Universidad Autónoma Chapingo
Dpto. de Preparatoria Agrícola
Área de Física

Física II

“Segunda Ley de la Termodinámica”

Noviembre del 2021

¿Te has dado cuenta de que, al golpear un clavo con un martillo, su temperatura aumenta?

¿O que, al manipular un pedazo de plastilina, cada vez se hace más maleable debido a que se calienta?

En estos casos hemos realizado un trabajo sobre el clavo o sobre la plastilina.

¡Hemos transformado todo el trabajo en calor!

Sin embargo, se ha observado que el proceso inverso, transformar todo el calor en trabajo, no es posible.

Sólo se puede transformar algo de calor en trabajo.

¡No todo el calor se puede transformar en trabajo!

Si eso fuese posible, las máquinas que transforman el calor en trabajo tendrían un 100% de eficiencia.

Pero se ha visto que esto no es posible. Mucho del calor que se invierte en una máquina, no se utiliza para realizar trabajo; gran parte de este calor no se utiliza.

Una máquina térmica es cualquier dispositivo capaz de transformar energía interna en trabajo mecánico.

Para que una máquina térmica realice un trabajo, es necesario que fluya calor de una fuente a alta temperatura a una fuente de baja temperatura.

La Segunda Ley de la Termodinámica nos dice que no existe máquina térmica que pueda convertir todo el calor que se le suministra en trabajo.

Sólo una parte del calor puede transformarse en trabajo; el resto se desecha.

De aquí se puede decir que una máquina térmica no es eficiente al 100%, por lo que deben manejarse diferentes grados de eficiencia.

En 1824 el ingeniero francés Sadi Carnot (Bueche, 1990) descubrió que la máxima cantidad de calor que se puede convertir en trabajo útil depende de la diferencia de temperatura entre el depósito caliente y el depósito frío.

Su ecuación proporciona la eficiencia ideal, o eficiencia de Carnot de una máquina térmica.

$$\varepsilon = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Donde:

$$\varepsilon = Eficiencia\ Ideal.$$

$$T_1 = Temperatura\ mayor.$$

$$T_2 = Temperatura\ menor.$$

De esta forma, la eficiencia depende de la diferencia de temperaturas entre el depósito caliente y el frío. Es importante hacer notar que esta expresión es válida sólo si las temperaturas se expresan en la escala absoluta, es decir en Kelvin; esta expresión no es válida si se expresan las temperaturas en escalas diferentes a la Kelvin.

Como se dijo, la ecuación para la eficiencia de una máquina térmica depende de la diferencia de temperaturas; mientras más grande sea esta diferencia, mayor será la eficiencia.

Incluso, si la temperatura del depósito a menor temperatura es igual a 0 K, la eficiencia de una máquina térmica sería del 100%.

Desafortunadamente esa temperatura es difícil de lograr, por lo que una máquina térmica no funcionará al 100%.

También debemos notar que, si la diferencia de temperaturas entre ambos depósitos es igual a cero, la eficiencia de una máquina térmica sería del 0%.

La eficiencia de Carnot reflejada en su ecuación, no incluye la fricción.

La eficiencia de una máquina térmica se ve disminuida por la presencia de la fricción en los componentes de una máquina térmica.

Si se incluyeran las pérdidas ocasionadas por la fricción, la eficiencia de una máquina de Carnot todavía sería menor.

De esta forma, la eficiencia ideal de una máquina de Carnot es independiente de la fricción. La fricción disminuye aún más la eficiencia.

En la práctica, todas las máquinas presentan fricción y la eficiencia real siempre será menor que la ideal.

Así, la Segunda Ley de la Termodinámica nos dice que sólo una parte del calor suministrado puede convertirse en trabajo, incluso cuando no hay fricción.

Como la eficiencia de una máquina térmica depende del calor absorbido del depósito caliente y del calor cedido al reservorio frío, entonces podemos expresarla en términos de estos calores. Es decir, matemáticamente la eficiencia se puede expresar también por medio del calor absorbido y cedido:

$$\varepsilon = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Donde:

$$\varepsilon = Eficiencia\ Ideal$$

$$Q_1 = Calor\ absorbido$$

$$Q_2 = Calor\ cedido$$

Esta expresión nos indica que, mientras más grande sea la diferencia entre el calor absorbido y cedido por la máquina térmica, mayor es la eficiencia.

De hecho, si no se cediera calor al depósito frío, la eficiencia de una máquina térmica sería del 100%

Las expresiones anteriores nos dicen que son equivalentes. Que da lo mismo calcular la eficiencia de una máquina térmica conociendo las temperaturas absolutas de los reservorios o conociendo las cantidades de calor que se absorben y se ceden.

Como se ha dicho, todas las máquinas térmicas funcionan al absorber calor de un depósito que se encuentra a una temperatura alta, realizan trabajo, y después ceden calor a un depósito que permanece a una temperatura más baja. De esta forma, la eficiencia de una máquina térmica se puede expresar en función del trabajo que realiza en un ciclo, es decir:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_1}$$

Donde:

$$\varepsilon = Eficiencia\ Ideal$$

$$Q_1 = Calor\ absorbido$$

$$W = Trabajo\ realizado\ por\ la\ máquina\ térmica$$

De las ecuaciones anteriores, concluimos que:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Donde:

$$Q_1 = Calor\ absorbido$$

$$Q_2 = Calor\ cedido$$

$$T_1 = Temperatura\ mayor$$

$$T_2 = Temperatura\ menor$$

Con estas ecuaciones nos damos cuenta de que se tienen 6 variables, de las cuales sólo es necesario conocer 3 de ellas para conocer las restantes. No todas las variables son independientes, solo 3 de ellas se pueden considerar independientes, es decir, cualquiera de ellas no puede ser calculada a partir de las 2 variables restantes.

Ejemplo: suponga que una máquina térmica absorbe 1 000 000 de Joules de calor de un depósito a 300 ^{0}C y cede calor a un depósito que está a 150 ^{0}C de temperatura. Determinar el trabajo que realiza, el calor cedido y la eficiencia de la máquina.

Solución:

Las temperaturas en Kelvin son:

$$T_1 = 300 + 273 = 573\ K \qquad \text{y} \qquad T_2 = 150 + 273 = 423\ K$$

La eficiencia es igual a: $$\varepsilon = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{573\ K - 423\ K}{573\ K} = 0.2617$$

El calor cedido es: $$Q_2 = Q_1 - \varepsilon Q_1 = Q_1(1 - \epsilon) = (10^6\ J)(1 - 0.2617)$$

$$= 738\,219.89\ J = 176\,607.63\ Cal$$

El trabajo es: $$W = \varepsilon\ Q_1 = (0.2617801047)(10^6) = 261\,780.10\ J$$

Ejercicio: suponga que una máquina térmica absorbe 3 000 000 de Joules de calor de un depósito a 400 ^{0}C y cede calor a un depósito que está a 100 ^{0}C de temperatura. Determinar el trabajo que realiza, el calor cedido y la eficiencia de la máquina.

Solución:

Las temperaturas en Kelvin son:

$$T_1 = 400 + 273 = 673\ K \qquad \text{y} \qquad T_2 = 100 + 273 = 373\ K$$

La eficiencia es igual a: $$\varepsilon = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{673\ K - 373\ K}{673\ K} = 0.4457652303$$

El calor cedido es: $$Q_2 = Q_1 - \varepsilon Q_1 = Q_1(1 - \epsilon) = (3 * 10^6\ J)(1 - 0.4457)$$

$$= 1\ 662\ 704\ J = 397\ 776.15\ Cal$$

El trabajo es: $$W = \varepsilon\ Q_1 = (0.4457652303\ J)(3 * 10^6\ J) = 1\ 337\ 295.69\ J$$

Ejemplo: Como siguiente ejemplo suponga que se quiere construir una máquina térmica que absorba 50 000 calorías calor de una fuente a 200 ^{0}C y que su eficiencia fuese del 30%. Calcule el calor cedido, el trabajo y la temperatura del depósito donde se entrega el calor.

Solución:

La temperatura de la fuente en Kelvin es: $T_1 = 200 + 273 = 473\ K$

El calor absorbido es: $Q_1 = 50\ 000\ Cal$

La eficiencia es: $\varepsilon = 0.3$

El trabajo es: $W = \varepsilon\, Q_1 = (0.3)(50\ 000\ \text{Cal}\ ) = 15000\ \text{Cal} = 62\ 700\ \text{J}$

El calor cedido es: $Q_2 = Q_1 - \varepsilon Q_1 = Q_1(1-\epsilon) = (5 * 10^4\ Cal)(1-0.3) = 35\ 000\ Cal$

La temperatura del depósito es: $T_2 = T_1 - \varepsilon T_1 = T_1(1-\epsilon) = (473\ K)(1-0.3) = 331.1\ K$

Ejercicio: Como siguiente ejemplo suponga que se quiere construir una máquina térmica que absorba 100 000 calorías calor de una fuente a 500 ^{0}C y que su eficiencia fuese del 25%. Calcule el calor cedido, el trabajo y la temperatura del depósito donde se entrega el calor.

Solución:

La temperatura de la fuente en Kelvin es: $T_1 = 500 + 273 = 773\ K$

El calor absorbido es: $Q_1 = 100\ 000\ Cal$

La eficiencia es: $\varepsilon = 0.25$

El trabajo es: $W = \varepsilon\ Q_1 = (0.25)(100\ 000\ Cal) = 25\ 000\ \text{Cal} = 104\ 500\ \text{J}$

El calor cedido es: $Q_2 = Q_1 - \varepsilon Q_1 = Q_1(1-\epsilon) = (1 * 10^5\ Cal)(1-0.25) = 75\ 000\ Cal$

La temperatura del depósito es: $T_2 = T_1 - \varepsilon T_1 = T_1(1-\epsilon) = (773\ K)(1-0.25) = 579.75\ K$

Ejemplo: Como siguiente ejemplo suponga que se quiere construir una máquina térmica que absorbe calor de una fuente a 500 K y cede a un depósito donde su temperatura es de 300 K. Si queremos que la máquina realice un trabajo de 30 000 J, calcule el calor absorbido y cedido, al igual que su eficiencia.

Solución:

Las temperaturas en Kelvin son:

$$T_1 = 500\ K \qquad \text{y} \qquad T_2 = 300\ K$$

El trabajo que se quiere que realice la máquina: $W = 30\ 000\ \text{J} = 7\ 177.03\ \text{Cal}$

La eficiencia es igual a:
$$\varepsilon = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{500\ K - 300\ K}{500\ K} = 0.4$$

El calor absorbido es:
$$Q_1 = \frac{W}{\varepsilon} = \frac{71\ 77.03\ Cal}{0.4} = 17\ 942.58\ Cal$$

El calor cedido es:
$$Q_2 = Q_1 - \varepsilon Q_1 = Q_1(1 - \epsilon) = (17\ 942.58\ Cal)(1 - 0.4) = 10\ 65.55\ Cal$$

Ejercicio: Como siguiente ejemplo suponga que se quiere construir una máquina térmica que absorbe calor de una fuente a 600 K y cede a un depósito donde su temperatura es de 200 K. Si queremos que la máquina realice un trabajo de 50 000 J, calcule el calor absorbido y cedido, al igual que su eficiencia.

Solución:

Las temperaturas en Kelvin son:

$$T_1 = 600\ K \qquad \text{y} \qquad T_2 = 200\ K$$

El trabajo que se quiere que realice la máquina: $W = 50\,000\ \text{J} = 11\,961.72\ \text{Cal}$

La eficiencia es igual a:
$$\varepsilon = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{600\ K - 200\ K}{600\ K} = 0.67$$

El calor absorbido es:
$$Q_1 = \frac{W}{\varepsilon} = \frac{11\,961.72\ Cal}{0.67} = 17\,942.58\ Cal$$

El calor cedido es:
$$Q_2 = Q_1 - \varepsilon Q_1 = Q_1(1 - \epsilon) = (17942.58\ Cal)(1 - 0.67) = 5\,980.86\ Cal$$

Ejemplo: Se piensa construir una máquina de vapor que absorba 200 000 calorías de calor de una fuente a 200^0C, y que tenga una eficiencia del 35%. Calcule el trabajo que realice, el calor cedido y la temperatura del depósito a donde se cede el calor.

Solución:

La temperatura de la fuente en Kelvin es: $T_1 = 200 + 273 = 573\ K$

El calor absorbido es: $Q_1 = 200\ 000\ Cal$

La eficiencia es: $\varepsilon = 0.35$

El trabajo es: $W = \varepsilon\, Q_1 = (0.35)(200\ 000\ \text{Cal}) = 70\ 000\ \text{Cal} = 292\ 600\ \text{J}$

El calor cedido es: $Q_2 = Q_1 - \varepsilon Q_1 = Q_1(1-\epsilon) = (200\ 000\ \text{Cal})(1-0.35) = 130\ 000\ Cal$

La temperatura del depósito es: $T_2 = T_1 - \varepsilon T_1 = T_1(1-\epsilon) = (573\ K)(1-0.35) = 372.45\ K$

Atentamente:

Dr. Guillermo Becerra Córdova

Página: http://virtual.chapingo.mx/fis