



Termodinámica.

Objetivo: Conocer y comprender segunda y tercera ley de la termodinámica.

Nivel: Cuarto medio matemático.

La segunda ley de la termodinámica establece que, si bien todo el trabajo mecánico puede transformarse en calor, no todo el calor puede transformarse en trabajo mecánico.

Al igual que ocurren con otras leyes de termodinámica, la segunda ley es de tipo empírica, llegamos a ella a través de la experimentación. La termodinámica no se preocupa de demostrar por qué las cosas son así, y no de otra forma.

La *segunda ley de la termodinámica* se expresa en varias formulaciones equivalentes:

Enunciado de Kelvin - Planck

No es posible un proceso que convierta todo el calor absorbido en trabajo.

Enunciado de Clausius

No es posible ningún proceso cuyo único resultado sea la extracción de calor de un cuerpo frío a otro más caliente

Observa que esta **segunda ley** no dice que no sea posible la extracción de calor de un foco frío a otro más caliente. Simplemente dice que dicho proceso nunca será *espontáneo*.

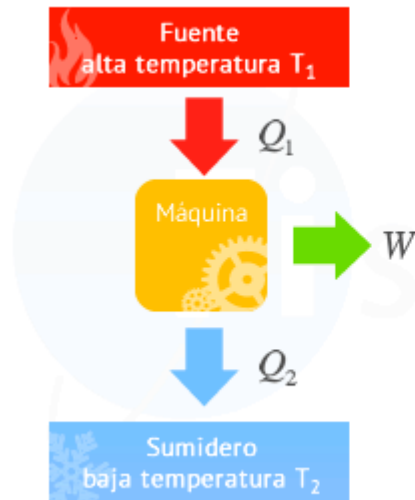
A continuación vamos a estudiar las consecuencias de estas leyes en el caso de máquinas térmicas y a introducir el concepto de entropía.

Máquinas térmicas

Las **máquinas térmicas** son sistemas que *transforman calor en trabajo*. En ellas, se refleja claramente las restricciones señaladas anteriormente. Existen muchos ejemplos de aparatos que son, en realidad, máquinas térmicas: la máquina de vapor, el motor de un coche, e incluso un refrigerador, que es una máquina térmica funcionando en sentido inverso.

Una **máquina térmica** transforma energía térmica en trabajo realizando un *ciclo* de manera continuada. En ellas no hay variación de energía interna, $\Delta U=0$.

En la figura inferior puede verse un esquema de una máquina térmica habitual.



Esquema de una máquina térmica

Las máquinas térmicas se componen de manera general por un elemento a alta temperatura, llamado fuente y otro a baja temperatura llamado sumidero de tal forma que el calor fluye desde la fuente al sumidero transformándose parcialmente en trabajo.

Dado que $T_1 > T_2$, el calor fluye de manera espontánea desde la fuente al sumidero. La máquina transforma parte de este calor en trabajo, y el resto fluye al sumidero. No existe variación en la energía interna de la máquina resultando:

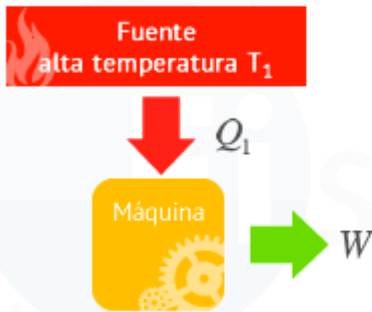
$$\Delta U = 0 \Rightarrow |Q_1| = |W| + |Q_2|$$

Donde hemos utilizado el valor absoluto para ser consistente con cualquiera de los criterios de signos habituales. Observa que, en condiciones óptimas:

$$|W| = |Q_1| - |Q_2| \Rightarrow |W| < |Q_1|$$

Es decir, *no todo el calor que absorbe la máquina se transforma en trabajo.*

Puede que te estés preguntando si sería posible otro modelo de máquina, sin sumidero de calor, que sí permita transformar todo el calor en trabajo. La respuesta es que una máquina así es imposible de construir en la práctica ya que se necesita de una *diferencia de temperatura* entre la fuente de calor y el sumidero para que este fluya a través de la máquina.



Máquina térmica Imposible

La máquina de la figura es imposible de construir en la práctica ya que no existe un sumidero de calor que permita el flujo del calor.

Funcionamiento

El **proceso cíclico** de una máquina térmica sigue los siguientes pasos:

1. La fuente de calor, por ejemplo una caldera, a una temperatura T_1 , inicia una transferencia del mismo Q_1 a la máquina. Esta transferencia es posible por la diferencia de temperatura con el sumidero, a una temperatura T_2
2. La máquina emplea parte de ese calor en realizar el trabajo W . Por ejemplo, el movimiento de un pistón
3. El resto de calor Q_2 se transfiere a un sumidero de calor, por ejemplo un circuito de refrigeración, a una temperatura $T_2 < T_1$

El proceso anterior se repite de manera continuada mientras la máquina se encuentra en funcionamiento.

Eficiencia térmica

Las máquinas térmicas aprovechan una parte del calor que reciben y lo transforman en trabajo, dejando el resto que pase al sumidero. Dadas dos máquinas cualesquiera, nos será útil saber cual de ellas es capaz de convertir en trabajo una mayor cantidad del calor que recibe.

El **rendimiento o eficiencia térmica** es la relación entre el trabajo realizado y el calor suministrado a la máquina en cada ciclo. Su expresión viene dada por:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Donde:

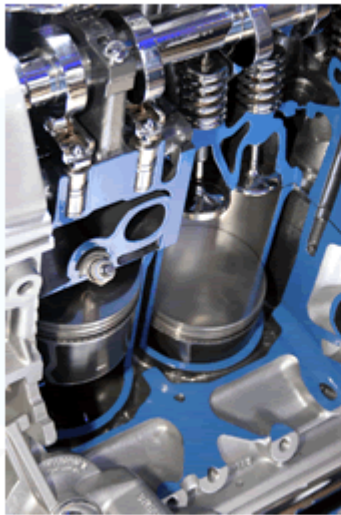
- η : *Rendimiento o eficiencia térmica*. Representa la parte de calor que la máquina aprovecha para realizar trabajo. Su valor se establece en tanto por uno ($\eta = 1$ significa rendimiento del 100%)



San Fernando College
Depto de Ciencias
Prof. Luis Henríquez
lhenriquez@sanfermandocollege.cl

- W : *Trabajo* realizado por la máquina. Su unidad de medida en el sistema internacional es el Joule (J)
- Q_1, Q_2 : *Calor*. Representa el flujo de calor transferido entre la fuente y la máquina y la máquina y el sumidero respectivamente. Su unidad de medida en el sistema Internacional es el Joule (J), aunque también se usa la caloría (cal). $1 cal = 4.184 jul$

El hecho de que los valores de eficiencia sean menores del 100% no es una cuestión técnica que se pueda mejorar, sino una consecuencia del segundo principio de la termodinámica.



Eficiencia de los motores Diesel y Gasolina

En la actualidad los mejores motores diesel alcanzan una eficiencia de un 50% y los de gasolina de un 30%

Entropía

El segundo principio de la termodinámica no se limita exclusivamente a máquinas térmicas sino que se ocupa, en general, de todos los procesos naturales que suceden de manera espontánea. Podemos decir que se ocupa de la evolución natural de los sistemas termodinámicos, es decir, de la dirección en que avanzan. Esta dirección se asocia a la distribución molecular interna de las moléculas.

Para estudiar la espontaneidad de los procesos, el austriaco Ludwig Edward Boltzmann introdujo una nueva magnitud denominada **entropía**.

La **entropía** S es una variable de estado. Está asociada a la probabilidad de que un determinado estado ocurra en un sistema. Aquellos más probables tienen una mayor entropía.

Un estudio más exhaustivo de la entropía requiere herramientas matemáticas que están fuera del ámbito de este nivel educativo, sin embargo si es importante que sepas qué relación guarda la entropía con la segunda ley de la termodinámica.

Cualquier *proceso natural espontáneo* evoluciona hacia un aumento de la entropía.



Veamos algunos ejemplos concretos para entender mejor este concepto:

1. Si coges un montón de lápices y los lanzas al aire, cuando caigan es poco probable que caigan alineados. Lo más probable es que caigan en completo desorden
2. Si echas azúcar al agua, las partículas se distribuyen al azar por toda la disolución de un modo espontáneo, y no en una sola dirección
3. En un gas que se expande libremente, la presión en las paredes del recinto en el que se encuentra es la misma en cualquier punto. La razón es que las partículas del gas se han expandido en todas direcciones por igual y no en una en concreto

Vemos pues, que aumento del desorden es la dirección natural en que evolucionan los procesos naturales.

Degradación energética

A partir de las leyes primera y segunda de la termodinámica podemos decir que en toda transformación natural la energía del universo se conserva y su entropía aumenta. Por tanto:

$$\Delta U_{\text{universo}} = 0 ; \Delta S_{\text{universo}} = 0$$

Este aumento de entropía se asocia a un aumento de la energía térmica de los sistemas. La energía térmica es la forma más degradada de energía, ya que, como hemos señalado, no se puede aprovechar íntegramente en producir trabajo. A este fenómeno se le ha venido a denominar *crisis entrópica* ya que conduce al universo, con el paso de millones de años, a una *muerte térmica*: *todas las formas de energía se acabarán convirtiendo en calor*.

Tercera ley de la termodinámica

La entropía está íntimamente relacionada con la **tercera ley de la termodinámica**, y es mucho menos importante que las otras dos. Está relacionada con el comportamiento de la entropía cuando nos acercamos al cero absoluto.

“Es imposible que cualquier proceso, sin importar cuán idealizado sea, reduzca la entropía de un sistema a su valor de cero absoluto en un número finito de operaciones”