$$Q = 0 = \Delta U + W$$

y

$$W = -\Delta U \quad \text{(expansión adiabática) (15)}$$

Así, en una expansión adiabática, el trabajo (área bajo la trayectoria del proceso) es realizado por el sistema, con un decrecimiento correspondiente en su energía interna. El decrecimiento en la energía interna es evidenciada por una disminución en la temperatura al pasar del estado 1 al estado 2.

LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Supongamos que un trozo de metal calentado se coloca en un recipiente aislado y con agua fría. El calor será transferido del metal al agua y los dos llegarán a un equilibrio térmico a alguna temperatura intermedia. Para un sistema térmicamente aislado, la energía total permanece constante, de acuerdo con la primera ley de la termodinámica. ¿Podría haber un proceso inverso en el cual el calor fuera transferido del agua fría al metal caliente? Sabemos que esto no podría pasar en forma natural. Pero si así fuera, la energía total del sistema permanecería constante y la transferencia de energía no violaría la primera ley.

Es claro que, debe haber otro principio no expresado en la primera ley de la termodinámica, que especifica la dirección en la cual puede efectuarse un proceso. Este principio está dentro de la segunda ley de la termodinámica, que dice que ciertos procesos no tienen lugar, o que hasta ahora nunca se han observado, aun cuando sean consistentes con la primera ley.

Existen muchas definiciones equivalentes de la segunda ley, que pueden expresarse de formas diferentes de acuerdo con su aplicación. Una de éstas, que es aplicable a la situación anterior, es

El calor no fluye espontáneamente de un cuerpo frío a un cuerpo más caliente.

Otra definición común de la segunda ley es ésta:

La energía calorífica no puede ser transformada completamente en trabajo mecánico o viceversa.

Esta definición se aplica a las máquinas de calor que se explicarán más adelante.

En general, la segunda ley se aplica a todas las formas de energía. Se considera que es cierta porque nunca se ha encontrado una excepción a ella (al menos en la forma de esta definición). Si no fuera válida, se podría construir una máquina de movimiento perpetuo. Tal máquina podría transformar completamente el calor de un depósito en trabajo y movimiento (energía mecánica) sin pérdida de energía. La energía mecánica se podría transformar de nuevo en

calor y utilizarse para volver a calentar el depósito (de nuevo sin pérdida). Dado que el proceso se podría repetir indefinidamente, la máquina podría funcionar en forma perpetua. Toda la energía sería eficaz, por lo que no estaría violando la primera ley. Sin embargo, es obvio que las máquinas verdaderas siempre tienen una eficiencia menor que el 100%, o sea que el trabajo producido siempre es menor que la energía consumida. Otra definición de la segunda ley es, por lo tanto:

Es imposible construir una máquina de operación de movimiento perpetuo.

Se han hecho muchos intentos para construir máquinas de movimiento perpetuo, pero no se ha tenido ningún éxito.

Es conveniente tener alguna forma de expresar la dirección de un proceso en términos de las propiedades termodinámicas de un sistema. Una propiedad tal es la temperatura. Al analizar un proceso conductivo de transferencia de calor, necesitamos conocer las temperaturas del sistema y el ambiente que lo rodea. El conocimiento de la diferencia de temperaturas nos permite establecer la dirección en la cual la transferencia de calor se efectuará espontáneamente hacia adentro o hacia afuera(indicada por +Q o -Q, respectivamente).

MÁQUINAS DE CALOR.

El desarrollo de la termodinámica comenzó en la época de la Revolución Industrial. Fue entonces cuando la invención de la máquina de vapor inició un cambio monumental en nuestra civilización. Las primeras máquinas de vapor eran dispositivos primitivos que operaban con poca eficiencia, así que los científicos de la época fueron convocados para examinar las leyes físicas que regían a estas máquinas. Este llamado fue lo que impulsó las primeras actividades en el campo de la termodinámica y los resultados de estas investigaciones tuvieron consecuencias perdurables que aún influyen en las ciencias físicas y biológicas.

Una máquina de vapor es un ejemplo de una máquina térmica, definida como cualquier dispositivo que convierte energía térmica en energía mecánica. La máquina de vapor se ajusta a esta descripción, lo mismo que el motor de gasolina, que emplea la energía térmica generada por la combustión de la gasolina. Otras máquinas más exóticas, que emplean el calor del Sol o de reactores nucleares, también son máquinas de calor. Veamos ahora las leyes que obedecen estas máquinas.

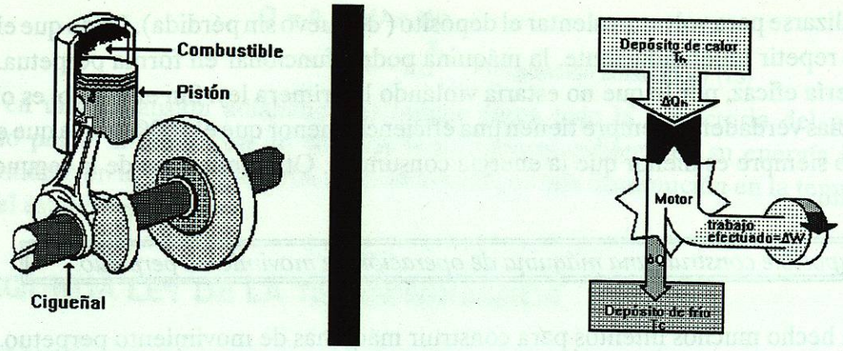


Fig. 10.

En una máquina térmica, la energía de entrada Qc debe ser igual a la suma de la energía de emisión Q_f y el trabajo de salida W.

En la figura 10a se representa el diagrama de una sencilla máquina térmica. El combustible al quemarse crea gas a alta presión que empuja el pistón hacia abajo. Este movimiento lineal cambia a rotacional por medio del cigüeñal y la máquina repite el ciclo de movimiento una y otra vez. Por supuesto, no se ilustran varios detalles, como las válvulas y las bujías. Sin embargo, la característica esencial es que la energía térmica se convierte en energía mecánica.

En la figura 10b aparece una representación más general de una máquina térmica. El calor Q_c fluye de un depósito de alta temperatura (caliente) a la máquina; ésta es la energía de entrada para la máquina. Una parte de la energía de entrada se aplica a la realización de trabajo y el resto, Q_f, es el calor de emisión, fluye a un depósito de baja temperatura (frío). El depósito de baja temperatura por lo general no es más que la atmósfera, como en el caso de un automóvil que emite por el tubo de escape el combustible usado.

La máquina debe obedecer a la ley de la conservación de la energía; entonces, la primera ley de la termodinámica aplicada a la máquina es, para un ciclo de movimiento,

$$Q_{neto} = Q_c - Q_f = W + \Delta U \qquad (16)$$

donde W es el trabajo de salida de la máquina en un ciclo. Sin embargo, cada vez que la máquina pasa por un ciclo termodinámico no hay ningún cambio neto en su energía interna. Entonces, $\Delta U = 0$ para un ciclo completo y la ecuación anterior se convierte en

$$W = Q_c - Q_f \qquad (17)$$

Usaremos esta relación para calcular la eficiencia de la máquina. Como sucede con cualquier máquina, la eficiencia (η) se define como la relación entre el trabajo de salida y la energía de entrada. En este caso,

$$\eta = \frac{W}{Q_c} \qquad (18)$$

Sustituyendo W en la ecuación anterior se obtiene

$$\eta = \left(\frac{Q_c - Q_f}{Q_c}\right) = 1 - \frac{Q_f}{Q_c} \qquad (19)$$

Vemos que el calor de emisión, Qf , que representa al energía térmica no convertida en trabajo, es responsable de la ineficiencia de la máquina.

Si Q_f pudiera ser cero, la máquina tendría una eficiencia del 100%. Esto no sucede así, y se puede demostrar en un curso superior, que la eficiencia máxima de cualquier máquina térmica es,

$$\eta_{máx} = 1 - \frac{T_f}{T_c} \qquad (20)$$

De esta manera llegamos a un resultado sorprendente: incluso la máquina mejor diseñada tiene una eficiencia límite, restringida por los extremos de la temperatura de operación. En la ecuación (20) se observa que la eficiencia límite puede aumentarse obteniendo Q_c de una temperatura muy alta o emitiendo Q_f a una temperatura muy baja. Notemos que la única forma en que una máquina pudiera operar al 100% de eficiencia sería emitiendo Q_f a 0 K, convirtiendo todo el calor de entrada en trabajo. Puesto que incluso el espacio vacío del Universo tiene una temperatura de aproximadamente 3 K, esta máquina es algo imposible. Este resultado es una consecuencia directa de la segunda ley de la termodinámica y con frecuencia se presenta como un enunciado alternativo de esta ley:

Un dispositivo que convierte el 100% del calor de entrada entrabajo mecánico es una imposibilidad física.

LECTURA COMPLEMENTARIA

LA ESCALA DE TEMPERATURA KELVIN

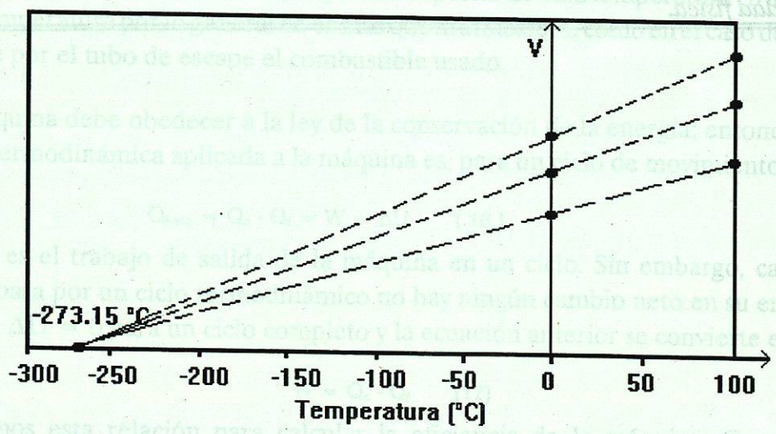
Anteriormente habíamos definido de una forma la escala Kelvin de temperatura, partiendo de que su punto fijo estaba dado por la temperatura más baja posible de alcanzar.

Vamos ahora a redefinir esta escala de temperatura, de una forma más exacta. Supongamos que tomamos una muestra de un gas cualquiera y lo sometemos a una disminución de la temperatura midiendo al mismo tiempo el volumen de la muestra. Ya conocemos que al disminuir la temperatura de un cuerpo su volumen disminuye a causa del fenómeno de la contracción térmica. Por lo tanto, el volumen de la muestra de gas irá diminuyendo con la disminución de la temperatura. El gráfico del volumen en función de la temperatura será una línea recta.

Si tomamos una muestra de un gas diferente y lo sometemos al mismo proceso, también disminuye su volumen, pero lo hace siguiendo una recta diferente, ya que conocemos que el coeficiente de dilatación volumétrica depende de la sustancia de que se trate.

En la figura se muestra el gráfico de volumen en función de la temperatura para tres muestras de gases diferentes. Cada recta mostrada representa un gas en cuestión.

GRAFICO DE VOLUMEN DEL GAS vs. TEMPERATURA



Una característica importante que podemos observar, en el gráfico, es que si las rectas, para diferentes gases se extrapolan a valores negativos de temperatura, todas tienden a un punto de temperatura común igual a -273.15°C, para lo cual parecería como si todos los gases tuvierán ¡Un volumen igual a cero! Esto, por supuesto, no es así, en la realidad, pues el gas se convierte

en líquido e incluso a sólido antes de llegar a esa temperatura, pero las gráficas muestran este comportamiento para todos los gases.

Precisamente esta temperatura fué la escogida como punto fijo de la escala Kelvin y se le asignó un valor de cero (0 K). El intervalo unitario de la escala Kelvin fué tomado igual al de la escala Celsius y por ello el punto de congelamiento del agua (0°C) quedó en la escala Kelvin, igual a 273.15 K.

El hecho de que todos los gases tengan propiedades similares, para muy bajas temperaturas y volúmenes esta relacionado con un modelo del comportamiento de los gases, llamado "Gas Ideal".

Ahora ya tenemos una idea más exacta de la definición de la escala Kelvin de temperaturas, también llamada "Escala Absoluta o Escala de Temperatura Absoluta".

PREGUNTAS

1.- ¿Cómo se consideraba el calor en el siglo XVIII?

2.- ¿Cuál era la idea de Benjamin Thompson con respecto al calor?

3.- Indica la diferencia que existe entre calor y temperatura.

4.- Indica la diferencia entre calor y energía interna.

5.- ¿Qué se calienta más rápido cuando se aplica calor, el hierro o la plata?

6.- ¿Una sustancia que se calienta más rápido tiene un alto o un bajo calor específico?

7.- ¿Por qué el hielo se forma en la superficie de un lago y no en el fondo?

8.- Una bola metálica apenas es capaz de pasar a través de un anillo metálico. Sin embargo, cuando la bola se calienta, ya no pasa a través del anillo. ¿Qué pasaría si se calienta el anillo en lugar de la bola? ¿El diámetro interior del anillo aumentaría, permanecería igual o se reduciría?

9.- ¿En qué condiciones es cierto que la adición de calor a un cuerpo ocasiona en él un aumento de temperatura?

10.- Define temperatura desde el punto de vista macroscópico y microscópico.

11.- ¿De qué factores depende el calor transmitido a un cuerpo durante su calentamiento?

12.- ¿Por qué en los sólidos no puede transmitirse calor por convección?

13.-¿ Por qué es más graave una quemadura con vapor que una quemadura con agua hirviente a la misma temperatura?

14.- ¿Por qué el agua no hierve a 100 C cuando está a una presión más alta?

15.- ¿Por qué la temperatura del agua hirviente no sube cuando se aplica calor?

16.- Menciona dos procedimeintos para variar la energía interna de un cuerpo.

17.- Has una lista de los supuestos que intervienen en la construcción del modelo de un gas para la teoría cinética

18.- ¿Pueden dos cuerpos tener la misma temperatura y al mismo tiempo diferente energía interna?

19.- Explica porque un gas ejerce presión contra las paredes del recipiente que lo contiene.

20.- ¿En qué sentido son similares el calor y el trabajo?

21.- Define transmisión de calor en función de la energía interna y da varios ejemplos.

22.-¿Qué diferencia existe entre un sistema abierto y un sistema cerrado?

23.- ¿Qué estudia la Termodinámica?

24.- Enuncia la Primera Ley de la Termodinámica.

25.- Enuncia de tres maneras diferentes la Segunda ley de la Teromodinámica.

26.- Explica porque no pueden existir máquinas con movimiento perpetuo. Argumenta la respuesta.

PROBLEMAS

1.- Calcular el incremento de longitud de un alambre de cobre que mide 25 metros de longitud cuando cambia la temperatura de 7°C a 40°C. $\alpha_{Cu} = 1.7 \times 10^{-6}$ 1/°C.

2.- Una barra de 5 metros de longitud se expande 0.102 centímetros cuando su temperatura se incrementa en 40°C. ¿Cuál es el valor de α para el material de que está hecha la barra?

3.- Una varilla de aluminio tiene una longitud de 1.65 metros a 25°C. ¿Cuál será su longitud, si se calienta a 465°C ? $\alpha_{Al} = 25 \times 10^{-6}$/°C.

4.- Una varilla de acero ($\alpha_{Fe} = 10.5 \times 10^{-6}$/°C) tiene una longitud de 11.5 metros a 22°C. ¿Cuál será la longitud de la varilla de acero a 1221°C?

5.- Un puente de acero de 110 metros de largo a 5°C. ¿Cuál será su longitud, al aumentar su temperatura a 25°C ?

6.- Encuentra el incremento en volumen de 120 cm^3 de mercurio, cuando su temperatura cambia de 9°C a 39°C. $\beta_{Hg} = 0.00018$/°C.

7.- ¿Cuál es el incremento en volumen de 16 litros de alcohol cuando se calienta de 20°C a 50°C, si el coeficiente de dilatación volumétrica es de 11×10^{-4} /°C?

8.- Si 38 kilogramos de plomo se calientan desde - 30°C hasta 180°C, ¿cuánta cantidad de energía absorbe el plomo?

9.- ¿Cuánto calor pierde el agua cuando disminuye su temperatura de 75°C a 10°C?

10.- Al aplicarle calor a una masa de aluminio su temperatura se incrementa en 69°C. Supóngase que la misma cantidad de calor se aplica a una misma masa de cobre. ¿Cuál será el incremento en la temperatura del cobre?

11.- Si 800 gramos de hierro se encuentran a una temperatura de 30°C, ¿cuál será su temperatura final, si se le agregan 41 850 J de energía calorífica?

12.- Una muestra desconocida de 500 gramos de absorbe 5016 joules cuando su temperatura cambia de 20°C a 30°C. Calcule el valor del calor específico de la muestra.

13.- Si se utilizan 3000 calorías para calentar 700 gramos de una sustancia desconocida, de 14°C a 45°C. ¿Cuál es el calor específico de la sustancia?

14.- Se tienen 150 gramos de infusión de café a 90°C, ¿cuánta crema a 10°C tendrá que agregársele para que la temperatura baje a 20°C? Suponga que el calor específico de la crema es de 4.102 J/Kg C y que el del café es igual que el del agua.

15.- Una pieza de metal de 75 gramos a 97°C, se deposita dentro de 300 gramos de agua a 15°C y su temperatura se incrementa hasta 18.9°C. ¿Cuál es el calor específico del metal?

16.- Un estudiante durante una excursión calienta 10 litros de agua al punto de ebullición para tomar un baño. ¿Cuánta agua fría a 15°C debe agrgar para tener una baño con agua a 25°C? (Despreciar cualquier pérdida de calor durante el intercambio térmico.

17.- Una vasija de hierro de 5 kilogramos, contiene 6 kilogramos de agua, ambos se encuentran a una temperatura de 20°C. Si se deja caer en el agua un trozo de plomo de 5 kilogramos a 95°C. ¿Cuál será la temperatura final de la mezcla?

18.- Una masa de 25 gramos de agua a 0°C se mezcla con 45 gramos de agua a 35 C, ¿cuál es la temperatura final de los 70 gramos de agua?

19.- En un calorímetro de aluminio de 100 gramos de masa, se vierten 1000 gramos de agua; ambos llegan a una temperatura de 20°C. Si se agregan 400 gramos de plomo a una temperatura de 100°C, ¿cuál será la temperatura final del sistema?

20.- Un pedazo de hielo de 0.3 kilogramos a 0°C, se coloca en un recipiente aislado que contiene un litro de agua a 20°C. Suponiendo que el intercambio calorífico sólo ocurre entre el hielo y el agua y que no existen pérdidas. ¿Cuál será la temperatura final agua?

*21.- ¿Qué cantidad de calor debe suministrarse para elevar la temperatura de 2 kilogramos de agua desde 30°C hasta 350°C?

*22.- ¿Qué cantidad de calor se requiere para cambiar 25 gramos de hielo a 0°C a vapor con una temperatura de 100°C?

*23.- ¿Qué cantidad de calor se debe suministrar para transformar un bloque de 5 kilogramos de hielo a - 5°C en agua a 35°C?

*24.- ¿Qué cantidad de calor se necesita extraer de 200 gramos de vapor de agua a 130°C para llevarlo a hielo a -15°C?

*Se recomienda realizar la gráfica de Q vs T.

Nota: Los valores de las constantes que se requieren para la solución de los problemas y que no están incluidos en el texto, se pueden encontrar en los libros de Física de la biblioteca de tu escuela.