

BLOQUE II: PRINCIPIOS DE MÁQUINAS

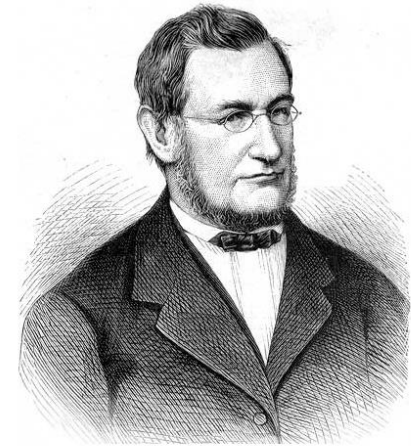
TEMA 7: MÁQUINAS TÉRMICAS. TERMODINÁMICA

ÍNDICE

1. EL CALOR ES ENERGÍA
2. PRINCIPIO CERO DE LA TERMODINÁMICA
3. PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA
4. TRANSFORMACIONES TERMODINÁMICAS
5. SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA
6. CICLO DE CARNOT

1. EL CALOR ES ENERGÍA

Hasta principios del S. XIX no se comenzó a pensar que el calor era energía. Se consideraba a éste como un fluido sin peso, llamado calórico, que pasaba de unos cuerpos a otros comunicando temperatura a la materia.



Julius von Mayer

Con la aparición de la máquina de vapor se tomó conciencia de que la única forma de justificar ciertos hechos era considerando al calor como una forma de energía, que desembocó en los trabajos de Julius von Mayer, el cual publicó lo que él llamo **primer principio de la Termodinámica**:

“El calor es una forma de energía”.

Los estudios de **Carnot**, relativos al **segundo principio de la Termodinámica**, empezaron a dar sentido al concepto de termodinámica como disciplina que estudia los fenómenos relacionados con el calor y sus causas.

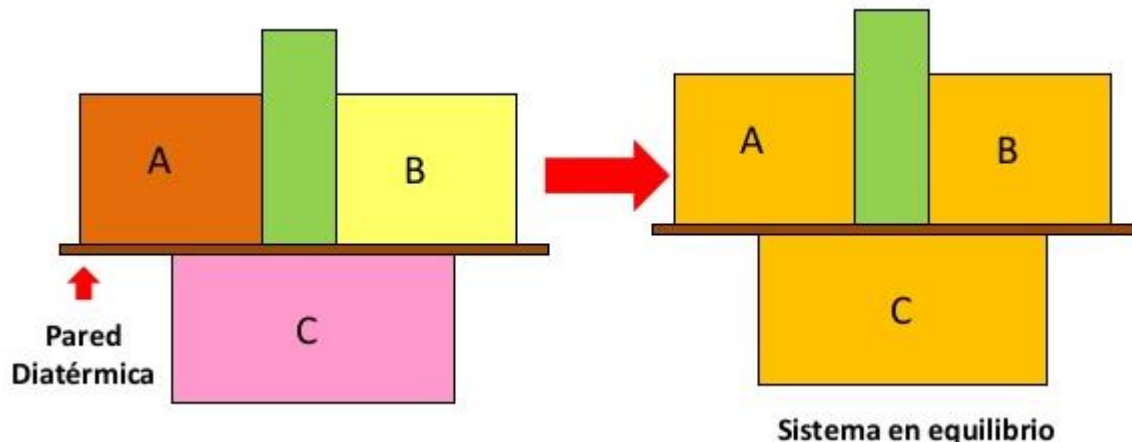


Como en otros muchos campos de la ciencia y la ingeniería, todos estos avances surgieron como necesidad a fines militares. En concreto Carnot trabajó para solventar el problema del sobrecalentamiento de los cañones.

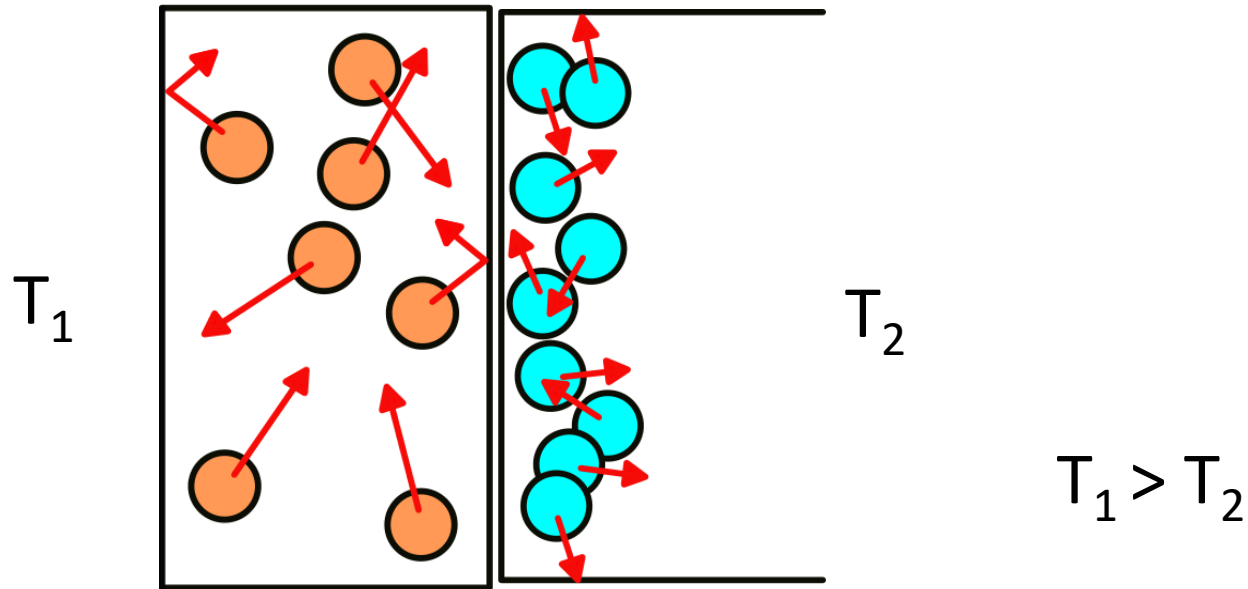
2. PRINCIPIO CERO DE LA TERMODINÁMICA

Se puede definir como **máquina térmica** a aquel sistema en el que evoluciona un **fluido compresible** para una transformación en energía mecánica o viceversa, rigiéndose por las **leyes de la termodinámica**.

Principio cero de la termodinámica: “Si dos sistemas están en equilibrio térmico con un tercero, entonces estarán en equilibrio térmico entre sí, es decir, poseerán la misma temperatura”.



Recordemos cómo eran los sistemas materiales a nivel microscópico y algunas definiciones:



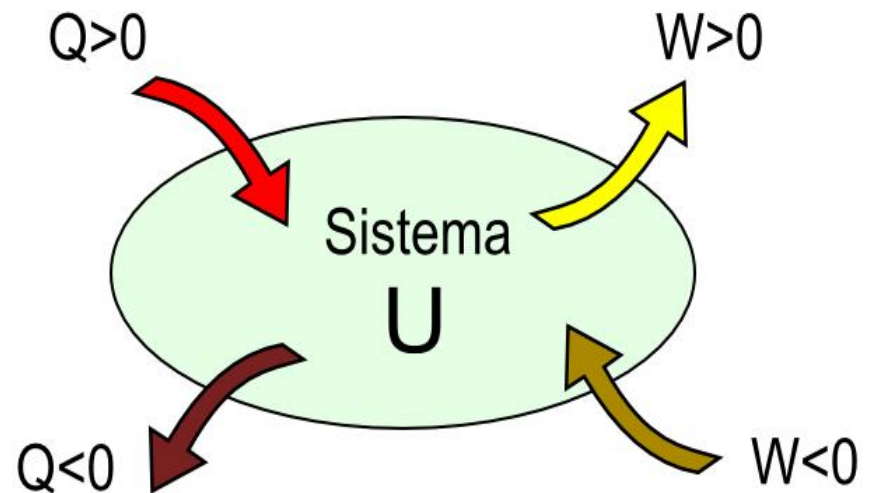
La **energía interna** (U) es la suma de las energías cinéticas y de interacción de los constituyentes microscópicos de un sistema.

La **temperatura** (T) es una magnitud macroscópica, y es proporcional al valor medio de la energía cinética de los constituyentes de la materia a escala microscópica: indica a escala macroscópica el nivel de excitación energética de un cuerpo.

3. PRINCIPIO CERO DE LA TERMODINÁMICA

Primer principio de la termodinámica: “Se define **Calor** como la energía transferida de un cuerpo a otro durante un contacto térmico, es decir, por medios no mecánicos, y solo mientras dicho traspaso esté presente; y será igual a la diferencia entre la **variación de energía interna** y el **trabajo realizado**:

$$Q = \Delta U + W$$

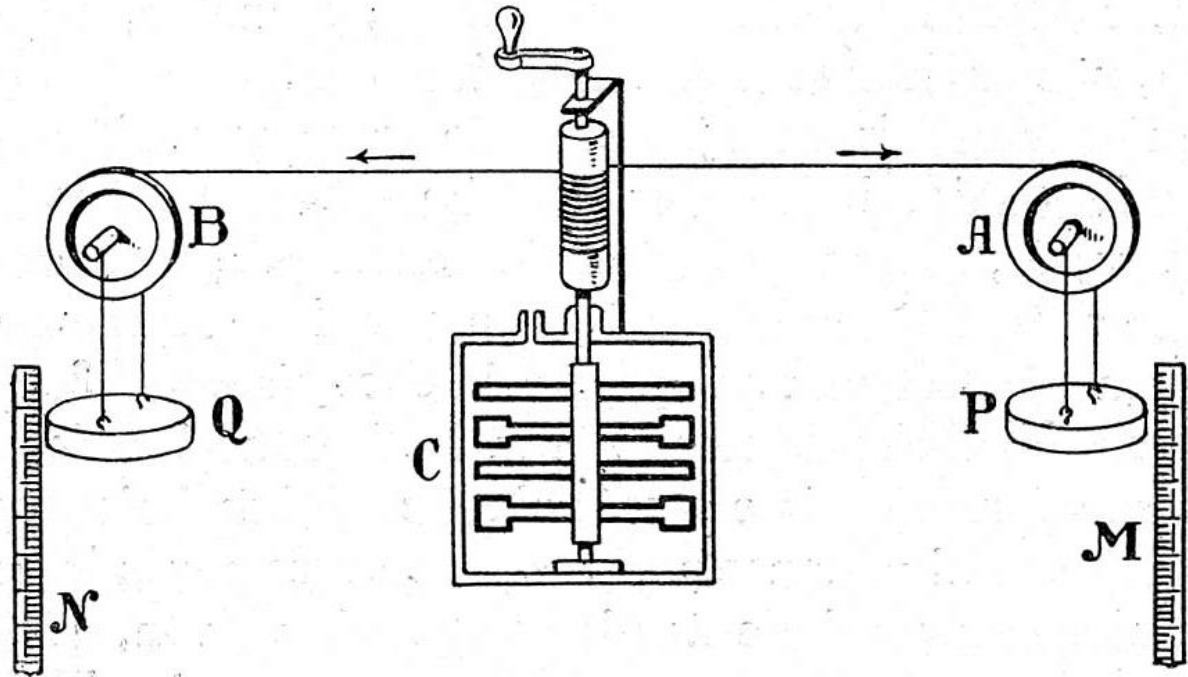


El **criterio de signos** es el siguiente:

El **calor es positivo si se le aporta al sistema**, y negativo si se le extrae.

El **trabajo es positivo si lo produce el sistema**, y negativo si lo consume.

Es evidente que se puede realizar trabajo sobre un sistema y que éste libere calor, de tal modo que el estado final del sistema sea el mismo que el inicial: **el trabajo puede convertirse en calor de forma íntegra**, es decir, con un rendimiento del 100%, de modo que el sistema actúa solo como intermediario.



En este experimento, toda la **energía potencial** de las pesas se convirtió en **energía cinética** de las paletas, y esta a su vez en **calor**, aumentando la temperatura del fluido dentro del cilindro.

Todas las máquinas con piezas móviles degradan inevitablemente parte de su energía en calor residual.



No es posible conseguir el “móvil perpetuo”:



Sin embargo, las cosas ocurren de modo diferente si lo que se pretende es suministrar calor a un sistema para obtener energía de él en forma de trabajo con rendimiento del 100%, mediante un proceso indefinido (cíclico).

La única forma de conseguir un proceso indefinido es **someter** al sistema (que será un **fluido**, normalmente gas) a una **serie de procesos** en los cuales se produzca una **absorción de calor y realización de trabajo**, de modo que al final de todos los procesos el sistema vuelva al estado inicial. De este modo se podría repetir indefinidamente el ciclo.

Estos procesos se pueden representar en una **gráfica p-V**.

4. TRANSFORMACIONES TERMODINÁMICAS

4.1. CONCEPTOS PREVIOS DE LOS GASES

Ecuación del gas ideal: $pV = nRT$

$$R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cong 2 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Calor absorbido o cedido por un gas:
a presión constante

$$Q = n \cdot C_p \cdot \Delta T$$

C_p : Capacidad calorífica molar a p constante

a volumen constante

$$Q = n \cdot C_V \cdot \Delta T$$

C_V : Capacidad calorífica molar a V constante

Coeficiente adiabático: γ

Se cumple que: $C_p - C_V = R$ $\frac{C_p}{C_V} = \gamma$

| | | | |
|------------------|-----------|-----------|--|
| Gas monoatómico: | $C_p = 5$ | $C_V = 3$ | $\frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ |
| Gas diatómico: | $C_p = 7$ | $C_V = 5$ | $\frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ |

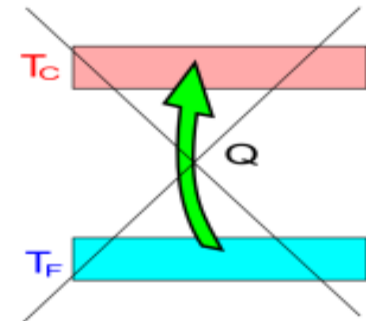
4.2. TRANSFORMACIONES DE LOS GASES

| NOMBRE | CARACTERÍSTICA | SE CUMPLE... | $W = \int_1^2 p \cdot dV$ | Q | $\Delta U = Q - W$ |
|------------|------------------|---|---|----------------------------------|---|
| Isobárica | $p = \text{cte}$ | 1ª ley Gay-Lussac $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ | $W = p \cdot (V_2 - V_1)$ | $Q = n \cdot C_p \cdot \Delta T$ | $\Delta U = n \cdot C_V \cdot \Delta T$ |
| Isocórica | $V = \text{cte}$ | 2ª ley Gay-Lussac $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ | $W = 0$ | $Q = n \cdot C_V \cdot \Delta T$ | $\Delta U = n \cdot C_V \cdot \Delta T$ |
| Isotérmica | $T = \text{cte}$ | ley Boyle-Mariotte $p_1 V_1 = p_2 V_2$ | $W = nRT \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ | $Q = W$ | $\Delta U = 0$ |
| Adiabática | $Q = 0$ | ley Poisson $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$ | $W = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{1 - \gamma}$ $W = -\Delta U$ | $Q = 0$ | $\Delta U = n \cdot C_V \cdot \Delta T$ |

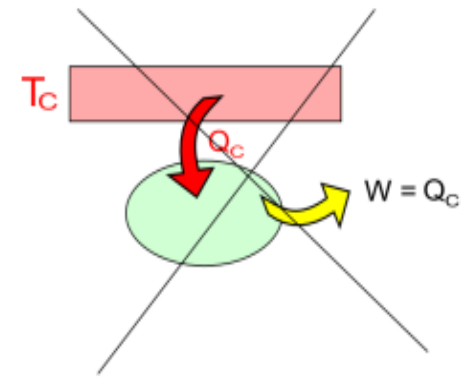
5. SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA

Se puede expresar de varias formas:

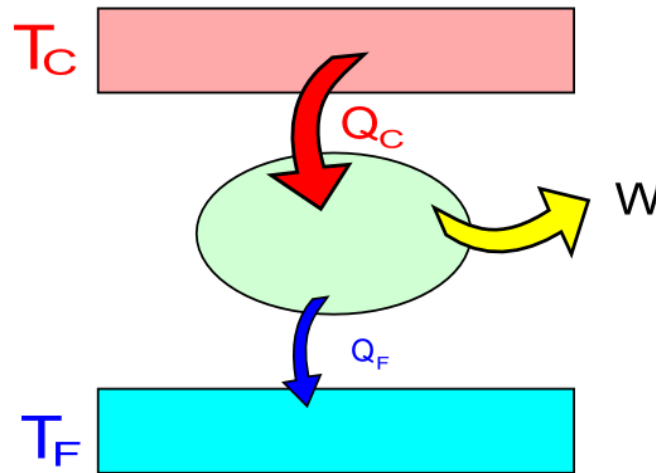
Enunciado de Clausius: “No es posible como único efecto extraer calor de una fuente térmica y cederlo a otra más alta (de mayor temperatura)”.



Enunciado de Kelvin-Planck: “No es posible una máquina cíclica que transforme íntegramente en trabajo el calor extraído de única fuente”.



Conclusión: Para construir una máquina térmica se debe contar con **dos focos a distinta temperatura** que faciliten la transmisión del calor, en cuyo camino se situará el fluido que mediante transformaciones termodinámicas transformará parte del calor absorbido en trabajo mecánico:

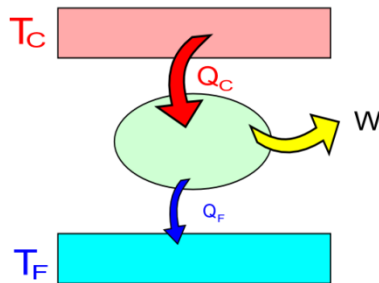


Suponiendo que el sistema cediera calor Q_F en alguna de las transformaciones del ciclo, por el primer principio se tiene que:

$$Q_C - |Q_F| = W$$

ya que al ser cíclico el proceso $\Delta U = 0$.

Una máquina térmica es aquella que absorbe calor Q_C de un foco caliente a la temperatura T_C , y cede calor Q_F a un foco frío a la temperatura T_F . La diferencia $Q_C - Q_F$ se transforma en trabajo con **rendimiento**:

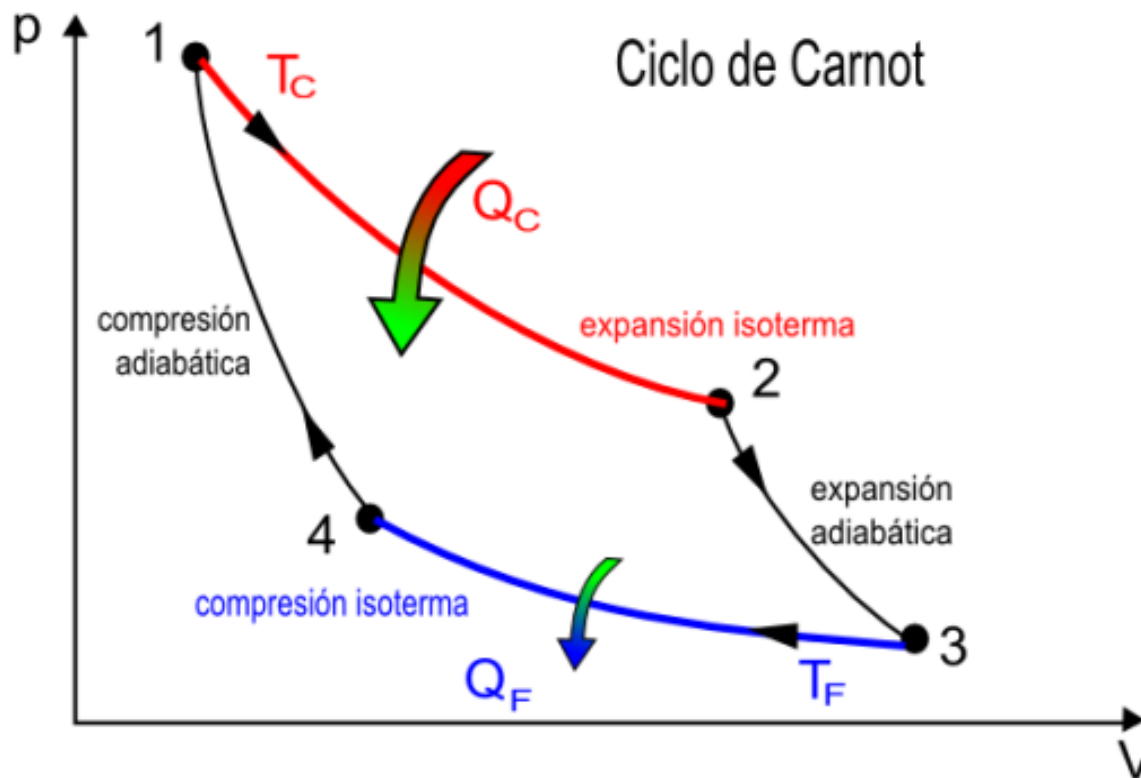


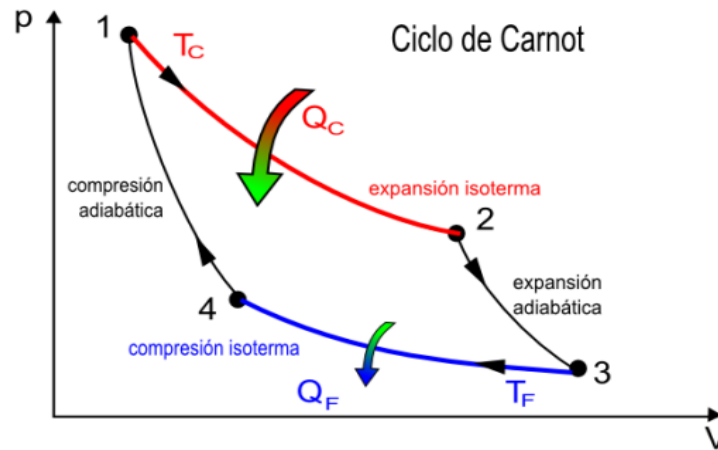
$$\eta = \frac{W}{Q_C} = \frac{Q_C - |Q_F|}{Q_C} = 1 - \frac{|Q_F|}{Q_C}$$

Para que el rendimiento de una máquina térmica fuera del 100%, el calor cedido al foco frío Q_F debería ser cero, cosa que nos prohíbe el segundo principio, con lo que volvemos a comprobar que ninguna máquina térmica podrá llegar a convertir el 100% del calor en trabajo.

6. CICLO DE CARNOT

El ciclo termodinámico que debe seguir una máquina térmica para conseguir el **máximo rendimiento** es el denominado **Ciclo de Carnot**, que en un diagrama p-V toma la siguiente forma:





1→2: En contacto con un foco térmico a la temperatura de T_c sufre una **expansión isoterma**. El sistema absorbe calor Q_c y realiza un trabajo sobre los alrededores.

2→3: A continuación se **expansiona adiabáticamente**, realizando trabajo.

3→4: Una tercera transformación, en contacto ahora con un foco frío a la temperatura T_f , donde sufre una **compresión isoterma**. Ahora el sistema cede calor Q_f al foco frío a expensas del trabajo realizado para comprimirlo.

4→1: Finalmente se cierra el ciclo con una **compresión adiabática** que lleva de nuevo al sistema al estado inicial a expensas de un trabajo realizado sobre él mismo.

El **rendimiento** se puede expresar en función de la temperatura:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{|Q_F|}{Q_C} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$$