

1.5. La segunda ley de la termodinámica

La segunda ley se expresa en varios postulados equivalentes.

- Postulado de Kelvin-Planck de la segunda ley de la termodinámica establece que:

“Es imposible que un dispositivo que opera en un ciclo reciba calor de un solo depósito y produzca una cantidad neta de trabajo” (Cengel & Boles, 2015, p. 287).

En otras palabras, para que se pueda realizar un trabajo, una máquina térmica debe ceder parte del calor hacia un depósito que se encuentra a menor temperatura, de tal forma que se complete.

- El postulado de Clausius de la segunda ley expresa que:

“Es imposible construir un dispositivo que opere en un ciclo sin que produzca ningún otro efecto que la transferencia de calor de un cuerpo de menor temperatura a otro de mayor temperatura” (Cengel & Boles, 2015, p. 292).

Es decir, para lograr que se produzca el paso de calor de un cuerpo o sistema frío a uno caliente se requiere hacer un trabajo sobre el sistema.

De los enunciados anteriores se puede inferir que es posible convertir el trabajo en calor de manera directa. Sin embargo, para realizar el proceso contrario, convertir el calor en trabajo, se necesita poner en marcha algunos equipos especiales, que se conocen como máquinas térmicas. Veamos qué es una máquina térmica en los conceptos descritos a continuación.

1.1.1. Conceptos.

En el estudio de la segunda ley de la termodinámica, es importante conocer los siguientes conceptos:

Depósito: o también llamados depósito de energía térmica y depósitos de calor, son sistemas que pueden contener o ceder cantidades finitas de calor sin que esto represente un cambio en su temperatura. Ejemplos de depósitos que se consideran en la práctica de termodinámica son los océanos, los ríos, el aire de la atmósfera. Un depósito que cede energía en forma de calor recibe el nombre de fuente. Y, uno que recibe y almacena el calor se denomina sumidero.

Máquina térmica: son dispositivos que se usan para transformar *calor en trabajo*, realizando un ciclo que se repite. Estas máquinas se caracterizan porque en ellas no hay cambio de la energía interna ($\Delta U=0$). Ejemplos de estos equipos son la máquina de vapor, las turbinas de gas, el motor de un carro, entre otros.

Las máquinas térmicas y otros dispositivos cíclicos por lo común requieren un fluido hacia y desde el cual se transfiere calor mientras experimenta un ciclo. Al fluido se le conoce como fluido de trabajo.

Una máquina térmica habitual está conformada como se muestra en la Figura 1.

Ahora bien, aunque todas las máquinas térmicas son diferentes entre sí, pero es posible caracterizarlas a todas de la siguiente manera:

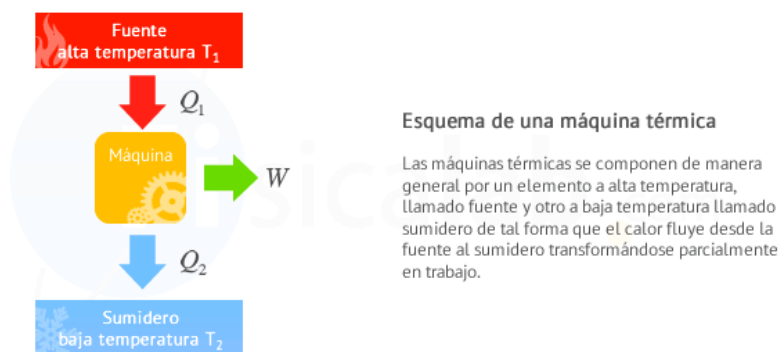
1. Reciben calor de una fuente a temperatura alta (energía solar, horno de petróleo, reactor nuclear, etcétera).
2. Convierten parte de este calor en trabajo (por lo general en la forma de una flecha rotatoria).

3. Rechazan el calor de desecho hacia un sumidero de calor de baja temperatura (la atmósfera, los ríos, etcétera).
4. Operan en un ciclo.

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

Figura 1

Configuración de una máquina térmica habitual



Nota. Tomado de <https://www.fiscalab.com/apartado/segundo-principio-termo>

Eficiencia térmica: la eficiencia térmica de una máquina térmica se define como

$$\eta_{\text{ter}} = \frac{W_{\text{neto, salida}}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

donde $W_{\text{neto, salida}}$ es la salida de trabajo neto de la máquina térmica, Q_H la cantidad de calor suministrada a la máquina y Q_L la cantidad de calor que la máquina cede.

Los refrigeradores y las bombas de calor son dispositivos que absorben calor de medios de baja temperatura y lo ceden hacia la atmósfera a medios de mayor temperatura. El desempeño de un refrigerador o bomba de calor se expresa en términos del coeficiente de desempeño, definido como

$$\text{COP}_R = \frac{Q_L}{W_{\text{neto, entrada}}} = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

$$\text{COP}_{\text{HP}} = \frac{Q_H}{W_{\text{neto, entrada}}} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$

Cualquier dispositivo que viola la primera o la segunda ley de la termodinámica se llama máquina de movimiento perpetuo.

Proceso reversible e irreversible: se dice que un proceso es reversible si tanto el sistema como los alrededores pueden volver a su condición original. Cualquier otro proceso es irreversible. Los efectos que hacen que un proceso sea irreversible son la fricción, la expansión o compresión de no cuasi equilibrio y la transferencia de calor debida a una diferencia finita de temperatura, las cuales se denominan irreversibilidades.

Ciclo de Carnot: el ciclo de Carnot es un ciclo reversible compuesto por cuatro procesos reversibles, dos isotérmicos y dos adiabáticos. Los principios de Carnot establecen que las eficiencias térmicas de las máquinas térmicas reversibles que operan entre dos depósitos son las mismas, y que ninguna

máquina de este tipo es más eficiente que una reversible que opera entre los mismos dos depósitos. Estos enunciados crean el fundamento para establecer una escala termodinámica de temperatura relacionada con las transferencias de calor entre un dispositivo reversible y los depósitos a alta y baja temperaturas, por medio de

$$\left(\frac{Q_H}{Q_L}\right)_{\text{rev}} = \frac{T_H}{T_L}$$

Por lo tanto, la relación Q_H/Q_L se puede reemplazar por T_H/T_L para dispositivos reversibles, donde T_H y T_L son las temperaturas absolutas de los depósitos de temperaturas alta y baja, respectivamente.

Una máquina térmica que opera en un ciclo reversible de Carnot se llama máquina térmica de Carnot. La eficiencia térmica de una máquina térmica de Carnot, así como de las otras máquinas térmicas reversibles está expresada por

$$\eta_{\text{ter,rev}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Ésta es la eficiencia máxima que puede tener una máquina térmica que opera entre dos depósitos a temperaturas T_H y T_L . Los COP de refrigeradores reversibles y las bombas de calor se obtienen de una manera similar,

$$\text{COP}_{\text{R,rev}} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

y

$$\text{COP}_{\text{HP,rev}} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

De nuevo, éstos son los COP más altos que puede tener un refrigerador o una bomba de calor que opera entre los límites de temperatura T_H y T_L .

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 sí 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.

Vea algunos ejemplos concretos para entender mejor este concepto:

1. Si coge 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 echa 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.

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