

Termodinámica - Clase 6

Graeme Candlish

Instituto de Física y Astronomía, UV
graeme.candlish@ifa.uv.cl

Conceptos en esta clase

La segunda ley de la termodinámica (en palabras)

Teorema de Carnot

Existencia de la temperatura termodinámica

Resumen

- La segunda ley de la termodinámica (en palabras)
 - Enunciado de Clausius
 - Enunciado de Kelvin-Planck
- Teorema de Carnot (eficiencia absoluta de los motores)
- Existencia de la temperatura termodinámica.

Conceptos en esta clase

La segunda ley de la termodinámica (en palabras)

Teorema de Carnot

Existencia de la temperatura termodinámica

Resumen

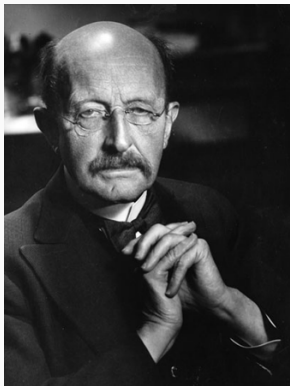
Enunciado de Clausius de la segunda ley



Rudolf Clausius 1822-1888, físico y matemático alemán.

Es imposible construir un dispositivo que, operando en un ciclo, produce ningún otro efecto aparte de la transferencia de calor de un cuerpo frío a un cuerpo caliente.

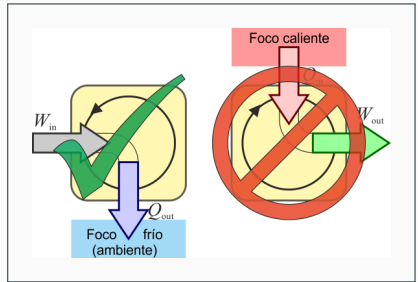
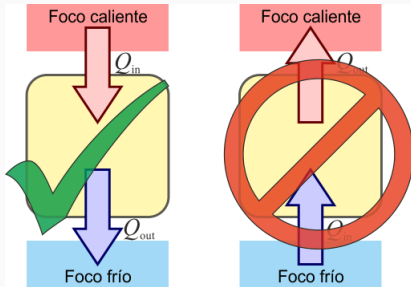
Enunciado de Kelvin-Planck de la segunda ley



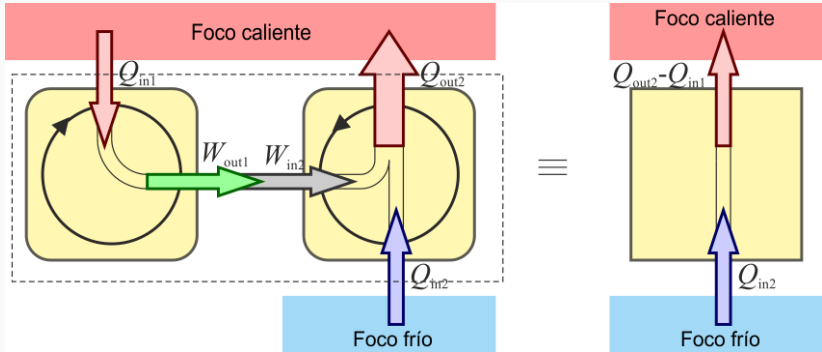
Max Planck 1858-1947, físico teórico alemán, uno de los fundadores de la física cuántica.

Es imposible construir un dispositivo que, operando en un ciclo, produce ningún otro efecto aparte de la extracción de calor de un cuerpo a temperatura uniforme y la producción de una cantidad equivalente de trabajo.

Enunciados de Clausius y Kelvin-Planck de la segunda ley



Kelvin-Planck implica Clausius



Conceptos en esta clase

La segunda ley de la termodinámica (en palabras)

Teorema de Carnot

Existencia de la temperatura termodinámica

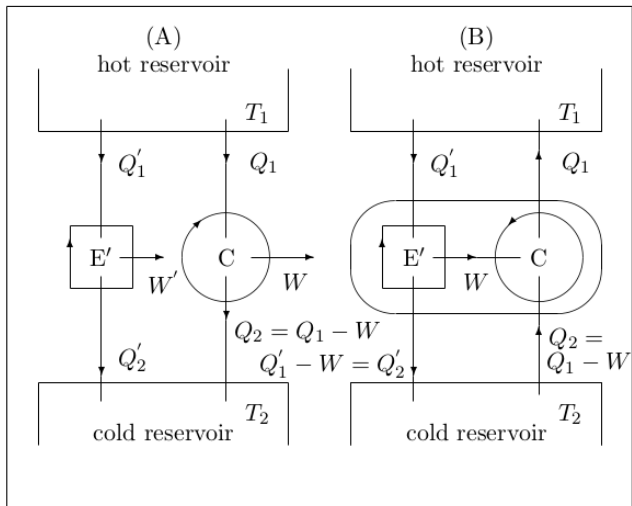
Resumen

Teorema de Carnot

Ninguna máquina que opera entre dos fuentes caloríficas puede ser más eficiente que una máquina de Carnot que opera entre las mismas fuentes.

Demostraremos el teorema con el enunciado de Clausius de la segunda ley.

Teorema de Carnot



Teorema de Carnot

$$\eta \leq \eta_C$$

Corolario al teorema de Carnot

Si tenemos dos máquinas de Carnot C_A y C_B , con sustancias de trabajo diferentes, podemos usar la primera para operar la segunda (siguiendo la lógica que usamos para demostrar el teorema de Carnot). Entonces, tenemos

$$\eta_{C_A} \leq \eta_{C_B}$$

Pero podemos intercambiar las dos máquinas (usar la máquina B para operar la máquina A), y tenemos

$$\eta_{C_B} \leq \eta_{C_A}$$

Por lo tanto: $\eta_{C_A} = \eta_{C_B}$.

Corolario al teorema de Carnot

Todas las máquinas de Carnot que operan entre las mismas dos fuentes caloríficas tienen la misma eficiencia, **independiente de la sustancia de trabajo.**

Conceptos en esta clase

La segunda ley de la termodinámica (en palabras)

Teorema de Carnot

Existencia de la temperatura termodinámica

Resumen

Existencia de la temperatura termodinámica

- La eficiencia de un motor térmico es $\eta = 1 - Q_2/Q_1$.
- Para un motor de Carnot, η solamente puede depender de las temperaturas de las fuentes, por el corolario al teorema de Carnot.
- Ya vimos este resultado en el caso particular donde la sustancia de trabajo es un gas ideal.
- Entonces, Q_1/Q_2 es una función **universal** f de T_1 y T_2 :
 $Q_1/Q_2 = f(T_1, T_2)$.

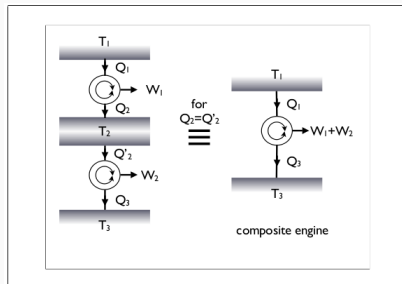
Existencia de la temperatura termodinámica

Para las máquinas individuales:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = f(T_1, T_2) \quad \frac{Q_2}{Q_3} = f(T_2, T_3)$$

Para la máquina compuesta:

$$\frac{Q_1}{Q_3} = f(T_1, T_3)$$



Existencia de la temperatura termodinámica

Entonces:

$$\frac{Q_1}{Q_2} \frac{Q_2}{Q_3} = \frac{Q_1}{Q_3} = f(T_1, T_2)f(T_2, T_3) = f(T_1, T_3)$$

Esta ecuación se puede cumplir solamente si f factoriza:

$$f(T_1, T_2) = \frac{\theta(T_1)}{\theta(T_2)}$$

donde θ es una función **universal** de temperatura (para una elección de escala de temperatura).

Existencia de la temperatura termodinámica

- Hemos demostrado la existencia de la **temperatura termodinámica** sin considerar ninguna sustancia, solamente el ciclo de Carnot.
- Ya vimos que $Q_1/Q_2 = T_1/T_2$ cuando la sustancia de trabajo es un gas ideal.
- Así que, $\theta \equiv T_{GI}$ donde T_{GI} es la temperatura medida por un termómetro de gas a volumen constante extrapolada a presión nula (gas ideal).

Conceptos en esta clase

La segunda ley de la termodinámica (en palabras)

Teorema de Carnot

Existencia de la temperatura termodinámica

Resumen

- La segunda ley de la termodinámica en palabras: los enunciados de Clausius y Kelvin-Planck.
- Estos enunciados hablan de procesos que son **imposibles** según la termodinámica clásica, aunque no van en contra de la conservación de energía.
- Teorema de Carnot: aplicación de la segunda ley para demostrar que hay un límite absoluto en la eficiencia de un motor térmico.
- Corolario del teorema de Carnot: existencia de la temperatura termodinámica (y su equivalencia a la escala de gases ideales).