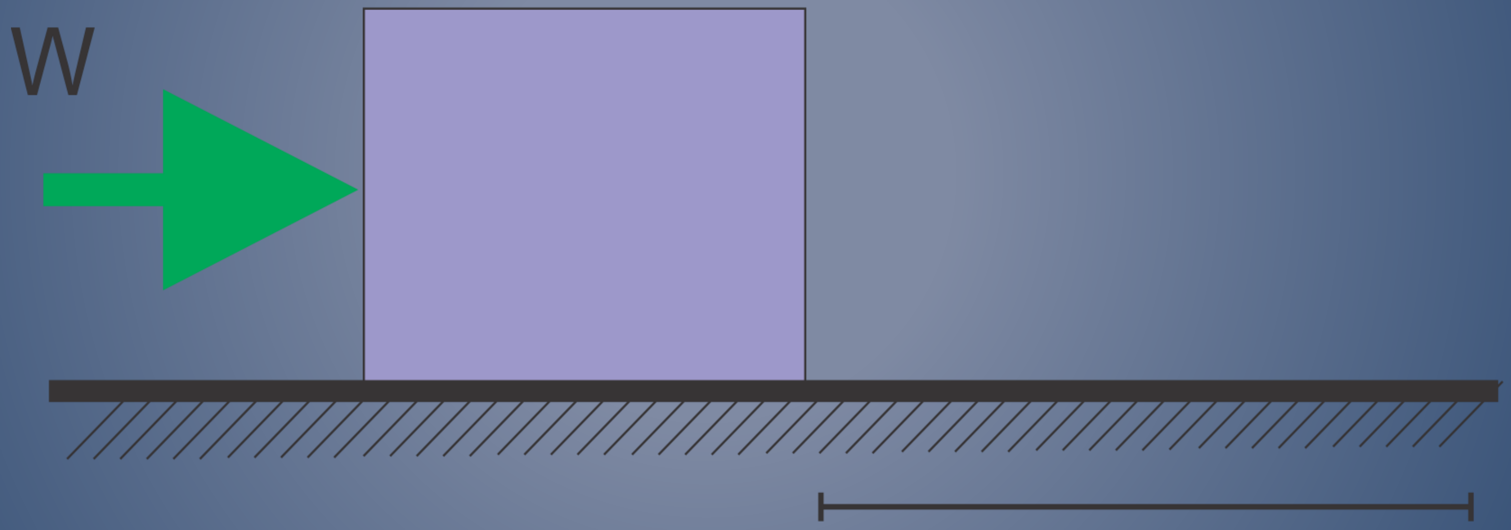
Ciclo de Carnot

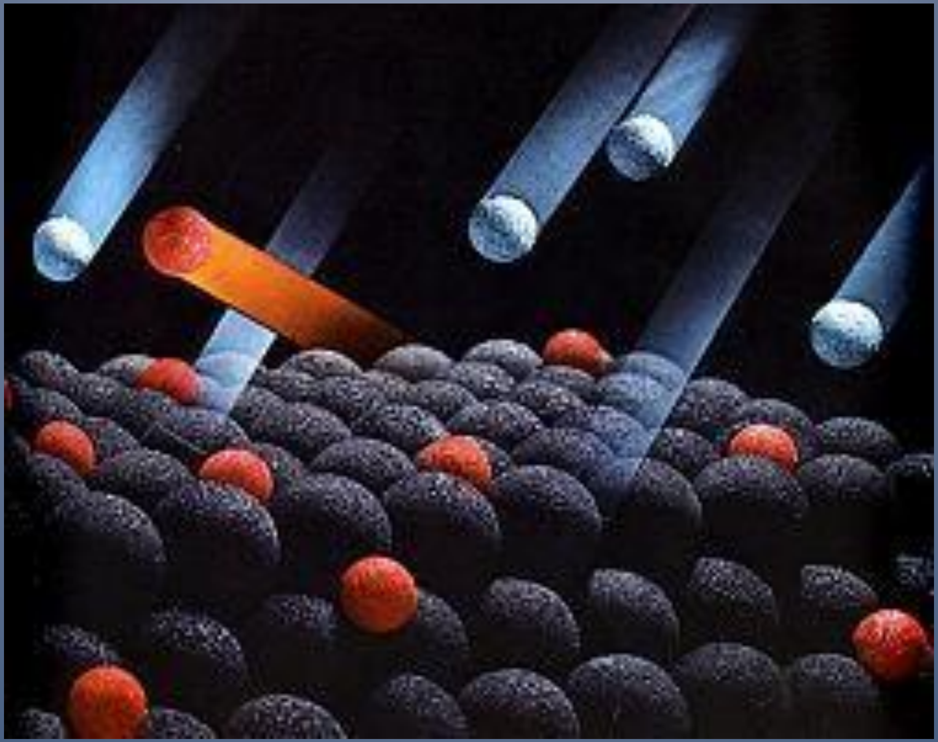
Manuel Alejandro Camacho Limón
Estudiante de Ingeniería Mecánica

Trabajo: Es la energía que se transfiere a un cuerpo al aplicarle una fuerza para desplazarlo

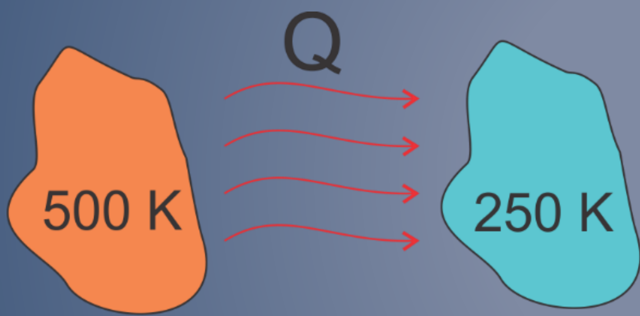


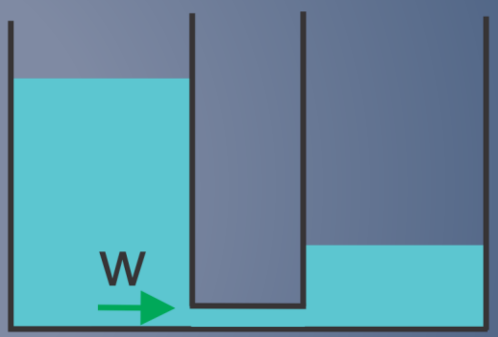
Energía: Capacidad de la materia para realizar un trabajo

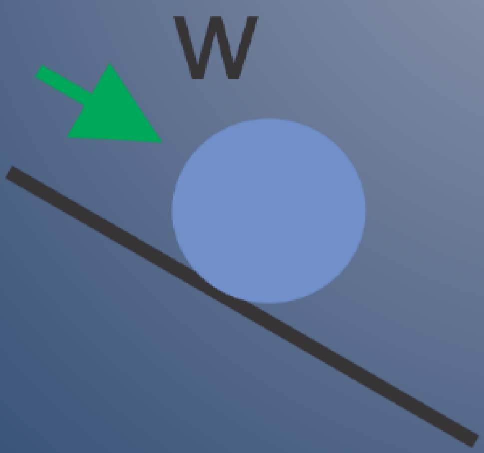
Energía: Cualquier manifestación, macroscópica o microscópica, de movimiento o en el que se suscita

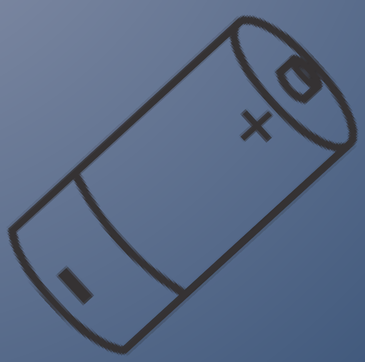


La energía únicamente puede viajar de dos formas: como calor o como trabajo; siempre lo hace debido a un desbalance





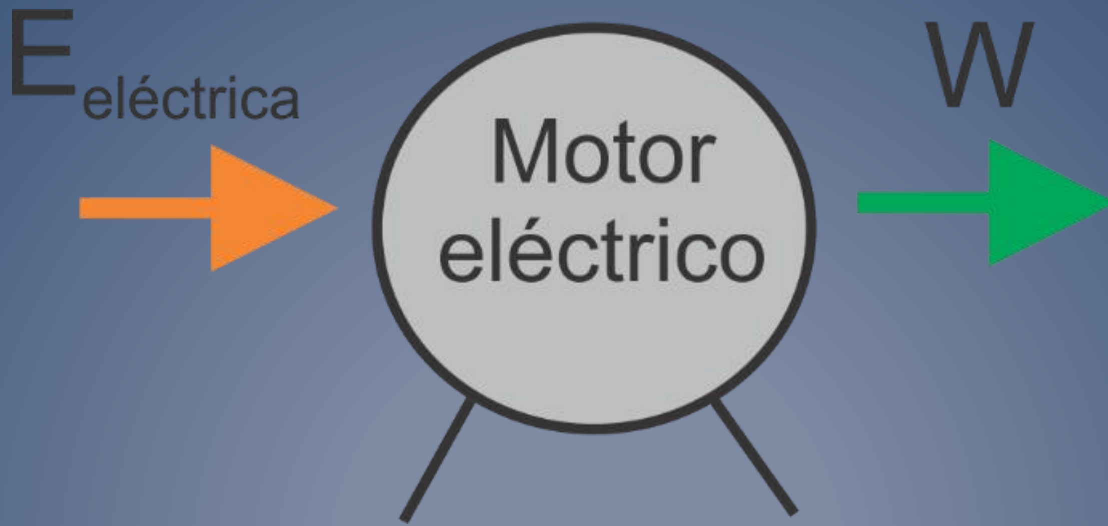




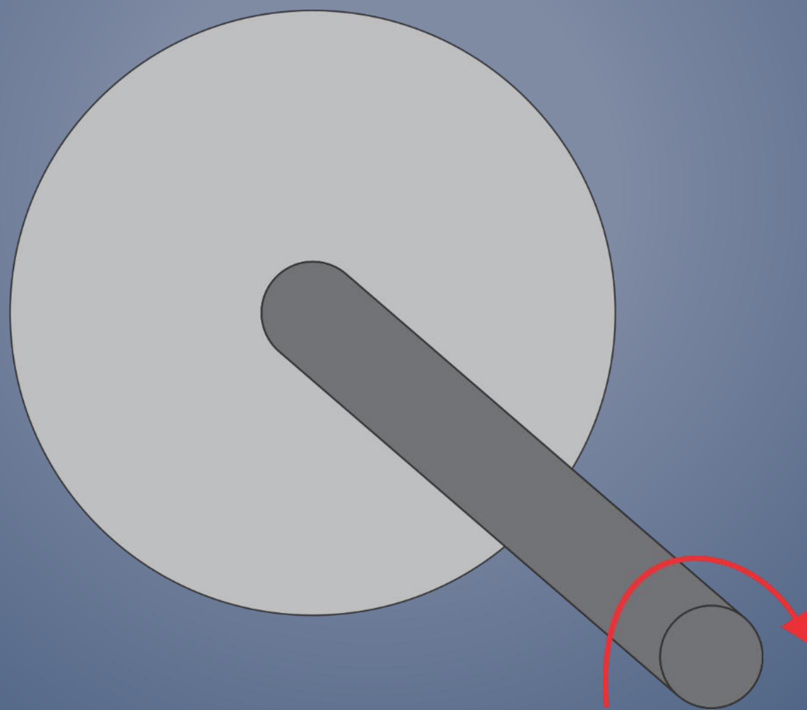
Motor: Dispositivo que convierte la energía en trabajo mecánico


$E_{neumático}$
Motor neumático
W

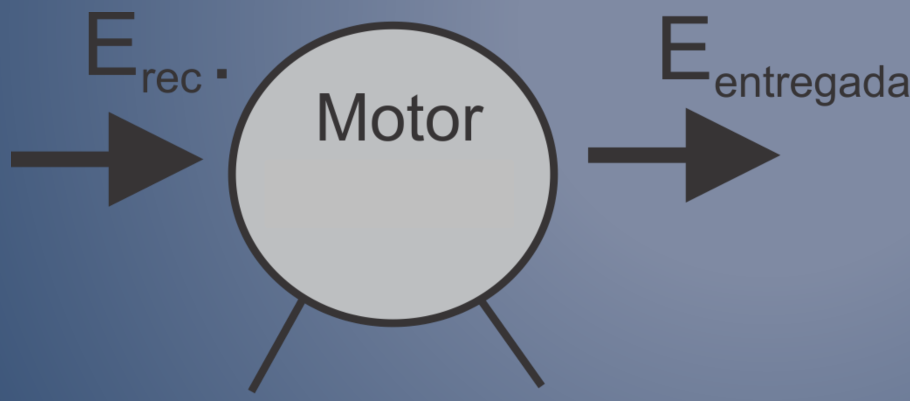

$E_{hidráulica}$
Motor hidráulico
W


$E_{eléctrica}$
Motor eléctrico
W

Los motores siempre manifiestan el trabajo mecánico mediante un eje que gira aplicando un par torsor



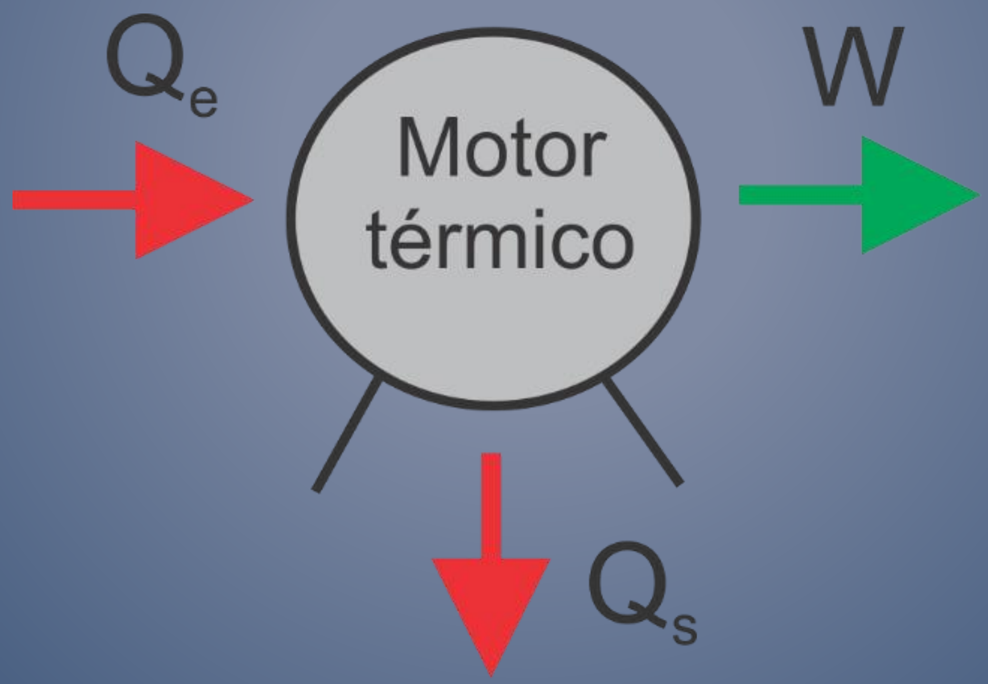
Eficiencia: Es una comparación entre la energía que se suministra a un motor y la que éste aprovecha para realizar el trabajo



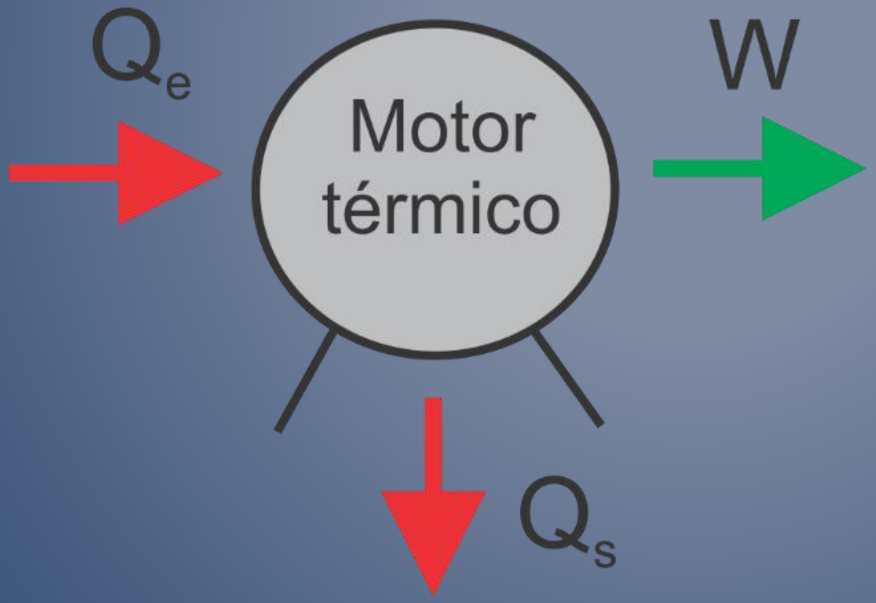
$$\eta = \frac{E_{entregada}}{E_{recibida}}$$

Motor térmico: Dispositivo que transforma el calor en trabajo mecánico

Segunda Ley de la termodinámica: Ninguna máquina puede convertir la energía en trabajo en su totalidad



Eficiencia térmica: En las máquinas térmicas es la comparación entre el calor que se suministra y el trabajo que aplica



$$\eta_T = \frac{W}{Q_e}$$

Proceso: Conjunto de fenómenos que dan por resultado cambiar de un estado a otro

Procesos reversibles: Proceso que se puede invertir sin dejar algún rastro en los alrededores. Los procesos reversibles no existen; son procesos ideales

Todos los procesos son irreversibles

Procesos irreversibles: Proceso que no puede invertirse con respecto del tiempo

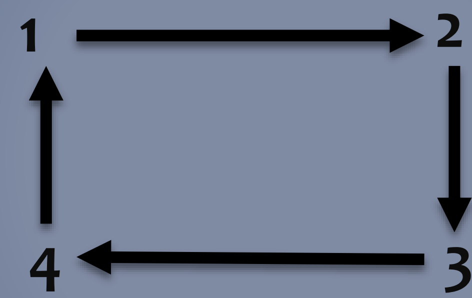
Los factores que causan estos procesos se llaman irreversibilidades

- Transferencia de calor
- Reacciones químicas
- Resistencia eléctrica
- La deformación inelástica
- Fricción

Entropía: Magnitud termodinámica que indica el grado de desorden molecular de un sistema

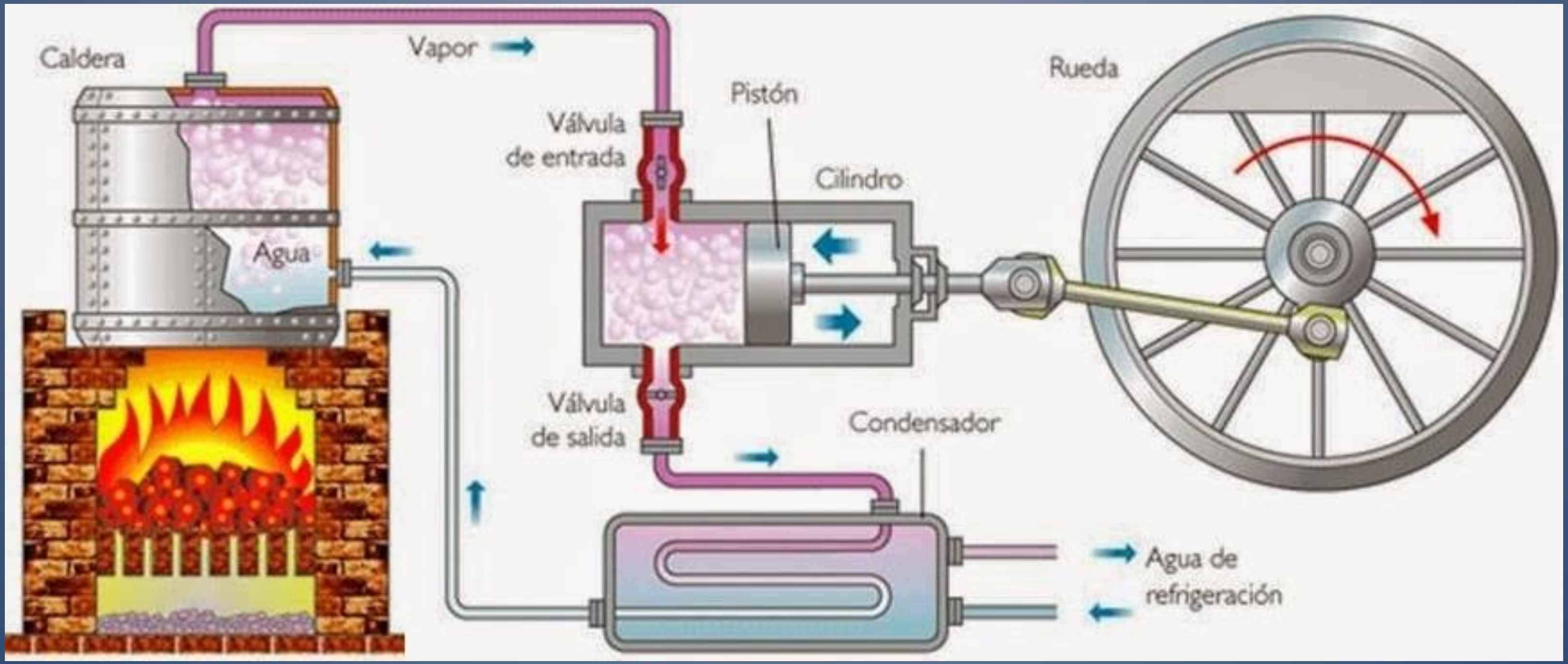
Cada que acontece un proceso irreversible aumenta la entropía del universo

Ciclo: Serie de estados por las que pasa un fenómeno y que suceden en el mismo orden hasta llegar al estado inicial para repetir nuevamente el proceso

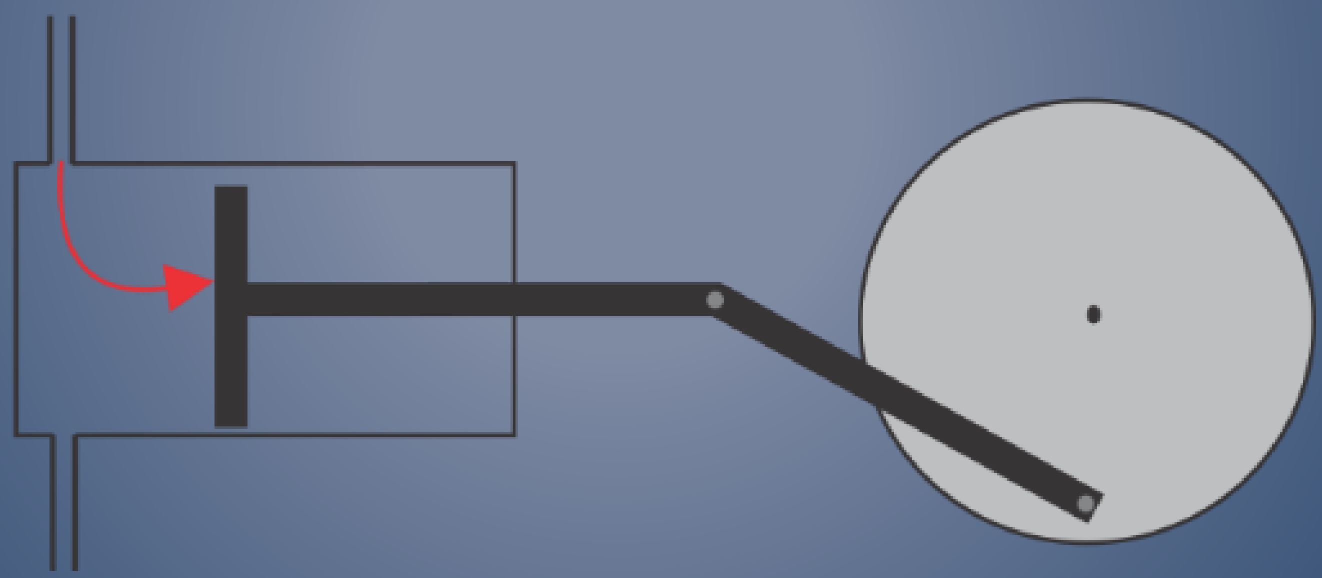


Para algo regrese a su estado inicial, siempre actúa un factor externo

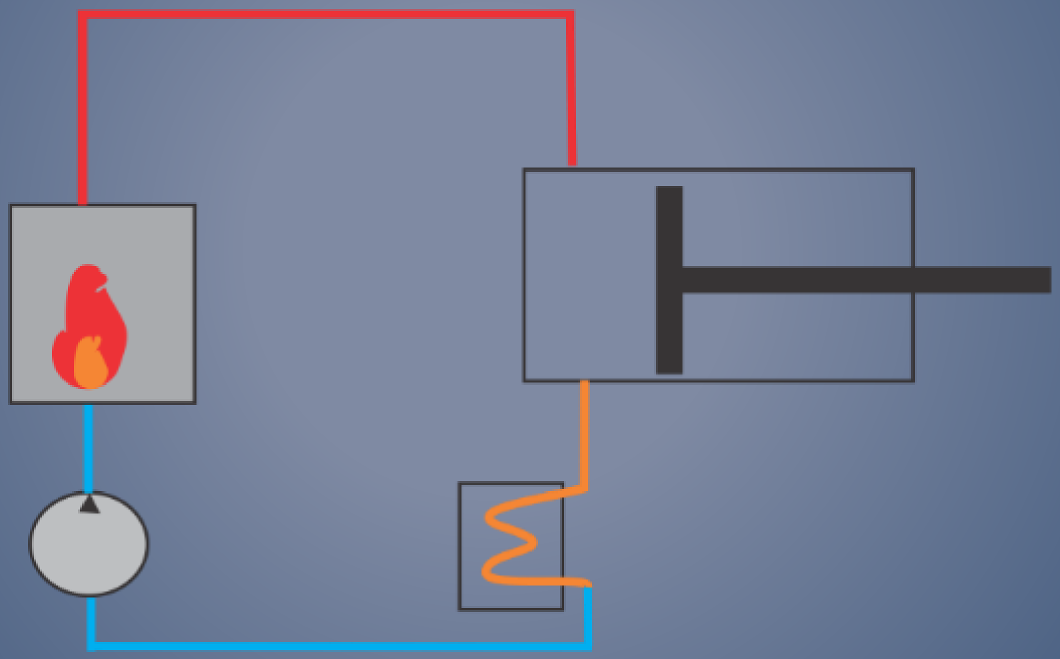
Las máquinas térmicas funcionan ejecutando un ciclo



Las máquinas térmicas tienen un dispositivo cilíndrico en donde inicia el movimiento



Trabajan con una sustancia la cual siempre vuelve al estado inicial al final de cada ciclo



La eficiencia de una máquina térmica depende de cómo se ejecute cada proceso del ciclo

Primero el fluido aplica trabajo, y posteriormente lo recibe. La diferencia entre estos dos trabajos es el trabajo neto que realiza la máquina

La eficiencia se maximiza cuando la máquina requiere el mínimo trabajo y entrega el máximo posible

No se pueden lograr ciclos irreversibles porque no se puede eliminar la irreversibilidad de cada proceso

Sólo son límites teóricos para comparar las máquinas térmicas y los refrigeradores reales

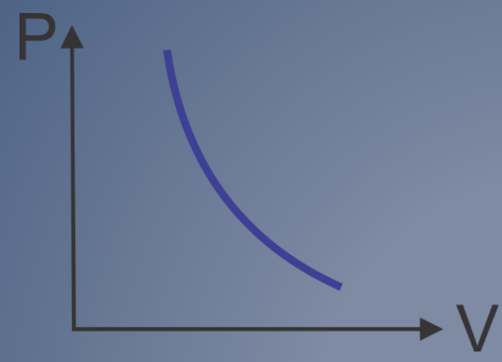
El ciclo de Carnot es un ejemplo de ciclo reversible

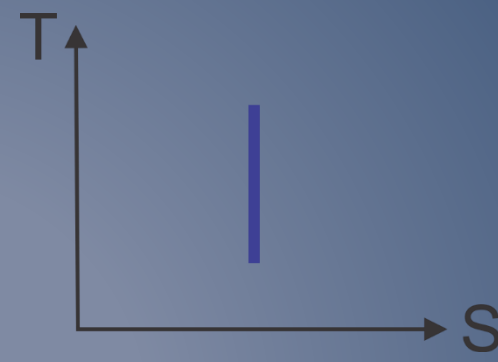
¿Cuál es el motor térmico más eficiente?

El motor de Carnot

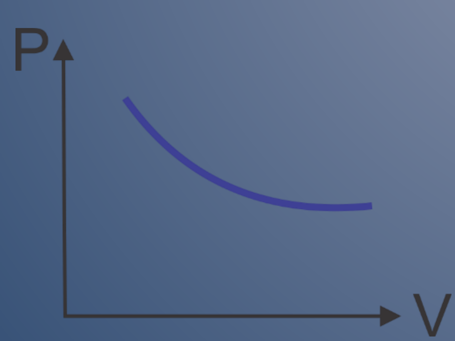
El motor de Carnot o máquina térmica de Carnot es aquel funciona bajo el Ciclo de Carnot

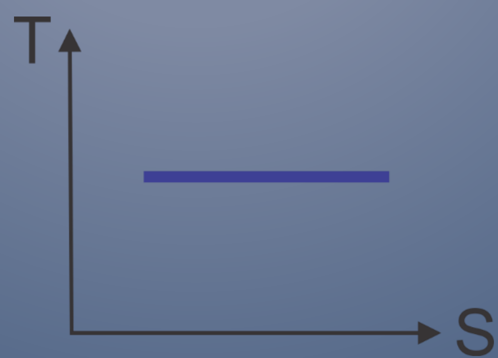
Proceso adiabático: Proceso en el cual el sistema no intercambia calor con su entorno





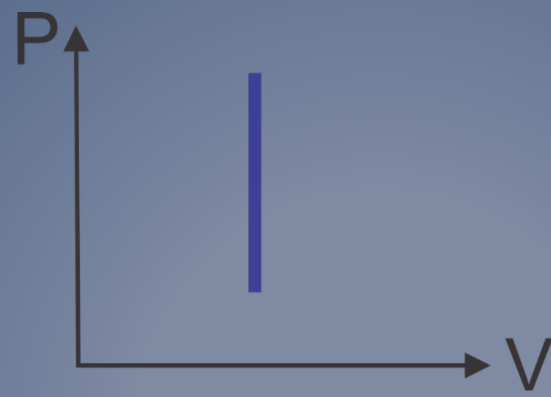
Proceso isotérmico: Es un proceso termodinámico que se lleva a cabo sin variación de temperatura





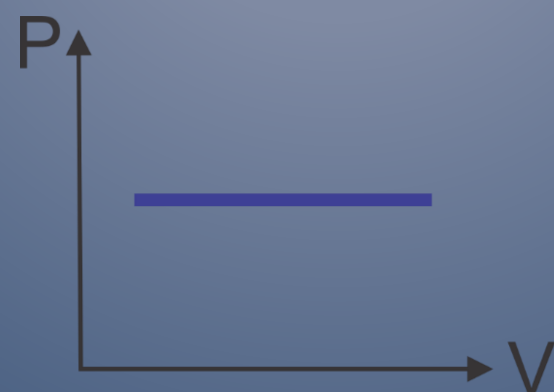
P↑ V↓

Proceso isocórico: Proceso termodinámico en el que el volumen permanece invariable



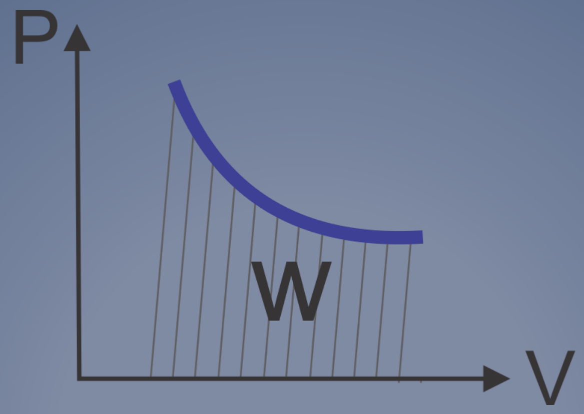
T↑ P↑

Proceso isobárico: Proceso termodinámico en el que la presión permanece constante

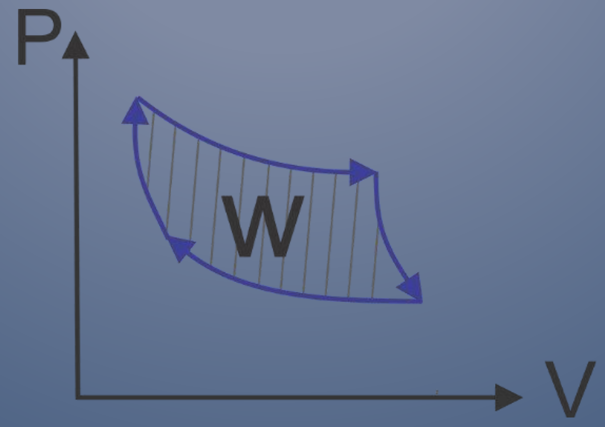


T↑ V↑

El trabajo es el área bajo la curva de un proceso

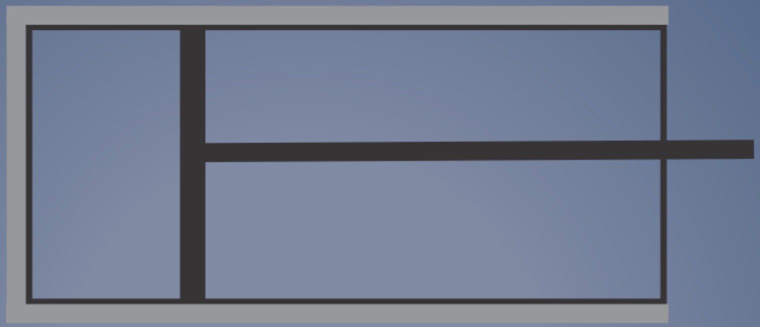


El trabajo neto que realiza una máquina térmica es el área encerrada



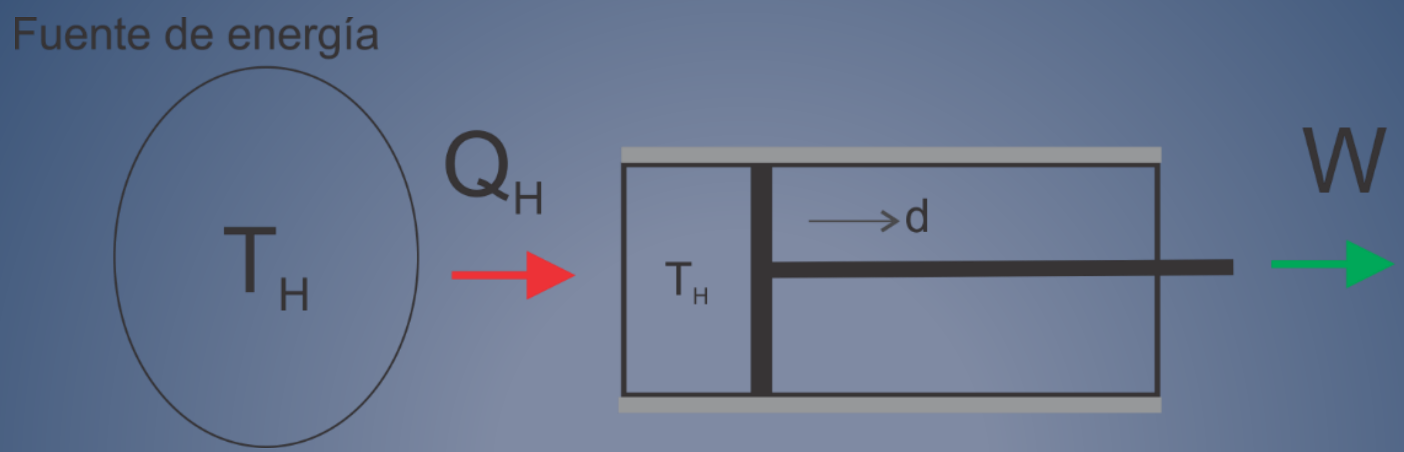
El ciclo de Carnot se compone de cuatro procesos reversibles, dos isotérmicos y dos adiabáticos, y que es posible llevar a cabo en un sistema cerrado o de flujo estacionario

El ciclo de Carnot se lleva a cabo en un cilindro-émbolo adiabático

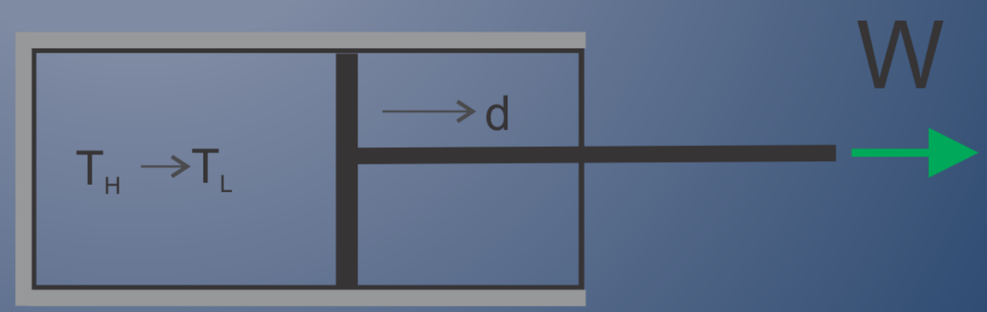


El aislamiento de la tapa se puede eliminar para permitir la transferencia de calor con depósitos

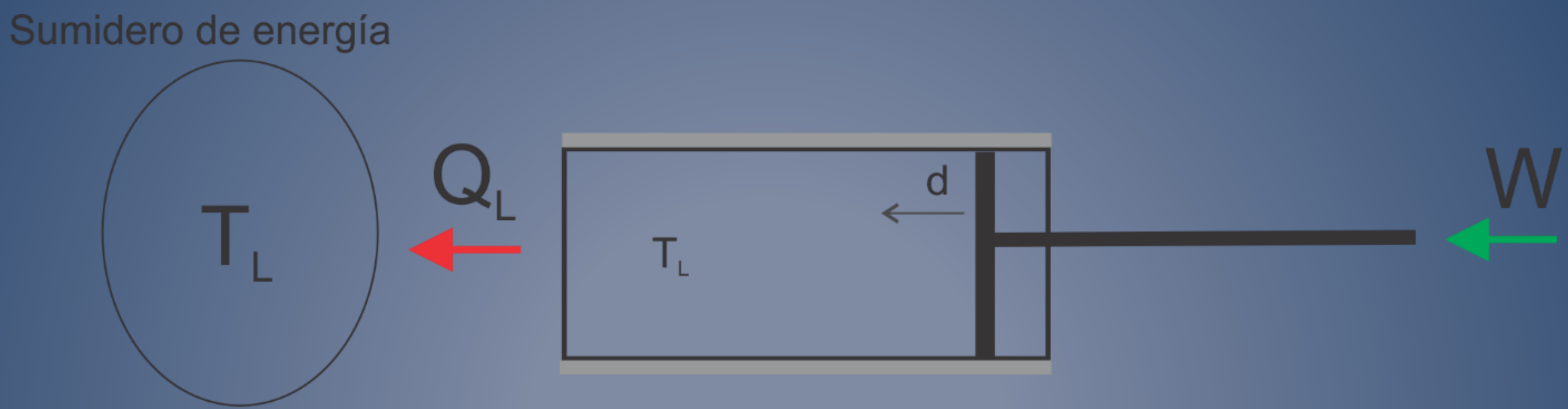
- Expansión isotérmica (1-2)



- Expansión adiabática (2-3)

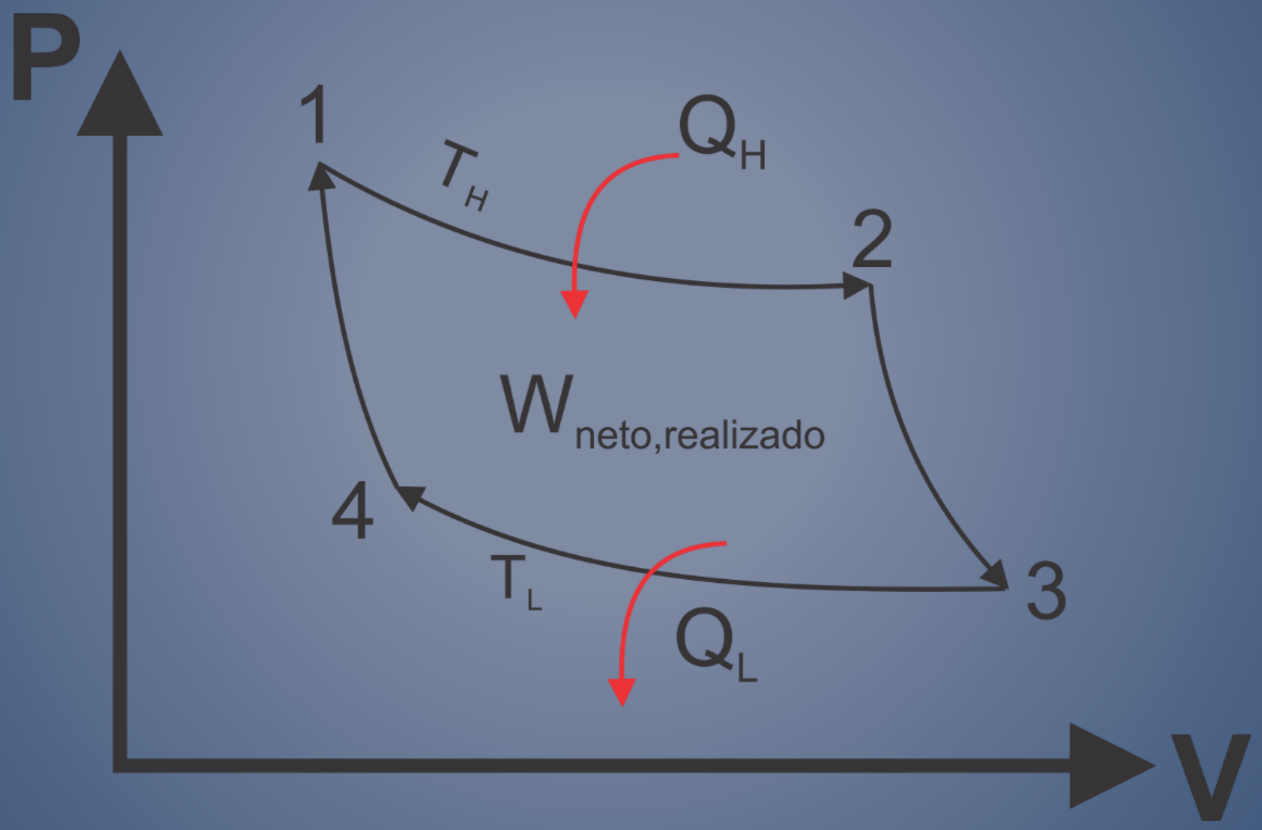


- Compresión isotérmica (3-4)



- Compresión adiabática (4-1)

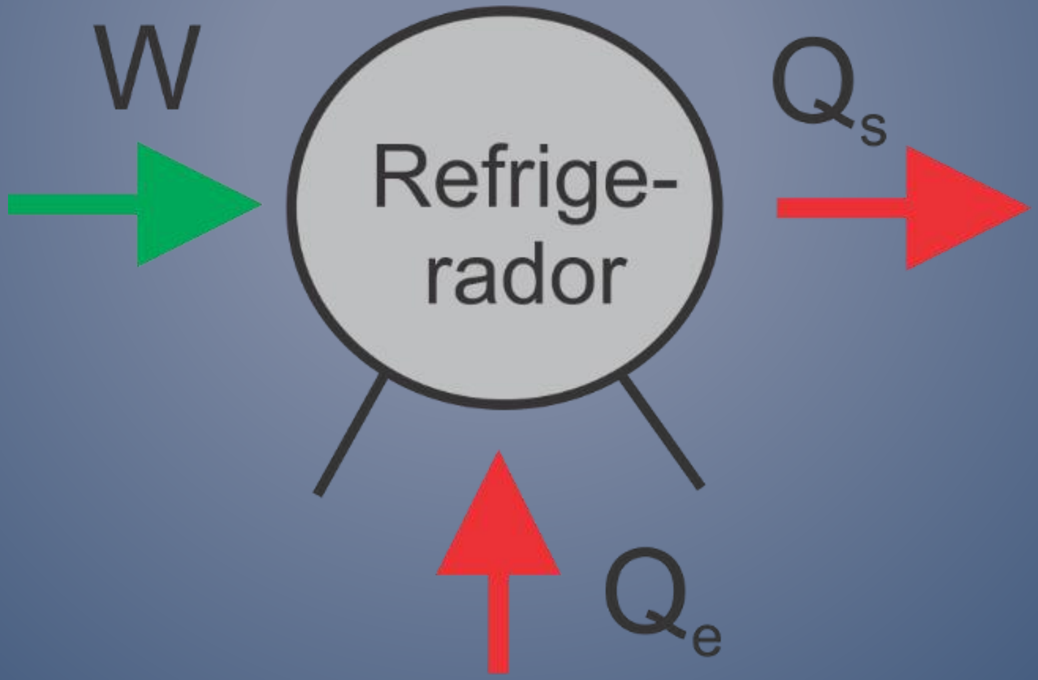
- Diagrama del ciclo de Carnot



No se puede disminuir la temperatura de un sistema sin la necesidad de energía

El calor nunca va del cuerpo caliente al cuerpo frío, a menos que se le aplique un trabajo

Refrigeración: Procedimiento térmico que sirve para disminuir la temperatura de un sistema

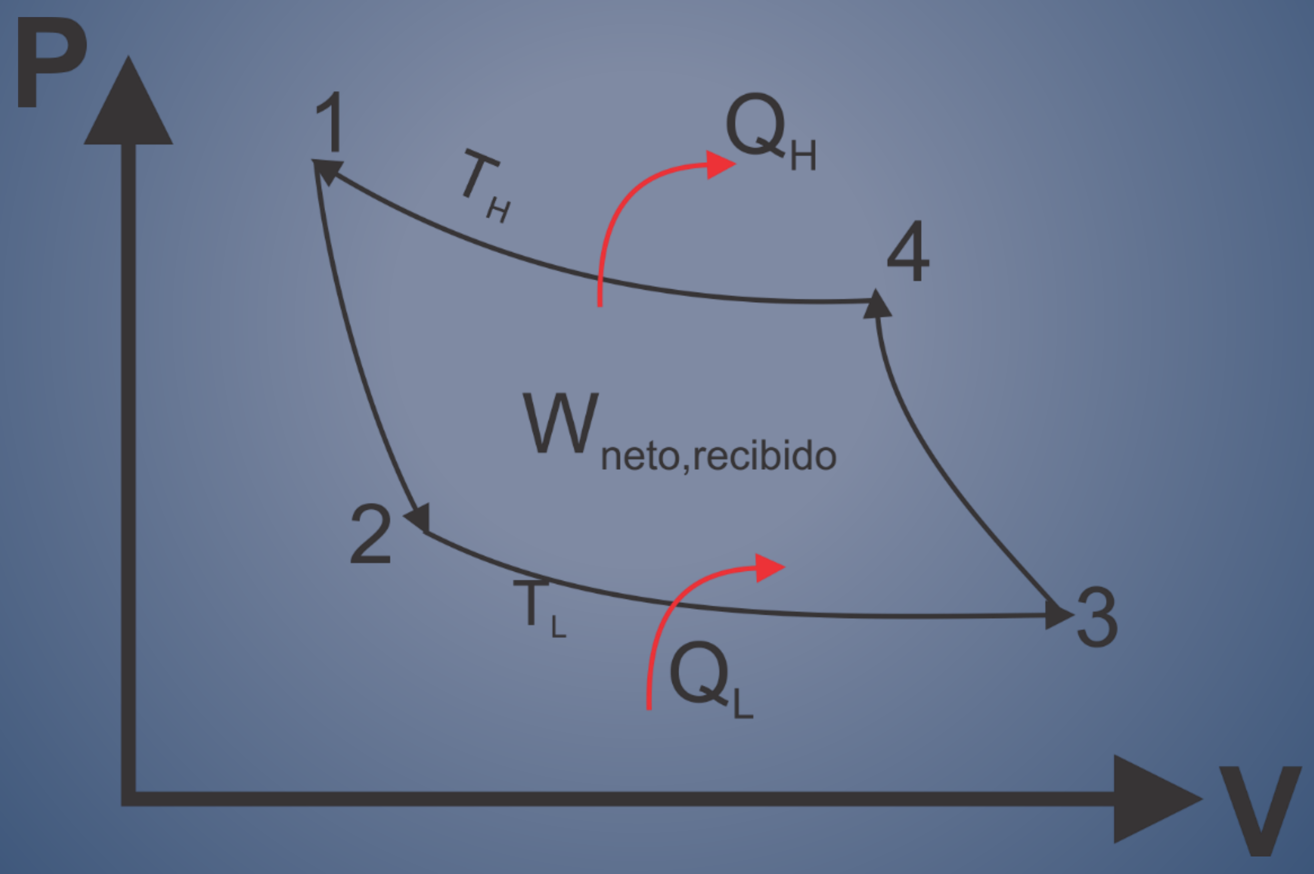


Ciclo invertido de Carnot: Todos los procesos se invierten, convirtiéndose en el ciclo de refrigeración de Carnot

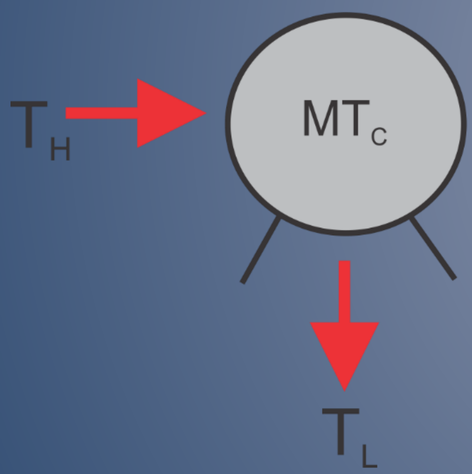
El calor Q_L se absorbe del depósito de T_L y el calor Q_H se rechaza al depósito T_H

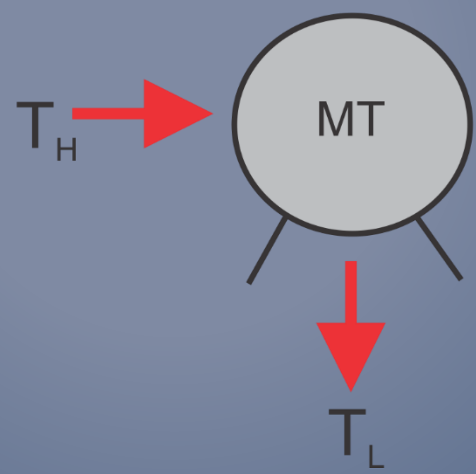
Se necesita un $W_{neto,recibido}$ para llevar a cabo el ciclo

- Diagrama del ciclo invertido de Carnot



Principio de Carnot: La eficiencia de una máquina térmica siempre es menor que la eficiencia de una máquina reversible que opera entre los mismos depósitos

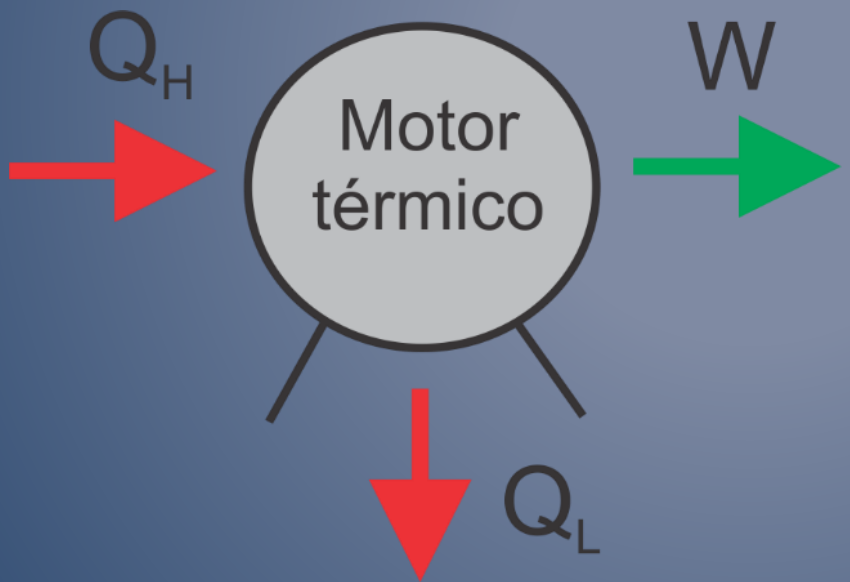




$$\eta_{MT_C} > \eta_{MT}$$

Eficiencia térmica:

De la eficiencia térmica para un motor térmico se tiene:



$$\eta_T = \frac{W}{Q_H}$$

Eficiencia térmica:

$$\eta_T = \frac{W}{Q_H}$$

Eficiencia térmica:

$$\eta_T = \frac{W}{Q_H}$$

$$\eta_T = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H}$$

Eficiencia térmica:

$$\eta_T = \frac{W}{Q_H}$$

$$\eta_T = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H}$$

$$\eta_T = \frac{Q_H}{Q_H} - \frac{Q_L}{Q_H}$$

Eficiencia térmica:

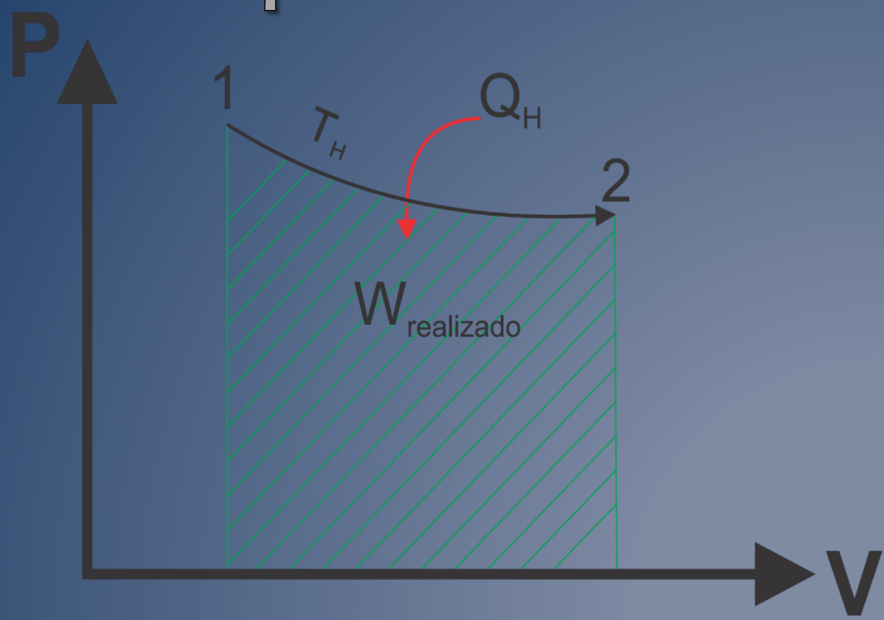
$$\eta_T = \frac{W}{Q_H}$$

$$\eta_T = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H}$$

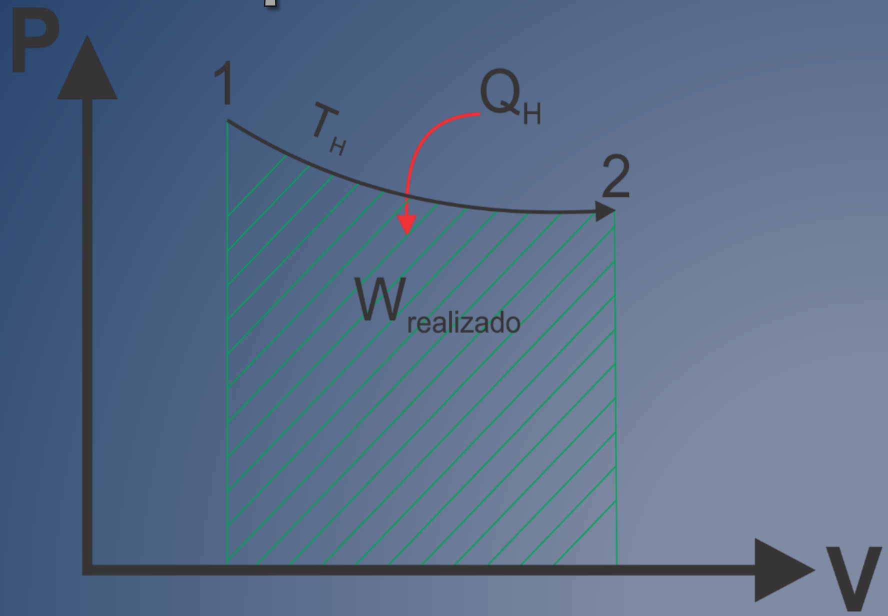
$$\eta_T = \frac{Q_H}{Q_H} - \frac{Q_L}{Q_H}$$

$$\boxed{\eta_T = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$

- Expansión isotérmica (1-2)



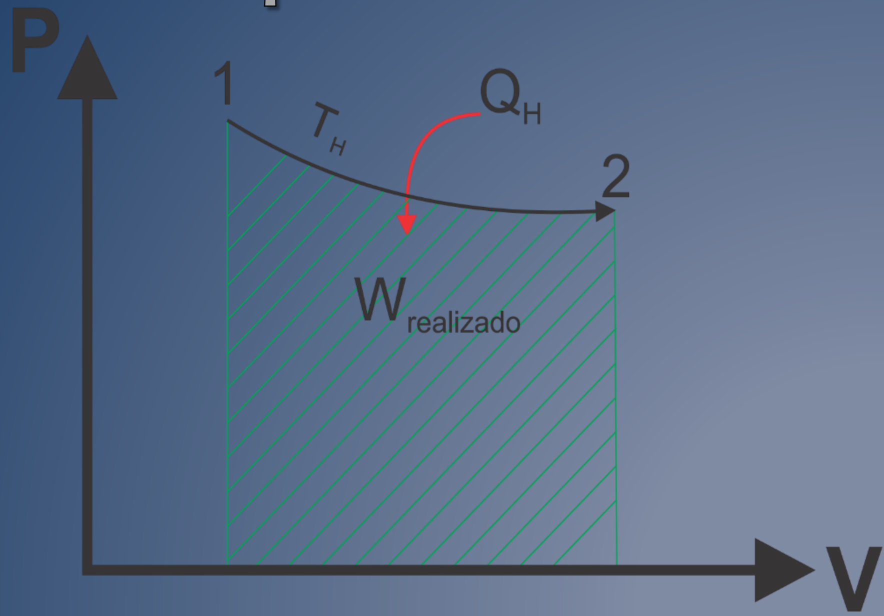
- Expansión isotérmica (1-2)



La temperatura en el 1 y 2 es la misma, la alta:

$$T_1 = T_2 = T_H$$

- Expansión isotérmica (1-2)



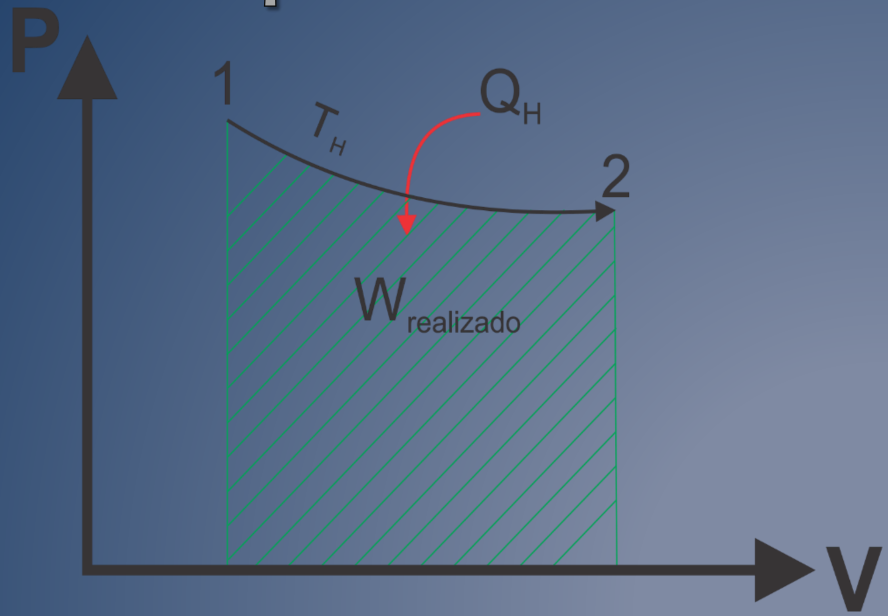
La temperatura en el 1 y 2 es la misma, la alta:

$$T_1 = T_2 = T_H$$

Por tanto no hay variación de energía interna:

$$\Delta U_{1-2} = 0$$

- Expansión isotérmica (1-2)



La temperatura en el 1 y 2 es la misma, la alta:

$$T_1 = T_2 = T_H$$

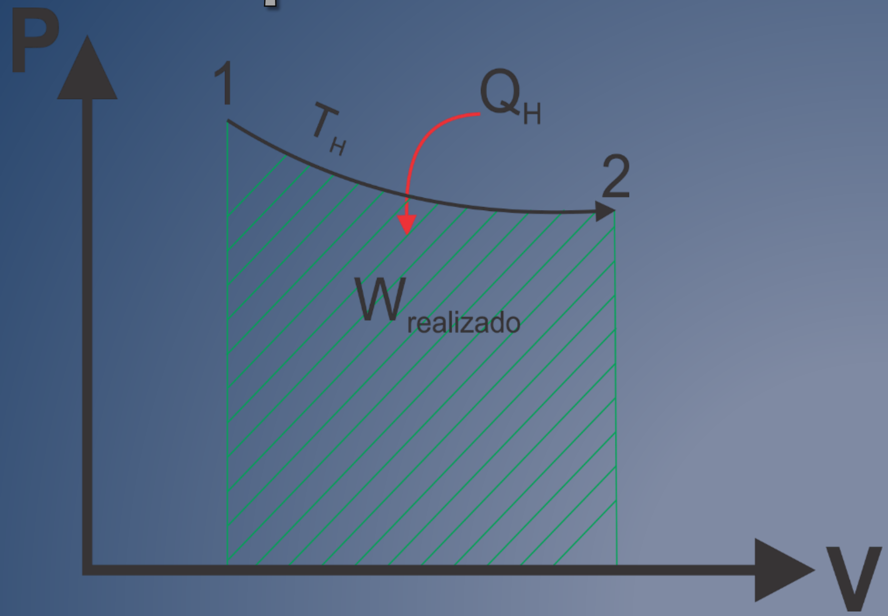
Por tanto no hay variación de energía interna:

$$\Delta U_{1-2} = 0$$

Y con base en la Primera Ley de la Termodinámica:

$$\Delta U_{1-2} = Q_H - W_{realizado}$$

- Expansión isotérmica (1-2)



La temperatura en el 1 y 2 es la misma, la alta:

$$T_1 = T_2 = T_H$$

Por tanto no hay variación de energía interna:

$$\Delta U_{1-2} = 0$$

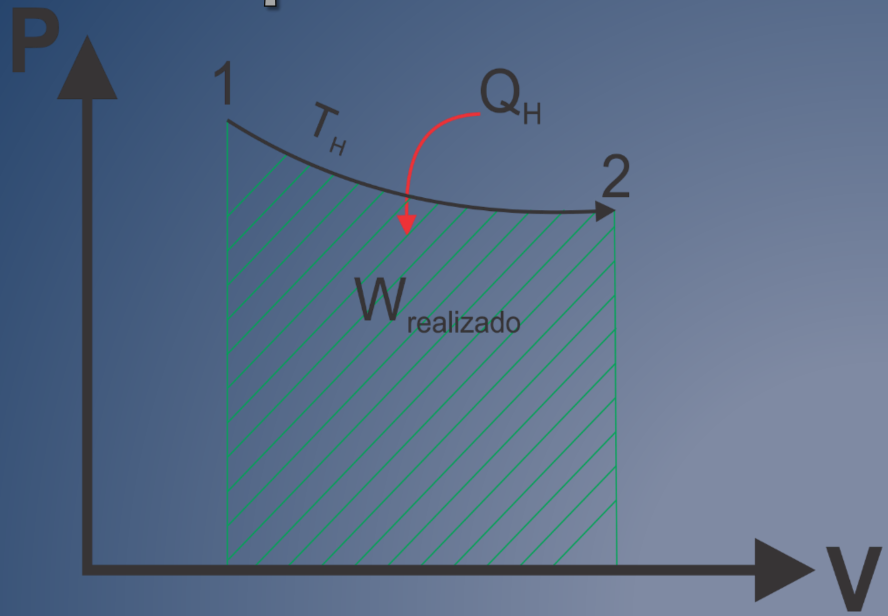
Y con base en la Primera Ley de la Termodinámica:

$$\Delta U_{1-2} = Q_H - W_{realizado}$$

Se tiene que:

$$Q_H = W_{realizado}$$

- Expansión isotérmica (1-2)



El área bajo la curva es el trabajo realizado de 1 a 2:

$$W_{realizado} = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

La temperatura en el 1 y 2 es la misma, la alta:

$$T_1 = T_2 = T_H$$

Por tanto no hay variación de energía interna:

$$\Delta U_{1-2} = 0$$

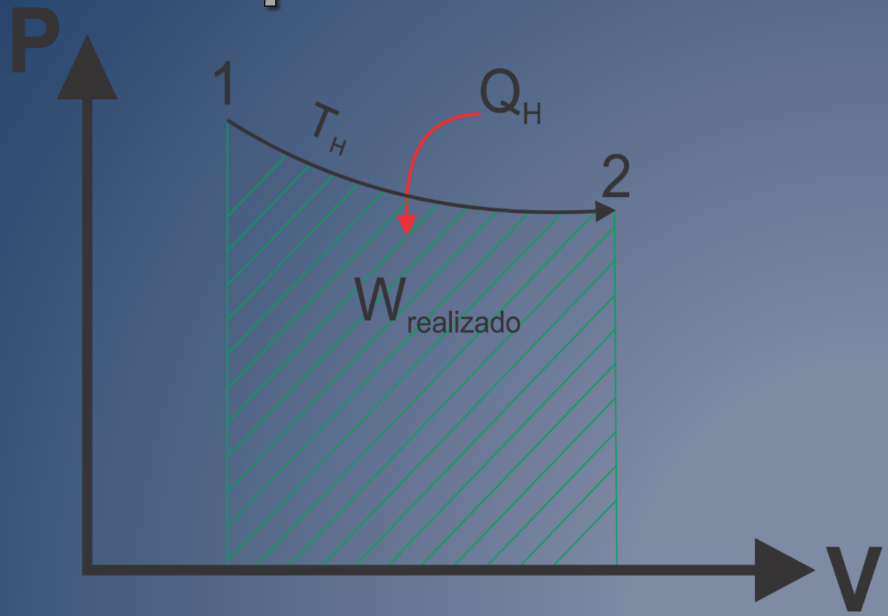
Y con base en la Primera Ley de la Termodinámica:

$$\Delta U_{1-2} = Q_H - W_{realizado}$$

Se tiene que:

$$Q_H = W_{realizado}$$

- **Expansión isotérmica (1-2)**



La temperatura en el 1 y 2 es la misma, la alta:

$$T_1 = T_2 = T_H$$

Por tanto no hay variación de energía interna:

$$\Delta U_{1-2} = 0$$

Y con base en la Primera Ley de la Termodinámica:

$$\Delta U_{1-2} = Q_H - W_{realizado}$$

Se tiene que:

$$Q_H = W_{realizado}$$

El área bajo la curva es el trabajo realizado de 1 a 2:

$$W_{realizado} = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

Es decir:

$$Q_H = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Y por tanto de:

$$Q_H = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Y por tanto de:

$$Q_H = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Se tiene :

$$Q_H = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Y por tanto de:

$$Q_H = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Se tiene :

$$Q_H = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV$$

Y resolviendo la integral queda:

$$Q_H = nRT_H * \ln(V) \Big|_{V_1}^{V_2}$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Y por tanto de:

$$Q_H = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Se tiene :

$$Q_H = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV$$

Y resolviendo la integral queda:

$$Q_H = nRT_H * \ln(V) \Big|_{V_1}^{V_2}$$

Al evaluar los límites:

$$Q_H = nRT_H * [\ln(V_2) - \ln(V_1)]$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Y por tanto de:

$$Q_H = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Se tiene :

$$Q_H = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV$$

Y resolviendo la integral queda:

$$Q_H = nRT_H * \ln(V)\Big|_{V_1}^{V_2}$$

Al evaluar los límites:

$$Q_H = nRT_H * [\ln(V_2) - \ln(V_1)]$$

Y al aplicar las leyes de los logaritmos se tiene el resultado final:

$$\boxed{Q_H = nRT_H * \ln(\frac{V_2}{V_1})}$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Y por tanto de:

$$Q_H = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Se tiene :

$$Q_H = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV$$

Y resolviendo la integral queda:

$$Q_H = nRT_H * \ln(V)\Big|_{V_1}^{V_2}$$

Al evaluar los límites:

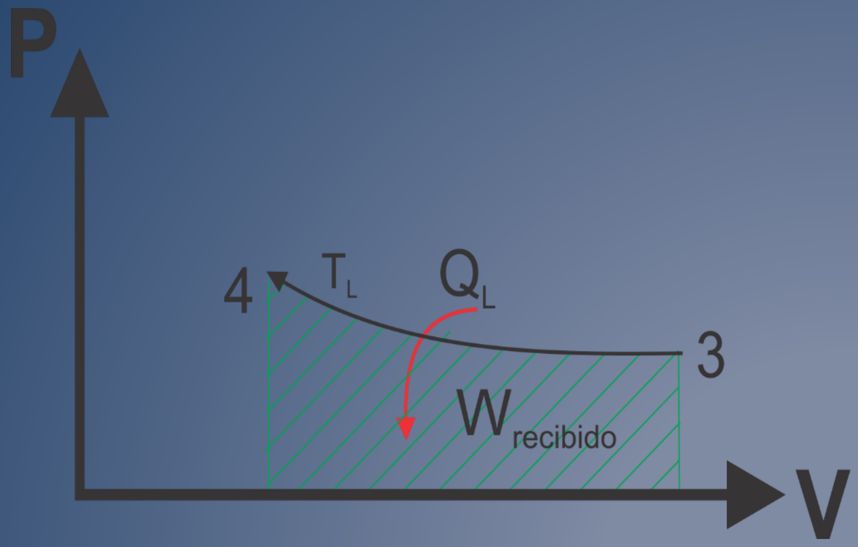
$$Q_H = nRT_H * [\ln(V_2) - \ln(V_1)]$$

Y al aplicar las leyes de los logaritmos se tiene el resultado final:

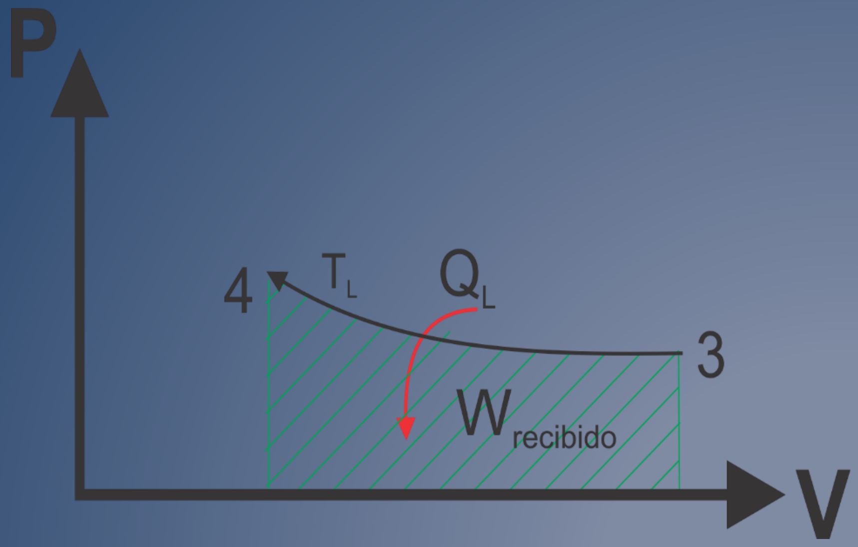
$$\boxed{Q_H = nRT_H * \ln(\frac{V_2}{V_1})}$$

NOTA: La temperatura se debe medir en: **T [K]**

- Compresión isotérmica (1-2)



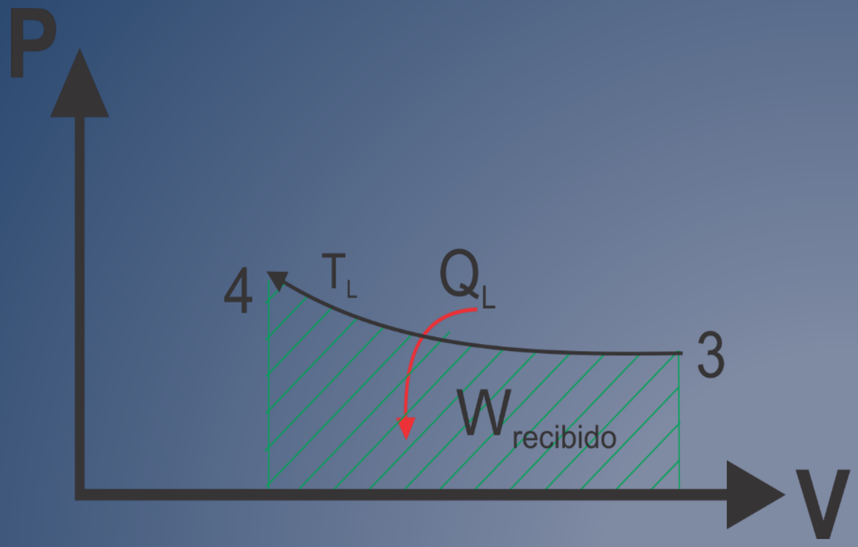
- Compresión isotérmica (1-2)



La temperatura en el 3 y 4 es la misma, la baja:

$$T_3 = T_4 = T_L$$

- Compresión isotérmica (1-2)



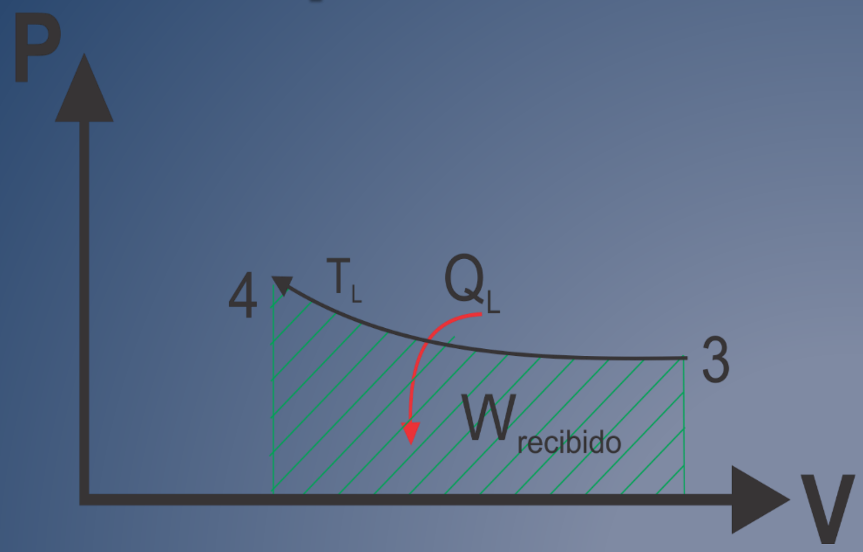
La temperatura en el 3 y 4 es la misma, la baja:

$$T_3 = T_4 = T_L$$

Por tanto no hay variación de energía interna:

$$\Delta U_{3-4} = 0$$

- Compresión isotérmica (1-2)



La temperatura en el 3 y 4 es la misma, la baja:

$$T_3 = T_4 = T_L$$

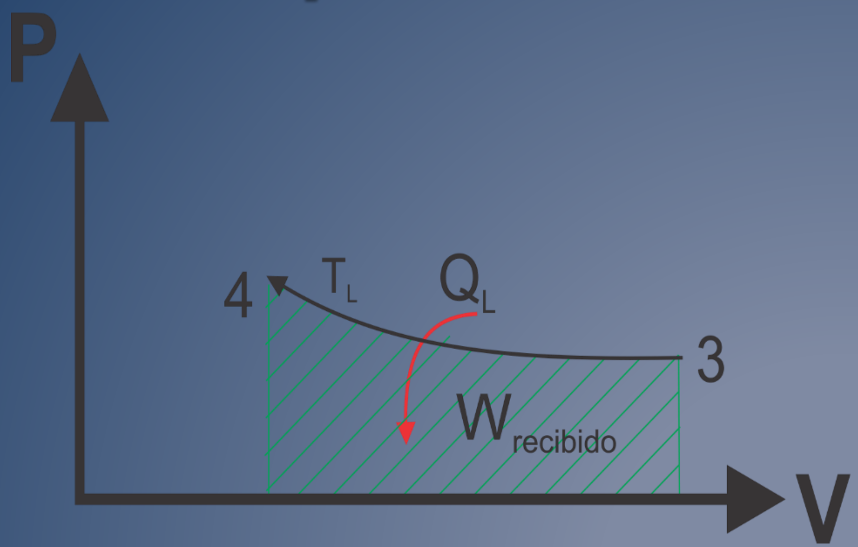
Por tanto no hay variación de energía interna:

$$\Delta U_{3-4} = 0$$

Y con base en la Primera Ley de la Termodinámica:

$$\Delta U_{3-4} = Q_L - W_{recibido}$$

- Compresión isotérmica (1-2)



La temperatura en el 3 y 4 es la misma, la baja:

$$T_3 = T_4 = T_L$$

Por tanto no hay variación de energía interna:

$$\Delta U_{3-4} = 0$$

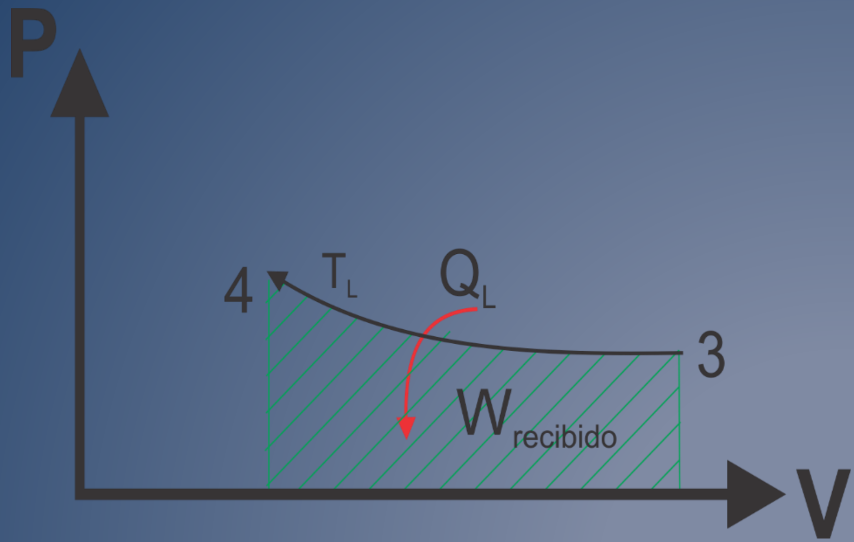
Y con base en la Primera Ley de la Termodinámica:

$$\Delta U_{3-4} = Q_L - W_{recibido}$$

Se tiene que:

$$Q_L = W_{recibido}$$

- Compresión isotérmica (1-2)



La temperatura en el 3 y 4 es la misma, la baja:

$$T_3 = T_4 = T_L$$

Por tanto no hay variación de energía interna:

$$\Delta U_{3-4} = 0$$

El área bajo la curva es el trabajo realizado de 3 a 4:

$$W_{recibido} = \int_{V_4}^{V_3} PdV$$

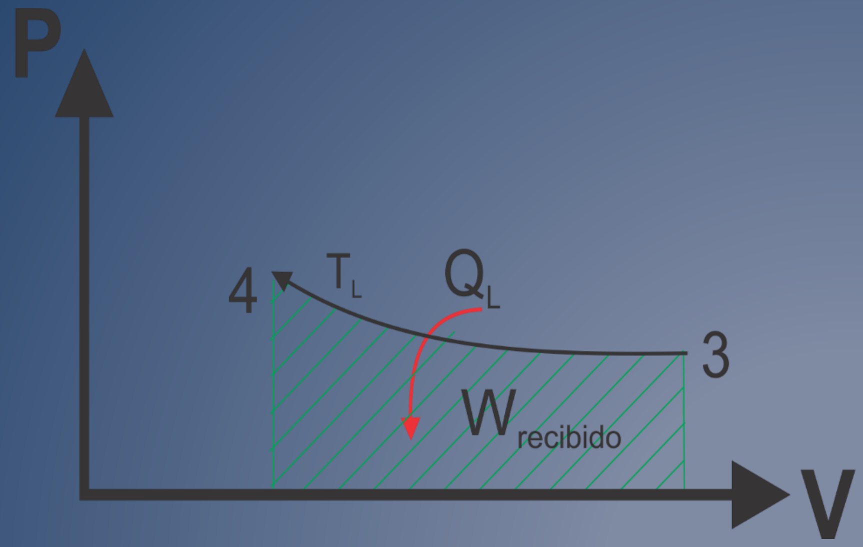
Y con base en la Primera Ley de la Termodinámica:

$$\Delta U_{3-4} = Q_L - W_{recibido}$$

Se tiene que:

$$Q_L = W_{recibido}$$

- Compresión isotérmica (1-2)



La temperatura en el 3 y 4 es la misma, la baja:

$$T_3 = T_4 = T_L$$

Por tanto no hay variación de energía interna:

$$\Delta U_{3-4} = 0$$

El área bajo la curva es el trabajo realizado de 3 a 4:

$$W_{recibido} = \int_{V_4}^{V_3} PdV$$

Es decir:

$$Q_L = \int_{V_4}^{V_3} PdV$$

Y con base en la Primera Ley de la Termodinámica:

$$\Delta U_{3-4} = Q_L - W_{recibido}$$

Se tiene que:

$$Q_L = W_{recibido}$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Y por tanto de:

$$Q_L = \int_{V_4}^{V_3} P dV$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Y por tanto de:

$$Q_L = \int_{V_4}^{V_3} P\,dV$$

Se tiene :

$$Q_L = \int_{V_4}^{V_3} \frac{nRT}{V}\,dV$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Y por tanto de:

$$Q_L = \int_{V_4}^{V_3} P dV$$

Se tiene :

$$Q_L = \int_{V_4}^{V_3} \frac{nRT}{V} dV$$

Y resolviendo la integral queda:

$$Q_L = nRT_L * \ln(V) \Big|_{V_4}^{V_3}$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Y por tanto de:

$$Q_L = \int_{V_4}^{V_3} P dV$$

Se tiene :

$$Q_L = \int_{V_4}^{V_3} \frac{nRT}{V} dV$$

Y resolviendo la integral queda:

$$Q_L = nRT_L * \ln(V) \Big|_{V_4}^{V_3}$$

Al evaluar los límites:

$$Q_H = nRT_H * [\ln(V_3) - \ln(V_4)]$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Y por tanto de:

$$Q_L = \int_{V_4}^{V_3} P dV$$

Se tiene :

$$Q_L = \int_{V_4}^{V_3} \frac{nRT}{V} dV$$

Y resolviendo la integral queda:

$$Q_L = nRT_L * \ln(V) \Big|_{V_4}^{V_3}$$

Al evaluar los límites:

$$Q_H = nRT_H * [\ln(V_3) - \ln(V_4)]$$

Y al aplicar las leyes de los logaritmos se tiene el resultado final:

$$\boxed{Q_L = nRT_L * \ln(\frac{V_3}{V_4})}$$

De la Ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Se despeja P:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Y por tanto de:

$$Q_L = \int_{V_4}^{V_3} PdV$$

Se tiene :

$$Q_L = \int_{V_4}^{V_3} \frac{nRT}{V} dV$$

Y resolviendo la integral queda:

$$Q_L = nRT_L * \ln(V) \Big|_{V_4}^{V_3}$$

Al evaluar los límites:

$$Q_H = nRT_H * [\ln(V_3) - \ln(V_4)]$$

Y al aplicar las leyes de los logaritmos se tiene el resultado final:

$$\boxed{Q_L = nRT_L * \ln(\frac{V_3}{V_4})}$$

NOTA: La temperatura se debe medir en: **T [K]**

Se sustituyen las ecuaciones:

$$Q_H = nRT_H * \ln(\frac{V_2}{V_1})$$

$$Q_L = nRT_L * \ln(\frac{V_3}{V_4})$$

En la ecuación:

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

Se sustituyen las ecuaciones:

$$Q_H = nRT_H * \ln(\frac{V_2}{V_1})$$

$$Q_L = nRT_L * \ln(\frac{V_3}{V_4})$$

En la ecuación:

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

Y se tiene:

$$\eta_T = 1 - \frac{nRT_L * \ln(\frac{V_3}{V_4})}{nRT_H * \ln(\frac{V_2}{V_1})}$$

Se sustituyen las ecuaciones:

$$Q_H = nRT_H * \ln(\frac{V_2}{V_1})$$

$$Q_L = nRT_L * \ln(\frac{V_3}{V_4})$$

En la ecuación:

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

Y se tiene:

$$\eta_T = 1 - \frac{nRT_L * \ln(\frac{V_3}{V_4})}{nRT_H * \ln(\frac{V_2}{V_1})}$$

Este proceso únicamente aplica para ciclos de Carnot; por tanto esta es la eficiencia de Carnot:

$$\boxed{\eta_{T_C} = 1 - \frac{T_L}{T_H}}$$

Ejercicio: A una máquina de Carnot cuyo sumidero de energía está a 20°C y la fuente de energía a 600 °C se le suministran 20 kW de calor. Calcula el trabajo mecánico que ejecuta en 2 horas de funcionamiento.

Referencia

Cengel, Y. A. y Boles, M. A., 2011, Termodinámica Séptima edición, Mc Graw Hill, New York, U.S.A.