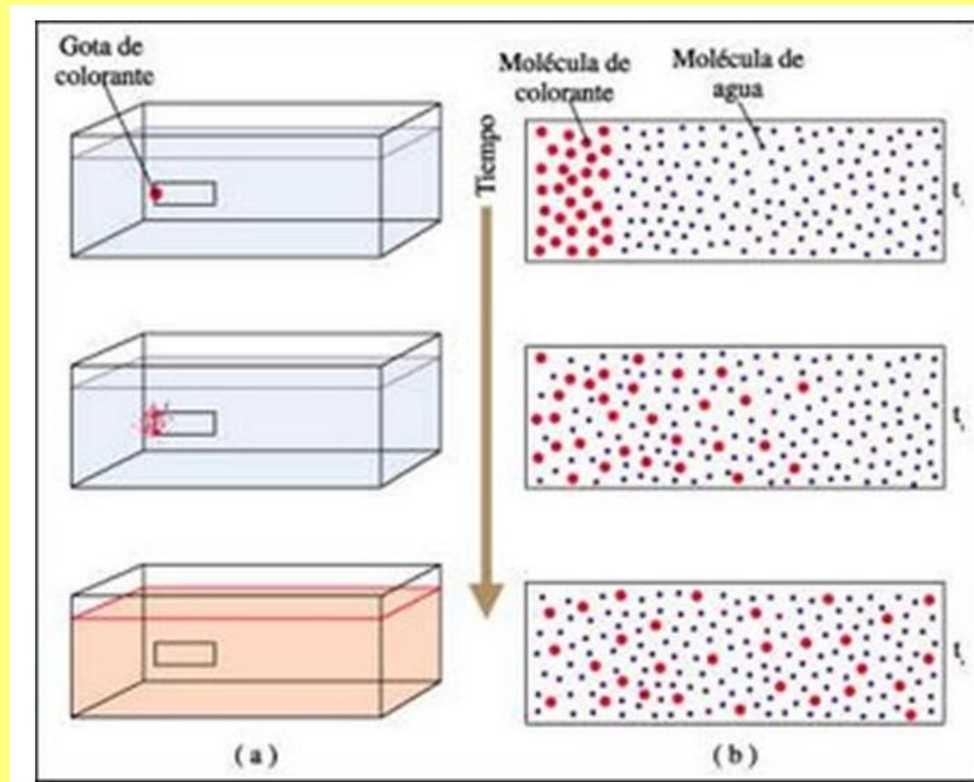


De la clase anterior

LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

**la dirección de los procesos
termodinámicos**

Todos los procesos termodinámicos que se dan en la naturaleza son **procesos irreversibles**, es decir, procesos que se efectúan espontáneamente en una dirección pero no en otra.



Los procesos reversibles son una idealización

.....son proceso en equilibrio, con el sistema **siempre** en equilibrio termodinámico.

Consideramos dos clases amplias de dispositivos:

las **máquinas térmicas**, que convierten parcialmente calor en trabajo, y

los **refrigeradores**, que logran transportar parcialmente calor de cuerpos fríos a cuerpos más calientes

dos fuentes

FUENTE CALIENTE, proporciona calor Q_H

FUENTE FRÍA, puede absorber grandes cantidades de calor Q_C

Máquinas térmicas

Dispositivo que transforma calor parcialmente en trabajo o energía mecánica

La más fácil de analizar  sustancia de trabajo efectúa un **proceso cíclico**

Para todo proceso cíclico, la primera ley de la termodinámica exige que

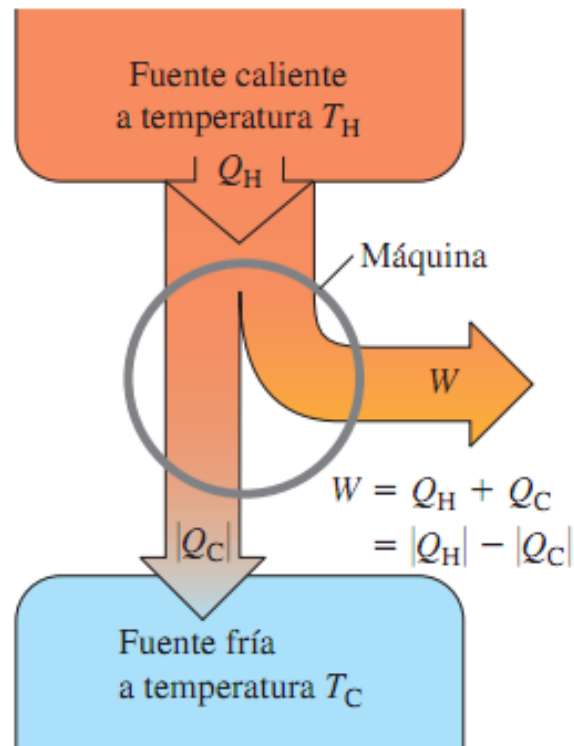
$$U_2 - U_1 = 0 = Q - W \quad \text{así que} \quad \mathbf{Q = W}$$

En una máquina térmica, Q_H es positivo pero Q_C es negativo, pues representa calor que sale de la sustancia de trabajo.

Diagramas de flujo de energía

La salida útil de la máquina es el trabajo neto W efectuado por la sustancia de trabajo.

$$W = Q = Q_H + Q_C = |Q_H| - |Q_C|$$



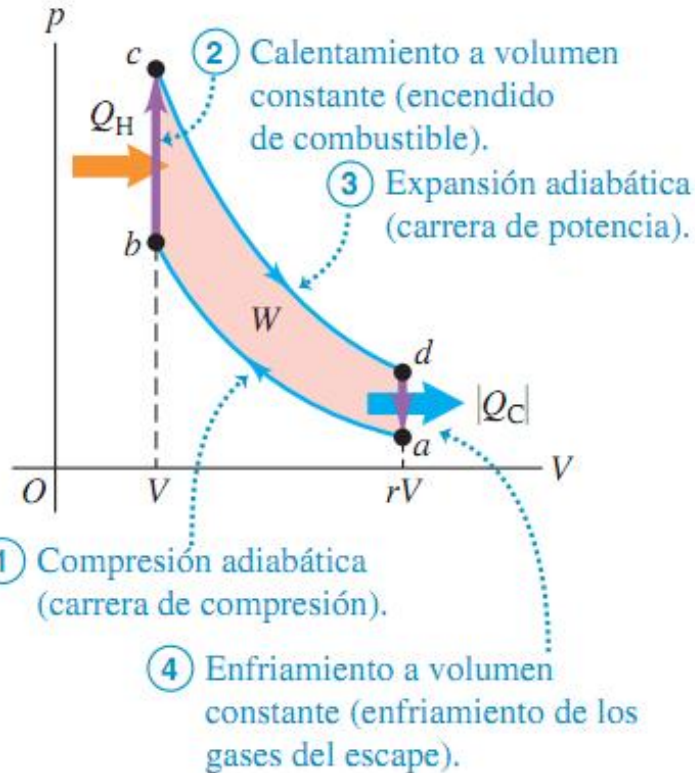
Definimos la **eficiencia térmica** de una máquina, denotada con **e** , como

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

$$e = \frac{W}{Q_H} = 1 + \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \left| \frac{Q_C}{Q_H} \right|$$

CICLO OTTO

eficiencia del ciclo idealizado



$$Q_H = nC_V(T_c - T_b) > 0$$

$$Q_C = nC_V(T_a - T_d) < 0$$

$$e = \frac{Q_H + Q_C}{Q_H} = \frac{T_c - T_b + T_a - T_d}{T_c - T_b}$$

Para los dos procesos adiabáticos ab y cd,

$$T_a(rV)^{\gamma-1} = T_bV^{\gamma-1} \quad \text{y} \quad T_d(rV)^{\gamma-1} = T_cV^{\gamma-1}$$

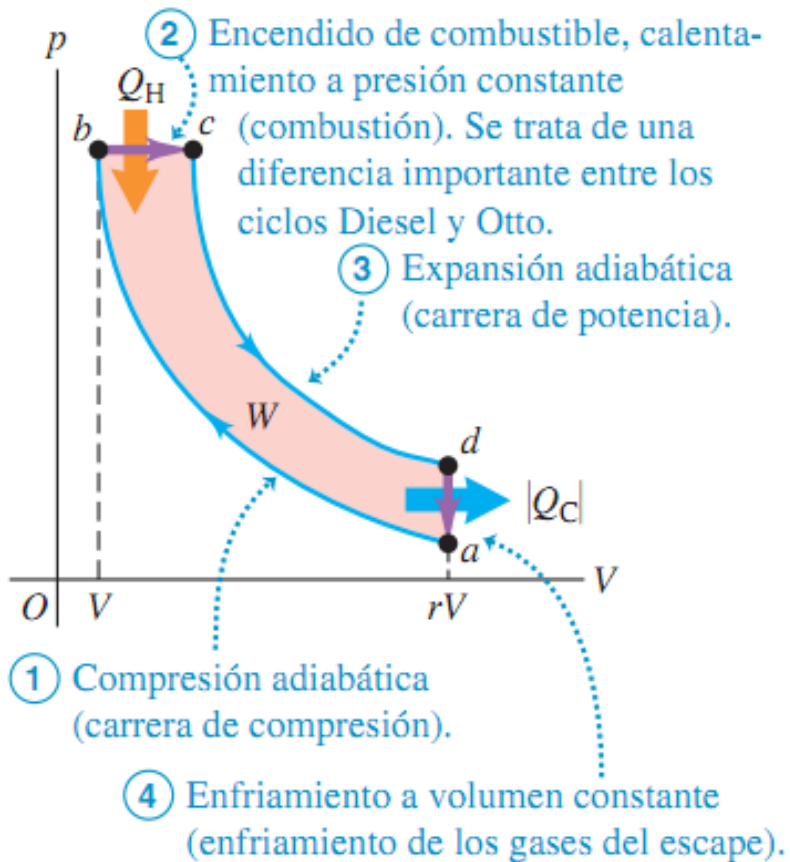
Ciclo Otto es un modelo **muy idealizado**, supone que la mezcla se comporta como gas ideal.

$$e = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

La eficiencia de motores de gasolina reales suele ser del orden del 35 %

El ciclo Diesel

La operación del motor a Diesel es similar a la del motor de gasolina.



Ciclo Diesel Idealizado

La diferencia más importante es que no hay combustible en el cilindro al principio de la carrera de compresión.

Combustible se inyecta directamente al cilindro con la rapidez justa para mantener la presión constante.

La elevada temperatura desarrollada en la compresión adiabática, enciende el combustible espontáneamente al inyectarse

No hay preignición, por lo tanto r puede ser mayor

Mejora la eficiencia

65 a 70 %

Refrigeradores

un refrigerador es como una máquina térmica que opera en reversa.

Por la primera ley para un proceso cíclico

$$Q_H + Q_C - W = 0$$

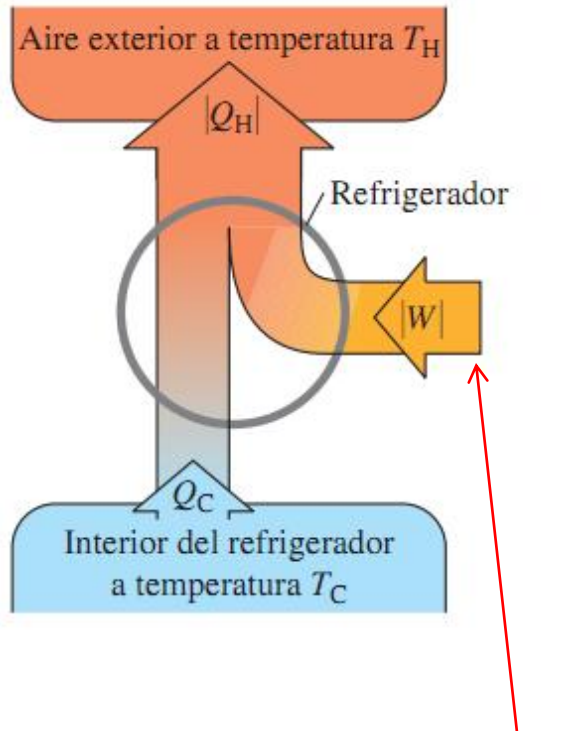
$$-Q_H = Q_C - W$$

puesto que tanto Q_H como W son negativos,

$$|Q_H| = Q_C + |W|$$

coeficiente de rendimiento, denotado con K .

$$K = \frac{|Q_C|}{|W|} = \frac{|Q_C|}{|Q_H| - |Q_C|}$$



requiere una entrada neta de trabajo mecánico

La segunda ley de la termodinámica

Es imposible que un sistema efectúe un proceso en el que absorba calor de una fuente de temperatura uniforme y lo convierta totalmente en trabajo mecánico, terminando en el mismo estado en que inició.

La base de la segunda ley de la termodinámica es la diferencia entre la naturaleza de la energía interna y la de la energía mecánica macroscópica.

La primera ley niega la posibilidad de crear o destruir energía; la segunda limita la disponibilidad de la energía y las formas en que puede usarse y convertirse.

La conversión de trabajo en calor, como en la fricción o el flujo de fluidos viscosos, y el flujo de calor de caliente a frío a través de un gradiente de temperatura finito, son **procesos irreversibles**.

Los planteamientos de “máquina” y “refrigerador” de la segunda ley dicen que tales procesos sólo pueden revertirse **parcialmente**.

La segunda ley de la termodinámica es una expresión del aspecto inherentemente unidireccional de los procesos irreversibles.

¿Qué tanta eficiencia puede tener una máquina, dadas dos fuentes de calor a temperaturas T_H y T_C ?

El ingeniero francés Sadi Carnot (1796-1832) contestó esta pregunta en 1824, cuando inventó una máquina térmica idealizada hipotética que tiene la máxima eficiencia posible, congruente con la segunda ley.

El ciclo de Carnot

debemos evitar todos los procesos irreversibles

Procesos isotérmicos

Procesos adiabáticos

Equilibrio térmico y mecánico

evitar todos los procesos irreversibles

flujo de calor a través de una diferencia de temperatura finita es un proceso irreversible



no debe haber una diferencia de temperatura finita

Procesos isotérmicos

en cualquier proceso en el que la temperatura de la sustancia de trabajo de la máquina sea intermedia entre T_H y T_C , no deberá haber transferencia de calor entre la máquina y cualquiera de las fuentes

Procesos adiabáticos

Además

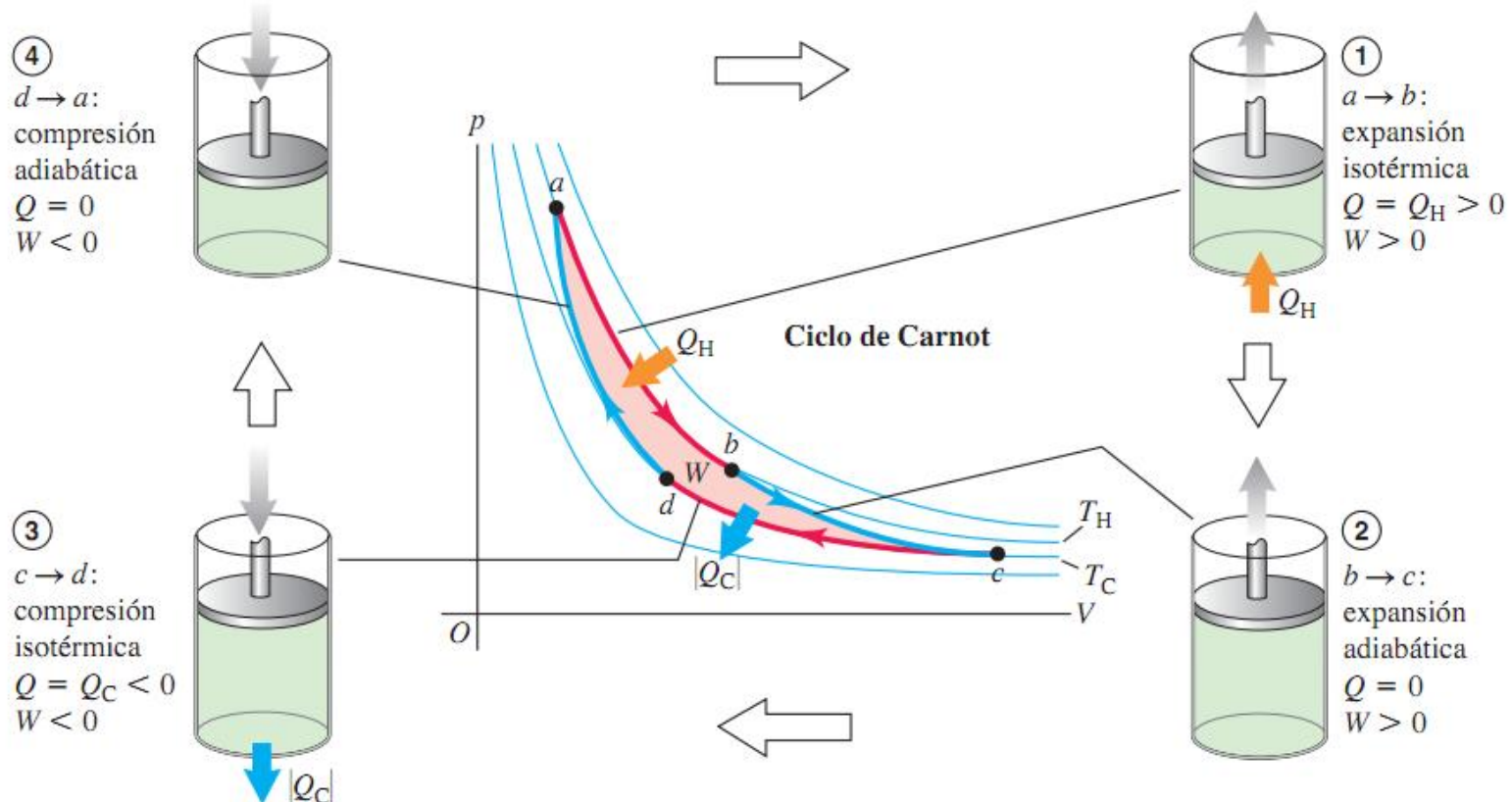
Equilibrio térmico y mecánico

en todo momento para que cada proceso sea totalmente reversible.

Pasos del ciclo de Carnot

(Gas ideal en cilindro con pistón)

1. El gas se expande isotérmicamente a temperatura T_H , absorbiendo calor Q_H (ab).
2. El gas se expande adiabáticamente hasta que su temperatura baja a T_C (bc).
3. El gas se comprime isotérmicamente a T_C , expulsando calor $|Q_C|$ (cd).
4. El gas se comprime adiabáticamente hasta su estado inicial a temperatura T_H (da).



Calculemos la **eficiencia térmica** de una máquina de Carnot en el caso especial en el que la sustancia de trabajo es un gas ideal.

Para la expansión isotérmica ab , $\Delta U_{ab} = 0$, y Q_H es igual al trabajo W_{ab} realizado por el gas durante su expansión isotérmica a temperatura T_H .

$$Q_H = W_{ab} = nRT_H \ln \frac{V_b}{V_a}$$

(Clase SEPTIMA)

Similarmente

$$Q_C = W_{cd} = nRT_C \ln \frac{V_d}{V_c} = -nRT_C \ln \frac{V_c}{V_d}$$

$$\frac{Q_C}{Q_H} = -\left(\frac{T_C}{T_H}\right) \frac{\ln(V_c/V_d)}{\ln(V_b/V_a)}$$

Usando la relación temperatura-volumen para un proceso adiabático

$$T_H V_b^{\gamma-1} = T_C V_c^{\gamma-1} \quad \text{y} \quad T_H V_a^{\gamma-1} = T_C V_d^{\gamma-1}$$

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

Entonces

$$\frac{Q_C}{Q_H} = -\frac{T_C}{T_H} \quad \text{o} \quad \frac{|Q_C|}{|Q_H|} = \frac{T_C}{T_H}$$

transferencia de calor en máquina de Carnot

eficiencia de una máquina de Carnot

$$e_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

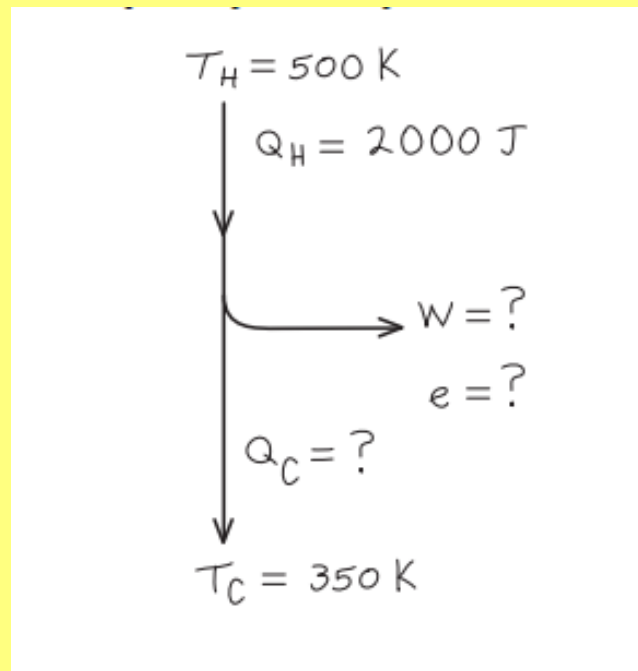
La eficiencia de una máquina de Carnot sólo depende de las temperaturas de las dos fuentes de calor: es grande si la diferencia de temperaturas es grande, y muy pequeña cuando las temperaturas son casi iguales.

La eficiencia nunca puede ser exactamente 1, a menos que

$$T_C = 0$$

Un ejemplo de aplicación

Una máquina de Carnot toma 2000 J de calor de una fuente a 500 K, realiza trabajo, y desecha calor a una fuente a 350 K. ¿Cuánto trabajo efectúa, cuánto calor expulsa y qué eficiencia tiene?



El refrigerador de Carnot

Dado que cada paso del ciclo de Carnot es reversible, todo el ciclo podría revertirse, convirtiendo la máquina en refrigerador.

coeficiente de rendimiento del refrigerador de Carnot

$$K = \frac{|Q_C|}{|Q_H| - |Q_C|} = \frac{|Q_C|/|Q_H|}{1 - |Q_C|/|Q_H|}$$

$$K_{\text{Carnot}} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$$

Si la diferencia de temperatura $T_H - T_C$ es pequeña, K es mucho mayor que 1; en este caso, puede “bombearse” mucho calor de la temperatura inferior a la superior con muy poco gasto de trabajo. Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura, menor será K y se requerirá más trabajo para transferir una cantidad dada de calor.

Ciclo de Carnot y la segunda ley

ninguna máquina puede ser más eficiente que una máquina de Carnot que opera entre las mismas dos temperaturas.

ningún refrigerador puede tener un coeficiente de rendimiento mayor que el de un refrigerador de Carnot que opera entre las mismas dos temperaturas.

Planteamiento equivalente de la segunda ley de la termodinámica

todas las máquinas de Carnot que operan entre las mismas dos temperaturas tienen la misma eficiencia, sea cual fuere la naturaleza de la sustancia de trabajo.