

cantidad de calor que se transfiere en el proceso y si el sistema recibe o cede calor.

**Solución:****Datos**

$$\Delta U = 80 \text{ J}$$

$$W = -170 \text{ J}$$

$$Q = ?$$

**Fórmula**

$$\Delta U = Q - W \therefore$$

$$Q = \Delta U + W$$

**Sustitución y resultado**

$$Q = 80 \text{ J} + (-170 \text{ J}) = -90 \text{ J}$$

Nota: Si el calor tiene signo negativo, el sistema cede calor a los alrededores. Sin embargo, su energía interna aumentó ya que se efectuó un trabajo sobre él.

**EJERCICIOS PROPUESTOS**

- 1.** Determine la variación en la energía interna de un sistema al recibir 500 calorías y realizar un trabajo de 800 joules.

**Respuesta:**

$$\Delta U = 1\,300 \text{ J}$$

- 2.** Sobre un sistema se realiza un trabajo equivalente a 1 000 J y se le suministran 600 cal. Calcular cuál es la variación de su energía interna.

**Respuesta:**

$$\Delta U = 3\,520 \text{ J}$$

- 3.** Un gas está encerrado en un cilindro hermético y se le suministran 100 cal. Calcular:

- a) ¿Cuál es la variación de su energía interna?  
b) ¿Realiza trabajo?

**Respuestas:**

a)  $\Delta U = 420 \text{ J}$

b) No

- 4.** Un sistema varía su energía interna en 300 J al efectuarse un trabajo de -700 J. Determinar la cantidad de calor que se transfiere en el proceso, señalando si lo cedió o lo absorbió el sistema.

**Respuesta:**

$$Q = -400 \text{ J cedidos por el sistema}$$

- 5.** Determine la variación de la energía interna de un sistema cuando sobre él se realiza un trabajo de 50 J, liberando 20 cal al ambiente.

**Respuesta:**

$$\Delta U = -34 \text{ J}$$

**Segunda Ley de la Termodinámica**

La energía calorífica no fluye en forma espontánea de un sistema frío a otro caliente. Sólo cuando se tienen dos sistemas con diferentes temperaturas se puede utilizar la energía calorífica para producir trabajo. El calor fluye espontáneamente del sistema caliente al frío hasta que se igualan las temperaturas. Durante este proceso, parte del calor se puede transformar en energía mecánica a fin de efectuar un trabajo, pero no todo el calor puede ser convertido en trabajo mecánico.

La Primera Ley de la Termodinámica, como ya señalamos, estudia la transformación de la energía mecánica en calorífica y la del calor en trabajo, sin imponer ninguna restricción en estos cambios. Sin embargo, la Segunda Ley de la Termodinámica señala restricciones al decir que existe un límite en la cantidad de trabajo, el cual es posible obtener a partir de un sistema caliente.

Existen dos enunciados que definen la Segunda Ley de la Termodinámica, uno del físico alemán **Rudolph**

**J. E. Celsius:** el calor no puede por sí mismo, sin la intervención de un agente externo, pasar de un cuerpo frío a un cuerpo caliente. Y otro del físico inglés **William Thomson Kelvin:** es imposible construir una máquina térmica que transforme en trabajo todo el calor que se le suministra.

**Conclusiones de las leyes primera y segunda de la termodinámica**

Las leyes de la termodinámica son verdades universales, establecidas después de haberse realizado numerosos experimentos tanto cualitativos como cuantitativos.

La primera ley, conocida como Ley de la Conservación de la Energía, afirma que la energía existente en el Universo es una cantidad constante. Esta ley se confirma cuando Albert Einstein nos demuestra la relación entre materia y energía. La segunda ley tiene aplicaciones importantes en el diseño de máquinas térmicas empleadas en la transformación de calor en trabajo. También es útil para interpretar el origen del Universo, pues explica los



cambios energéticos que ha tenido y tendrá en un futuro. Predice que dentro de billones de años se producirá la llamada **muerte térmica del Universo**, la cual ocurrirá cuando toda la energía del Universo se reduzca a la de las moléculas en movimiento y toda la materia tenga la misma temperatura. Al no existir diferencias de temperatura, tampoco se producirá intercambio de calor entre los cuerpos y los seres vivos se extinguirán.

### Entropía y Tercera Ley de la Termodinámica

La **entropía** es una magnitud física utilizada por la termodinámica para medir el grado de desorden de la materia. En un sistema determinado, la entropía o estado de desorden dependerá de su energía calorífica y de cómo se encuentren distribuidas sus moléculas.

Como en el estado sólido las moléculas están muy próximas unas de otras y se encuentran en una distribución bastante ordenada, su entropía es menor si se compara con la del estado líquido, y en éste menor que en el estado gaseoso. Cuando un líquido es calentado las moléculas aumentan su movimiento y con ello su desorden, por tanto, al evaporarse se incrementa considerablemente su entropía. En general, la naturaleza tiende a aumentar su entropía, es decir, su desorden molecular.

Como resultado de sus investigaciones, el físico y químico alemán **Walther Nernst** estableció otro principio fundamental de la termodinámica llamado **Tercera Ley de la Termodinámica**; dicho principio se refiere a la entropía de las sustancias cristalinas y puras en el cero absoluto de temperatura (0 K), y se enuncia de la siguiente manera: **la entropía de un sólido cristalino puro y perfecto puede tomarse como cero a la temperatura del cero absoluto**. Por tanto, un cristal perfectamente ordenado a 0 K tendrá un valor de entropía igual a cero. Cualquier incremento de la temperatura, por encima de 0 K, causa una alteración en el arreglo de las moléculas componentes de la red cristalina, aumentando así el valor de la entropía.

### Máquinas térmicas

Las máquinas térmicas son aparatos que se utilizan para transformar la energía calorífica en trabajo mecánico. Existen tres tipos:

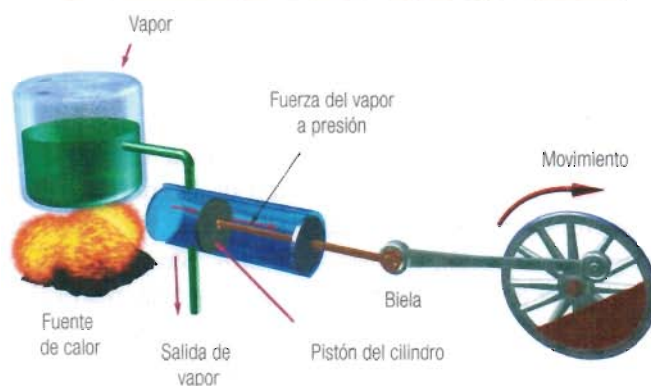
1. Máquinas de vapor.
2. Motores de combustión interna.
3. Motores de reacción.

Independientemente del tipo de máquina térmica de que se trate, su funcionamiento básico consiste en la dilatación de un gas caliente, el cual al realizar un trabajo se enfría.

### Máquinas de vapor

Cuando el agua se transforma en vapor, se expande ocupando un volumen 1 700 veces mayor que en su estado líquido. Las máquinas de vapor emplean la enorme energía producida por esta expansión para generar un trabajo. Una máquina de vapor es de combustión externa si el combustible se quema fuera de ella, calentando la caldera productora del vapor que la alimenta (**FIGURA 11.25**).

El vapor producido por la caldera se acumula a muy altas presiones, de ahí pasa al cilindro donde empuja al émbolo hacia el extremo opuesto. Al final del desplazamiento (carrera) entra vapor por este extremo, empujando al émbolo a su posición inicial. Por medio de un vástago (varilla que penetra por un extremo del cilindro), se pone en conexión el émbolo con un cigüeñal que transforma el movimiento alternativo del émbolo en giratorio. Mientras el vapor penetra y se expande con fuerza a través de un lado del émbolo, el vapor contenido en el otro extremo del cilindro se escapa por una lumbrera con dos aberturas: una para el escape y otra para la admisión del vapor. El vapor utilizado puede disiparse hacia la atmósfera, o bien, ser pasado a un condensador



**Fig. 11.25** Máquina de vapor.



a fin de que al encontrarse en estado líquido se vuelva a emplear en la caldera.

### Motores de combustión interna

Los motores de combustión interna o de explosión se llaman así porque el combustible se quema dentro del motor donde realiza su función. Estos motores aprovechan la expansión de los gases producidos por la combustión viva de una mezcla carburante en la cámara de combustión del cilindro. Los gases empujan un émbolo y debido a la utilización de una biela el movimiento de éste se transforma en movimiento giratorio del cigüeñal. Existen motores de combustión de cuatro y de dos tiempos.

En un motor de cuatro tiempos (FIGURA 11.26) su ciclo es el siguiente:

1. **Admisión.** El émbolo se mueve hacia abajo, absorbiendo una mezcla de combustible y aire que procede del carburador.
2. **Compresión.** El émbolo se desplaza hacia la parte alta del cilindro. La válvula de admisión se ha cerrado, y la mezcla de aire y combustible ya no puede escapar. Al subir el émbolo, la mezcla carburante lo comprime fuertemente en la cámara de combustión, lo cual se denomina índice de compresión. Por ejemplo: si al principio la mezcla ocupa la totalidad del cilindro, al final sólo llenará una octava parte del mismo, es decir, su índice de compresión es de 8 a 1.
3. **Explosión.** La chispa eléctrica que salta entre los electrodos de la bujía se encarga de encender e inflamar la mezcla, produciéndose así una violenta dilatación de los gases encargados de empujar el émbolo hacia abajo, y al arrastrar al cigüeñal realiza trabajo mecánico.
4. **El émbolo se eleva de nuevo en el interior del cilindro, abriéndose la válvula de escape, la cual se encuentra en la parte alta de éste. El movimiento de elevación del émbolo expulsa los gases quemados por medio de la lumbrera de escape. Cuando llega el final de la carrera, la válvula se cierra y el motor inicia nuevamente su ciclo. La apertura de las válvulas de admisión y de escape, así como la producción de la chispa en la cámara de combustión se obtienen a través de mecanismos sincronizados con el cigüeñal.**

Los motores cuyo ciclo es de dos tiempos generan potencia cada vez que el émbolo baja, esto se logra al combinar el escape, la admisión y la compresión en un solo tiempo. Además no tienen válvulas de admisión ni de escape, sino lumbreras abiertas a los lados del cilindro, las cuales son tapadas y destapadas por el émbolo en su desplazamiento hacia arriba y abajo.

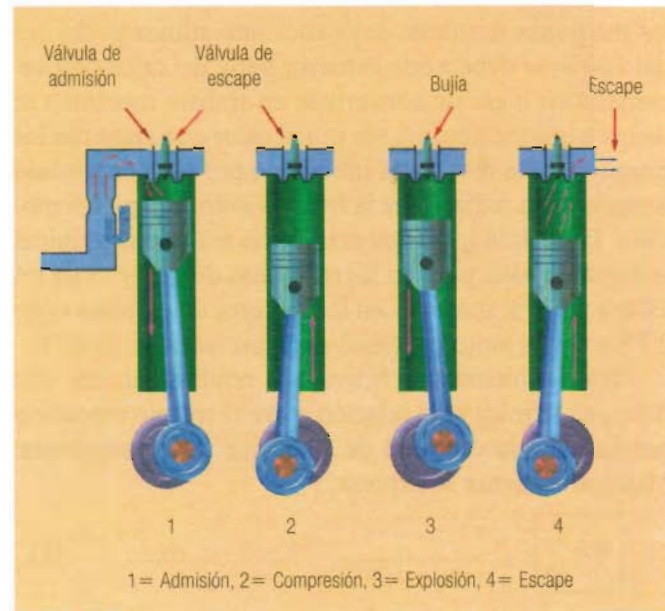


Fig. 11.26 Motor de cuatro tiempos.

Los motores Diesel, llamados de combustión pesada o de aceites pesados, se caracterizan porque no tienen sistema de encendido ni carburador. En estos motores cuando el émbolo baja aspira aire puro y al subir lo comprime fuertemente de 30 a 50 atmósferas, calentándolo a temperaturas de 500 a 600 °C. En seguida se inyecta en ese aire un chorro de combustible líquido que se pulveriza en la cámara y se inflama en forma espontánea por la alta temperatura existente. Los gases en su expansión empujan el émbolo, mismo que realizará un trabajo mecánico.

### Motores de reacción

Los motores de reacción se basan en el principio de la acción y reacción. Existen dos tipos principales de motores a reacción: los turboreactores y los cohetes.

Los turboreactores constan de un generador de gases muy calientes y de una tobera que los expelle hacia atrás en forma de chorro (acción), así impulsa al motor y al avión en el cual se encuentra instalado hacia adelante (reacción).

El motor del cohete no necesita del aire atmosférico para funcionar, pues contiene en su interior las sustancias químicas para la combustión. Los gases calientes producidos en la cámara de combustión son expelidos con gran fuerza hacia atrás (acción), de esta manera impulsan a la nave hacia adelante (reacción).

### Eficiencia de las máquinas térmicas

De acuerdo con la Segunda Ley de la Termodinámica, es imposible construir una máquina térmica que transforme en trabajo todo el calor suministrado. Esta limitación de

las máquinas térmicas, cuya eficiencia nunca podrá ser del 100%, se debe a que la mayor parte del calor proporcionado en lugar de convertirse en trabajo mecánico se disipa a la atmósfera, ya sea por el calor que arrastran los humos y gases residuales calientes o por el calor perdido a través de la radiación y la fricción entre sus partes móviles. En realidad, la eficiencia de las máquinas térmicas es bastante baja, pues en las máquinas de vapor va de un 20% a un 35% máximo, en los motores de gasolina es de 23% y en los motores Diesel es de un máximo de 40%.

Por definición: la eficiencia o rendimiento de una máquina térmica es la relación entre el trabajo mecánico producido y la cantidad de calor que se le suministra. Matemáticamente se expresa:

$$\eta = \frac{T}{Q} \dots\dots\dots (1)$$

donde:  $\eta$  = eficiencia de la máquina térmica  
 $T$  = trabajo neto producido por la máquina en calorías (cal) o joules (J)  
 $Q$  = calor suministrado a la máquina por el combustible en calorías (cal) o joules (J)

Como el trabajo neto producido por la máquina es igual a la diferencia entre el calor que se le suministra ( $Q_1$ ) y el calor que no puede aprovecharse porque se disipa en la atmósfera ( $Q_2$ ):

$$T = Q_1 - Q_2$$

donde la eficiencia se expresa:

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

o bien:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \dots\dots\dots (2)$$

Como siempre existirá una cantidad de calor que no se puede aprovechar ( $Q_2$ ) para convertirla en trabajo, la eficiencia de una máquina térmica será menor que uno. Si se desea expresar la eficiencia en porcentajes, bastará con multiplicar las ecuaciones 1 y 2 por 100.

La eficiencia de una máquina térmica se puede calcular en función de la relación que hay entre la temperatura de la fuente caliente ( $T_1$ ) y la temperatura de la fuente fría ( $T_2$ ), ambas medidas en temperaturas absolutas, es decir, en grados Kelvin (K)

donde:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \dots\dots\dots (3)$$

Fuente caliente ( $T_1$ ) es la temperatura absoluta del foco que suministra el calor para producir trabajo, y fuente fría ( $T_2$ ) es la temperatura absoluta del foco por donde se escapa el calor que no es aprovechado en trabajo.

También se puede calcular la eficiencia de una máquina térmica al dividir la potencia útil o de salida de la máquina entre la potencia total o de entrada de la misma, es decir:

$$E = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}}$$

### El funcionamiento del refrigerador

¿Ha valorado la importancia que tiene el proceso de refrigeración, mismo que permite reducir la temperatura de un espacio determinado? Sin duda alguna, el refrigerador es uno de los inventos hechos por el hombre que han facilitado mucho las tareas domésticas. ¿Pero cómo funciona? Veamos:

En un refrigerador se obtiene un enfriamiento constante por medio de la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado, en el cual se evapora y luego se condensa repitiéndose este ciclo. El sistema mecánico que se utiliza en los refrigeradores domésticos y en muchos de los aparatos de aire acondicionado es el denominado sistema de compresión.

En el refrigerador por compresión, el agente frigorífico o sustancia refrigerante suele ser el freón, que es el nombre de una marca registrada de una familia de compuestos frigoríficos, entre los que se encuentra el freón 12.

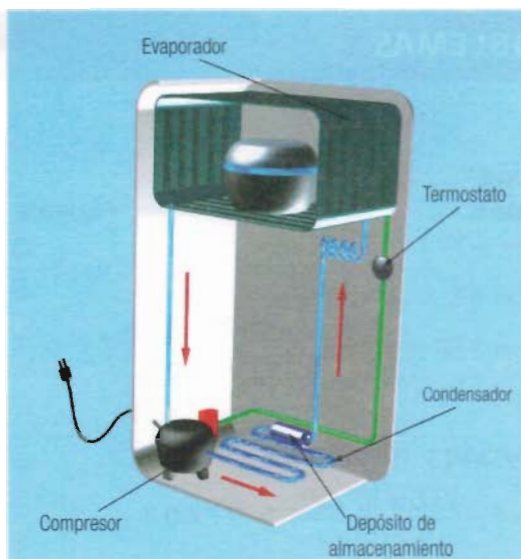
Un refrigerador también es una máquina térmica, pero su funcionamiento presenta una característica especial, ya que utiliza el trabajo de un motor para transferir calor de una fuente fría a una caliente. En otras palabras, para mantener el enfriamiento requiere de un suministro continuo de energía y un proceso para disipar el calor.

Los sistemas de compresión utilizan cuatro elementos (FIGURA 11.27) en el ciclo continuo de refrigeración, éstos son:

1. Evaporador.
2. Compresor.
3. Condensador.
4. Válvula de expansión.

Como habrá observado, el congelador del refrigerador se encuentra en la parte de arriba, ya que por las corrientes de convección, el aire caliente sube y el frío baja.





**Fig. 11.27** En un refrigerador se enfrían alimentos para evitar la proliferación de bacterias. Esto se logra al evaporar y luego condensar una sustancia refrigerante, repitiéndose el ciclo de manera constante.

### Impacto ecológico de las máquinas térmicas

El progreso de nuestra sociedad no sería posible sin los diferentes tipos de máquinas térmicas que existen. Gracias a su uso, hoy en día nos trasladamos rápidamente por tierra, aire, mares y ríos; las comunicaciones entre los cinco continentes son prácticamente instantáneas; en síntesis, disfrutamos de las múltiples aplicaciones de las máquinas y nuestra vida es más activa y placentera.

Sin embargo, no debemos olvidar que las máquinas térmicas requieren del uso de diferentes energéticos lo que provoca consecuencias como la contaminación del suelo, agua y aire.

El aire, en especial el de los grandes núcleos urbanos e industriales, contiene sustancias nocivas, incluso peligrosas, que contribuyen a la contaminación. Estas sustancias provienen de la combustión de carbón, leña e hidrocarburos. Así, la gasolina con aire en exceso pro-

duce durante su combustión bióxido de carbono y agua, pero las condiciones del motor son diferentes, más propicias para una combustión parcial. Entonces, además del bióxido de carbono y agua en forma de vapor, produce sustancias nocivas como:

- a) **Monóxido de carbono**, que es un gas venenoso.
- b) **Hidrocarburos no quemados**, que pueden causar daños al hígado, hasta cáncer.
- c) **Dióxido de azufre**, formado a partir de la pequeña cantidad de azufre que contiene el petróleo, que ocasiona enfermedades de las vías respiratorias y lluvia ácida.
- d) **Monóxido y dióxido de nitrógeno**, productos de la reacción entre nitrógeno y oxígeno a la temperatura del motor; ocasiona los mismos efectos perniciosos que el dióxido de azufre.
- e) **Humo**, constituido por pequeñas partículas de carbono en suspensión, que daña los pulmones y ennegrece la ropa, rostro, casa y edificios, entre otros.
- f) **Ozono**, gas de fórmula  $O_3$  que es una variedad del oxígeno cuya molécula consta de tres átomos en lugar de los dos que tiene la molécula de oxígeno común ( $O_2$ ). El caso del ozono es particular, ya que es beneficioso en la alta atmósfera, porque nos protege de una radiación intensa de rayos ultravioleta provenientes del Sol, pero perjudicial en la superficie por irritar las vías respiratorias. El ozono se produce aquí por la acción de la luz solar sobre el oxígeno y los gases de escape de los motores. El conjunto de ellos forman lo que se llama esmog (vocablo inglés que proviene de la contracción de las palabras *smoke* que significa humo y *fog*, niebla), que aparece como una niebla contaminante y persistente sobre los grandes núcleos urbanos (**FIGURA 11.28**).



**Fig. 11.28** El esmog producido por los vehículos de combustión interna y fábricas contamina las ciudades.



## RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

## Eficiencia térmica

1. Calcular la eficiencia de una máquina térmica a la cual se le suministran  $5.8 \times 10^8 \text{ cal}$  realizando un trabajo de  $6.09 \times 10^8 \text{ J}$ .

## Solución:

## Datos

$$\eta = ?$$

$$Q = 5.8 \times 10^8 \text{ cal}$$

$$T = 6.09 \times 10^8 \text{ J}$$

## Fórmula

$$\eta = \frac{T}{Q}$$

## Conversión de unidades

$$5.8 \times 10^8 \text{ cal} \times \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 24.36 \times 10^8 \text{ J}$$

## Sustitución y resultado

$$\eta = \frac{6.09 \times 10^8 \text{ J}}{24.36 \times 10^8 \text{ J}} = 0.25$$

$$\eta = 0.25 \times 100 = 25\%$$

2. Calcular en joules el trabajo que producirá una máquina térmica cuya eficiencia es del 22%, al suministrarle  $4.5 \times 10^3 \text{ cal}$ .

## Solución:

## Datos

$$T = ?$$

$$\eta = 22\%$$

$$Q = 4.5 \times 10^3 \text{ cal}$$

## Fórmula

$$\eta = \frac{T}{Q} \therefore$$

$$T = \eta Q$$

## Conversión de unidades

$$4.5 \times 10^3 \text{ cal} \times \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 18.9 \times 10^3 \text{ J}$$

## Sustitución y resultado

$$T = 0.22 \times 18.9 \times 10^3 \text{ J} = 4.158 \times 10^3 \text{ J}$$

3. ¿Cuál es la eficiencia de una máquina térmica a la que se le suministran  $3.8 \times 10^4 \text{ cal}$  de las cuales  $2.66 \times 10^4 \text{ cal}$  se pierden por transferencia de calor al ambiente? Calcular también la cantidad de trabajo producida en joules.

## Solución:

## Datos

$$\eta = ?$$

$$Q_1 = 3.8 \times 10^4 \text{ cal}$$

$$Q_2 = 2.66 \times 10^4 \text{ cal}$$

$$T = ?$$

## Fórmula

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

$$T = Q_1 - Q_2$$

## Sustitución y resultados

$$\eta = 1 - \frac{2.66 \times 10^4 \text{ cal}}{3.8 \times 10^4 \text{ cal}} = 1 - 0.7 = 0.3$$

$$\eta = 0.3 \times 100 = 30\%$$

$$T = 3.8 \times 10^4 \text{ cal} - 2.66 \times 10^4 \text{ cal}$$

$$= 1.14 \times 10^4 \text{ cal}$$

$$T = 1.14 \times 10^4 \text{ cal} \times \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 4.788 \times 10^4 \text{ J}$$

4. En una máquina térmica se emplea vapor producido por la caldera a  $240^\circ\text{C}$ , mismo que después de ser utilizado para realizar trabajo es expulsado al ambiente a una temperatura de  $110^\circ\text{C}$ . Calcular la eficiencia máxima de la máquina expresada en porcentaje.

## Solución:

## Datos

$$\eta = ?$$

$$T_1 = 240^\circ\text{C} + 273$$

$$= 513 \text{ K}$$

$$T_2 = 110^\circ\text{C} + 273$$

$$= 383 \text{ K}$$

## Fórmula

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

## Sustitución y resultado

$$\eta = 1 - \frac{383 \text{ K}}{513 \text{ K}} = 1 - 0.75 = 0.25$$

$$\eta = 0.25 \times 100 = 25\%$$

5. Determinar la temperatura en  $^\circ\text{C}$  de la fuente fría en una máquina térmica cuya eficiencia es del 33% y la temperatura en la fuente caliente es de  $560^\circ\text{C}$ .

**Solución:****Datos**

$T_2 = ?$

$\eta = 33\%$

$$T_1 = 560\text{ }^\circ\text{C} + 273$$

$$= 833\text{ K}$$

**Fórmula**

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

despeje por pasos

$$\frac{T_2}{T_1} = 1 - \eta$$

$$T_2 = T_1(1 - \eta)$$

**Sustitución y resultado**

$$T_2 = 833\text{ K}(1 - 0.33)$$

$$= 833\text{ K} \times 0.67$$

$$= 558.11\text{ K}$$

$$= 558.11\text{ K} - 273$$

$$= 285.11\text{ }^\circ\text{C}$$

**EJERCICIOS PROPUESTOS**

1. Determinar la eficiencia de una máquina térmica que recibe  $6.9 \times 10^6\text{ cal}$ , realizando un trabajo de  $8.98 \times 10^6\text{ J}$ .

**Respuesta:**

$$\eta = 0.31, \text{ o bien, } 31\%$$

2. Determinar en joules el trabajo producido por una máquina térmica con una eficiencia de 20% cuando se le suministran  $8.7 \times 10^5$  calorías.

**Respuesta:**

$$T = 7.308 \times 10^5\text{ J}$$

3. A una máquina térmica se le suministran  $2.5 \times 10^4\text{ cal}$  de las cuales  $1.58 \times 10^4\text{ cal}$  se disipan en la atmósfera.

**Calcular:**

- a) ¿Cuál es su eficiencia?  
b) ¿Qué cantidad de trabajo produce en joules?

**Respuestas:**

a)  $\eta = 0.368$ , o bien, 36.8%

b)  $T = 3.86 \times 10^4\text{ J}$

4. Calcular la eficiencia máxima de una máquina térmica que utiliza vapor a  $450\text{ }^\circ\text{C}$  y lo expulsa a  $197\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Respuesta:**

$$\eta = 0.35, \text{ o bien, } 35\%$$

5. Determinar la temperatura en  $^\circ\text{C}$  de la fuente fría en una máquina térmica que trabaja con una eficiencia de 25% y su temperatura en la fuente caliente es de  $390\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Respuesta:**

$$T_2 = 497\text{ K} = 224\text{ }^\circ\text{C}$$

**Fuentes de energía calorífica**

Existen varias fuentes de energía calorífica, pero nuestra principal fuente natural es el Sol. La energía radiante del Sol se debe a las reacciones nucleares que se producen en su interior. Actualmente se aprovecha esa energía calorífica para la calefacción de agua destinada al uso doméstico, como en algunos edificios, y también para el funcionamiento de diversos tipos de motores provistos de celdas solares (leer la sección 6 de esta unidad: Energía solar, su medida y transformación).

Otro tipo de energía térmica se encuentra en el subsuelo terrestre. En algunos lugares es tan alta la temperatura cerca de la superficie, que se producen chorros de agua caliente y géisers (surtidores de agua caliente que

brotan del suelo en forma intermitente). En varios países, incluido el nuestro, estos fenómenos se aprovechan para producir energía mecánica a partir de la llamada energía geotérmica, misma que se encuentra aún en investigación, pero con promesas muy alentadoras.

En la actualidad, la mayor cantidad de energía utilizada por la humanidad proviene de la combustión de la materia, tal es el caso de la combustión del petróleo, gasolina, gas, carbón y leña. Lamentablemente se desperdicia un valioso recurso natural no renovable como lo es el petróleo pues se quema a fin de producir calor. Es de esperarse que en un tiempo breve el hombre encuentre la manera de utilizar a gran escala y en forma rentable la



energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y mecánica de los mares, en lugar de contaminar la atmósfera quemando petróleo, el cual debe cuidarse para que las generaciones futuras lo aprovechen en la producción de plásticos, fibras sintéticas y, posiblemente, también en alimentos.

Mención especial requiere el calor obtenido por medio de la **energía nuclear**, cuyo origen se debe a la energía que mantiene unidas las partículas en el núcleo de los átomos, la cual es liberada en forma de energía calorífica y radiante cuando se produce una reacción de **fusión** caracterizada por la unión de dos núcleos ligeros para formar uno mayor. O bien, si se produce una reacción de **fisión** al desintegrarse el núcleo de un elemento de peso atómico elevado. En nuestros días se da un gran impulso a la energía nuclear y cada día se instalan más plantas nucleares con el objetivo de producir energía eléctrica.

En el estado de Veracruz se encuentra la planta nuclear de Laguna Verde, misma que aumentará la producción de energía eléctrica. Sin embargo, los riesgos de las plantas nucleares son muy grandes y una explosión en alguno de los reactores puede provocar serios problemas a los habitantes de la localidad, como los sucedidos en Estados Unidos de América, Inglaterra y en abril de 1986 en la planta nuclear de Chernobyl en la Comunidad de Estados Independientes (antes URSS).

### Poder calorífico de algunos combustibles

Debido a la importancia de varios combustibles, que se caracterizan por arder con desprendimiento de calor cuando se combinan con el oxígeno, revisaremos a continuación algunos de ellos, así como el valor de su **poder calorífico**.

- Leña.** Se obtiene de árboles y arbustos partidos en trozos. Es el combustible más antiguo.
- Carbón.** Es un mineral muy importante, pues se emplea como combustible en algunas fábricas. Su calor produce vapor de agua, necesario para mover las máquinas o para impulsar las locomotoras de un ferrocarril. El carbón mineral (**FIGURA 11.29**) se usa en plantas termoeléctricas, en la fabricación de acero y para elaborar productos como la goma sintética y los tintes. El carbón se formó en la Tierra hace millones de años, debido a la putrefacción de musgos y helechos gigantes en los pantanos prehistóricos. Existen tres tipos de carbón: antracita, hulla y lignito.
- Petróleo.** Es un aceite mineral con un gran valor para la humanidad, pues la vida moderna gira alrededor de este valioso recurso natural no renovable. Si se usa como combustible posibilita



**Fig. 11.29** El carbón mineral se formó en la Tierra hace millones de años, debido a la putrefacción de musgos y helechos gigantes en los pantanos prehistóricos.

el funcionamiento de numerosas fábricas. Como materia prima, es el origen de una gran cantidad de productos: plásticos, adhesivos, abonos, gomas, disolventes, detergentes, fibras sintéticas, resinas sintéticas, lociones, lápices labiales, asfaltos para carreteras, etcétera. Por su enorme importancia se le denomina "oro negro".

Al igual que el carbón mineral y el gas natural (metano), el petróleo se formó de la descomposición durante millones de años de restos de antiguos organismos vivos, denominados **fósiles**. El origen de la palabra petróleo proviene del latín *petroleum*, compuesto de *petra*, piedra, y *oleum*, aceite. El petróleo se localiza en las entrañas de la Tierra, ya sea del desierto o del mar. Algunos depósitos de petróleo no se encuentran muy alejados de tierra firme, en la denominada plataforma continental, o sea, relativamente cerca de la costa, como los importantes yacimientos en el Golfo de México y el Golfo Pérsico (**FIGURA 11.30**).

- Gas natural y gas butano.** El gas natural fluye de los yacimientos en potentes chorros y se transporta a grandes distancias a través de gasoductos, o bien se licua a altas presiones y se transporta en barcos cisterna llamados metaneros. El **gas natural** o **metano** es un gas incoloro y tiene por fórmula  $\text{CH}_4$ . Es el más simple de los compuestos orgánicos y muy abundante en la naturaleza. La materia orgánica en descomposición lo produce, tal es el caso del estiércol, aguas estancadas, etcétera. El **gas butano** o **gas LP** cuyas siglas corresponden a licuado del petróleo, se vende de manera





**Fig. 11.30** El petróleo se localiza en las entrañas de la Tierra, ya sea en el desierto o en el mar.

comercial en tanques de acero de 20, 30 y 45 kg, también se surte por medio de camiones pipa a tanques estacionarios (FIGURA 11.31). Como el gas butano no tiene olor y como es altamente tóxico para el ser humano o los animales que lo inhalan durante un tiempo prolongado, se le agrega una sustancia fuertemente olorosa, la cual permite detectar cualquier fuga para así evitar explosiones o intoxicaciones de fatales consecuencias.

**Poder calorífico**

Después de haber efectuado el estudio de algunos de los combustibles más importantes por su amplio consumo, cabe señalar lo siguiente: la característica principal de un combustible es su poder calorífico, el cual se expresa de acuerdo con el número de kilocalorías generadas por la combustión completa de un kilogramo de dicho combustible. En el CUADRO 11.7 se listan los valores del poder calorífico de algunos combustibles de amplio uso en nuestros días.



**Fig. 11.31** El gas usado en los hogares es el butano. Se surte en tanques móviles o en camiones pipa que llevan un letrero que dice: Gas LP, cuyo significado es gas licuado del petróleo.

**Degradación de la energía**

En principio todas las formas de energía son equivalentes; de acuerdo con la Ley de la Conservación de la Energía, ésta no se crea ni se destruye sino únicamente se transforma. Aunque es posible transformar continua y totalmente el trabajo en calor, sólo una parte de la energía calorífica puede ser transformada en trabajo mediante el empleo de las máquinas térmicas. En virtud de que la energía de un sistema al someterse a transformaciones sucesivas termina por convertirse en calor y parte de éste ya no puede utilizarse para producir trabajo, decimos que cuando la energía se convierte en calor se ha degradado.

Cuadro 11.7 PODER CALORÍFICO DE ALGUNOS COMBUSTIBLES			
Combustible	Poder calorífico expresado en		
	kcal/kg	kJ/kg	MJ/kg
Alcohol de 95°	6 750	28 350	28.35
Carbón de leña	7 500	31 500	31.50
Gas butano	11 000	46 200	46.20
Gas natural	10 000	42 000	42.00
Gasolina	11 000	46 200	46.20
Leña seca	3 000	12 600	12.60
Petróleo de alumbrado	10 600	44 520	44.52



## Actividad experimental

18

### CALOR CEDIDO Y ABSORBIDO POR LOS CUERPOS. USO DEL CALORÍMETRO

#### Objetivo

Determinar experimentalmente el calor específico del hierro, utilizando un calorímetro de agua.

#### Consideraciones teóricas

Cuando un cuerpo caliente se pone en contacto con uno frío se da un intercambio de energía térmica del cuerpo caliente al frío hasta igualar su temperatura. En un intercambio de calor, la cantidad del mismo permanece constante, pues el calor transmitido por uno o más objetos calientes será el que reciba uno o más objetos fríos. Esto origina la llamada **Ley del Intercambio de Calor**, que dice: en cualquier intercambio de calor efectuado el calor cedido es igual al absorbido. En otras palabras: **calor perdido = calor ganado**.

Cuando se realizan experimentos cuantitativos de intercambio de calor en el laboratorio, se deben evitar al máximo las pérdidas de éste a fin de que nuestros cálculos sean confiables. Por ello, es común utilizar un calorímetro. El más usual es el de agua, el cual consta de un recipiente externo de aluminio que en su interior tiene otro del mismo material, aislado para evitar pérdidas de calor. Tiene además un agitador, un termómetro y una tapa [FIGURA 11.32(b)].

El calor específico de una sustancia se define en términos prácticos de la siguiente manera: es la cantidad de calor que necesita un gramo de una sustancia para elevar su temperatura un grado Celsius. De donde:

$$C_e = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} \text{ en cal/g } ^\circ\text{C}$$

Al despejar  $\Delta Q$  tenemos:

$$\Delta Q = mC_e\Delta T$$

#### Material empleado

Un calorímetro de agua, una balanza granataria, un vaso de precipitados de 250 cm<sup>3</sup>, un soporte completo, un mechero de Bunsen, un termómetro, un trozo de hierro, hilo y agua.

#### Desarrollo de la actividad experimental

1. Ponga 300 cm<sup>3</sup> de agua, o sea 300 g de ella, en el recipiente interno de aluminio del calorímetro y registre cuál es la temperatura inicial ( $T_0$ ) tanto del agua como del recipiente interno. Anótela en su cuaderno.
2. Amarre con un hilo el trozo de hierro para poder cargarlo. Encuentre con la balanza la masa del trozo de hierro, sustancia a la cual se le determinará su calor específico. Anote el valor de la masa en su cuaderno.
3. En un vaso de precipitados con agua, como se ve en la FIGURA 11.32a, ponga a calentar el trozo de hierro a la temperatura que usted elija, por ejemplo 90 °C. Ello se logra midiendo la temperatura del agua que se calienta en el vaso de precipitados, cuando el agua alcance los 90 °C significará que el trozo de hierro sumergido en el agua también tiene 90 °C de temperatura. Anote en su cuaderno esta temperatura que será la inicial del hierro ( $T_{Fe}$ ).
4. Una vez calentado el trozo de hierro a la temperatura deseada (90 °C) y para evitar que se enfríe, introdúzcalo inmediatamente en el agua que contiene el recipiente interno del calorímetro, tomándolo del hilo que tiene atado.
5. Agite el agua contenida en el recipiente interno del calorímetro hasta que la temperatura marcada por el termómetro no varíe, ello indicará la existencia de

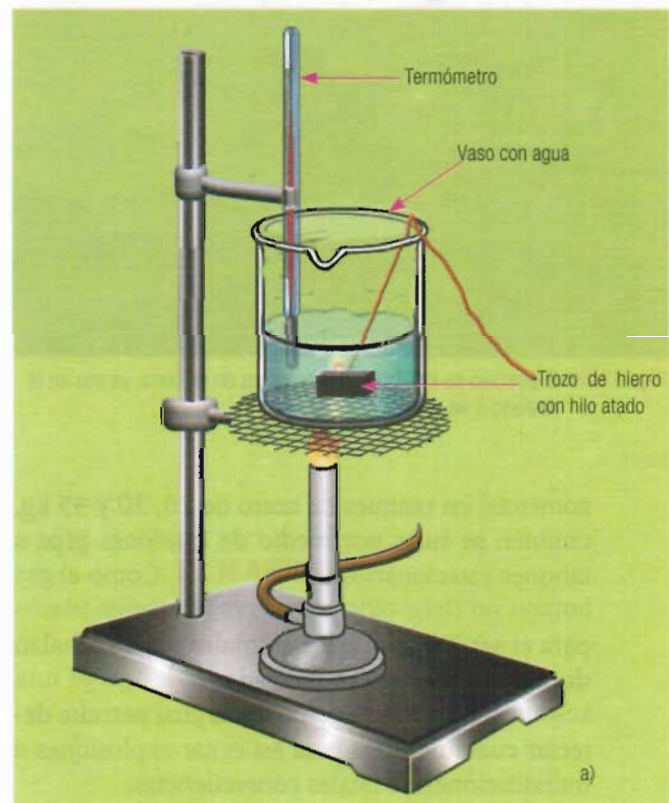


Fig. 11.32a Vemos cómo se calienta el trozo de hierro a una determinada temperatura.



un equilibrio térmico en todas las partes. Mida el aumento de la temperatura en el agua del calorímetro, que será la misma temperatura del recipiente interno del calorímetro hecho de aluminio y que tendrá el trozo de hierro una vez que ha cedido calor al agua y al recipiente interno. Esta temperatura será la final del sistema, hierro, agua, aluminio ( $T_f$ ). Anótela en su cuaderno.

6. Determine el calor específico del hierro, recordando lo siguiente: calor perdido por el hierro = calor ganado por el agua y el aluminio:

$$\Delta Q_{\text{Fe}} = \Delta Q_{\text{H}_2\text{O}} + \Delta Q_{\text{Al}}$$

Como  $\Delta Q = mCe\Delta T$  tenemos:

$$m_{\text{Fe}}c_{\text{Fe}}(T_{\text{Fe}} - T_f)$$

$$= m_{\text{H}_2\text{O}}c_{\text{H}_2\text{O}}(T_f - T_0) + m_{\text{Al}}c_{\text{Al}}(T_f - T_0)$$

Sustituya valores y despeje el valor del calor específico del hierro.

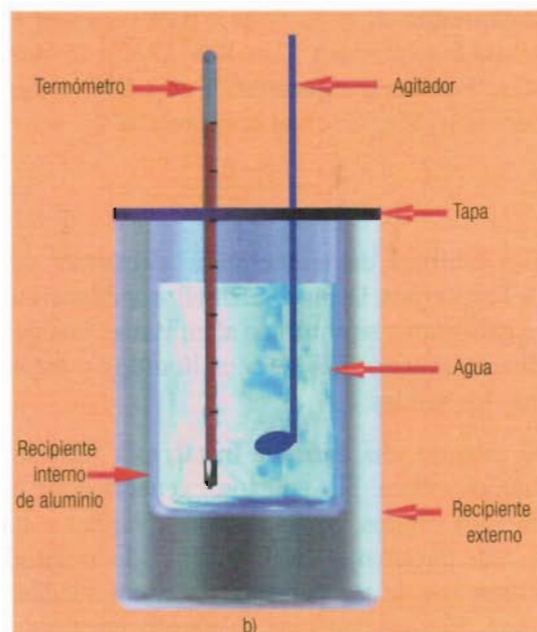


Fig. 11.32b Tenemos listo al calorímetro para recibir de inmediato el trozo de hierro previamente calentado.

## CUESTIONARIO

- ¿Por qué se calienta el trozo de hierro en un vaso con agua que recibe calor de un mechero y no directamente? Explique.
- ¿Cómo evitó pérdidas de calor en su experimento? Explique.
- ¿Cómo está constituido un calorímetro de agua? Descríbalo y dibújelo.
- ¿Cuál es la Ley del Intercambio de Calor? Escríbala y diga si se demostró esta ley en el experimento.
- ¿Cuándo decimos que una sustancia es buena conductora del calor y cuándo que es mala?
- ¿Cuál es el calor específico del hierro encontrado experimentalmente? ¿Cómo es su valor leído en el cuadro 11.3? Si hay diferencia entre los dos valores, ¿qué explicación podría dar a esa diferencia?
- ¿Quién cedió calor y quién o quiénes lo absorbieron en el experimento?
- Defina con sus propias palabras el calor específico de una sustancia.

## Resumen

- La *temperatura* es la magnitud física que indica qué tan caliente o fría es una sustancia respecto a un cuerpo que se toma como base o patrón. El *calor* es energía en tránsito y siempre fluye de cuerpos de mayor temperatura a los de menor temperatura.
- Cuando un cuerpo está muy caliente quiere decir que su temperatura es alta, por ello, tiene un *potencial térmico* alto, en consecuencia será capaz de ceder calor o energía calorífica a otro cuerpo con potencial térmico más bajo.
- Para medir la temperatura se usa el *termómetro*. El más común es el de mercurio cuyo rango va de  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $357\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Los termómetros de alcohol registran temperaturas hasta de  $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Si la temperatura que se desea medir es alta, se emplean los termómetros metálicos.
- En la medición de la temperatura actualmente se usan como unidades en el SI al grado Kelvin (K), en el CGS al grado Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) y el Sistema Inglés, al grado Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). Para convertir  $^{\circ}\text{C}$  a K se usa



la expresión:  $K = ^\circ C + 273$ ; para convertir K a  $^\circ C$  se usa la expresión:  $^\circ C = K - 273$ ; para convertir  $^\circ C$  a  $^\circ F$  se usa la expresión:  $^\circ F = 1.8 ^\circ C + 32$ ; para convertir  $^\circ F$  a  $^\circ C$  se usa la expresión:

$$^\circ C = \frac{^\circ F - 32}{1.8}$$

- Los cambios de temperatura afectan el tamaño de los cuerpos. La mayoría de ellos se *dilatan* cuando se calientan y se contraen al enfriarse. Los gases se dilatan mucho más que los líquidos y éstos más que los sólidos.
- Al calentar una barra de metal, ésta sufre una *dilatación cúbica*. Sin embargo, generalmente en los cuerpos sólidos, como alambres, varillas o barras, lo más importante es el aumento de longitud que sufren con la temperatura, es decir, su *dilatación lineal*. El coeficiente de dilatación lineal es el incremento de longitud que experimenta una varilla de determinada sustancia, cuando su temperatura se eleva un grado Celsius y su longitud inicial es de un metro. Para calcular el coeficiente de dilatación lineal se emplea la expresión:

$$\alpha = \frac{L_f - L_0}{L_0(T_f - T_0)}$$

- Como la temperatura ambiente varía en forma continua durante el día, en la construcción de vías de ferrocarril, puentes de acero y en general en cualquier estructura rígida, se deben dejar huecos o espacios libres que permita a los materiales dilatarse libremente evitando con ello rupturas o deformaciones.
- La *dilatación cúbica* implica el aumento de un cuerpo en todas sus dimensiones. El coeficiente de dilatación cúbica es el incremento de volumen que experimenta un cuerpo de determinada sustancia cuyo volumen es igual a la unidad, al elevar un grado Celsius su temperatura. Por lo general, este coeficiente se emplea para los líquidos.
- El agua presenta una *dilatación irregular*, pues un gramo de ésta a  $0 ^\circ C$  ocupa un volumen de  $1.00012 \text{ cm}^3$ ; si se calienta, en lugar de dilatarse se contrae, por lo que a la temperatura de  $4 ^\circ C$  el agua tiene su volumen mínimo de  $1.000 \text{ cm}^3$  y alcanza su densidad máxima. En realidad, durante el invierno la vida de peces y otras especies acuáticas es posible gracias a la dilatación irregular del agua.

10. El *coeficiente de dilatación cúbica* es igual para todos los gases. Cualquier gas, al ser sometido a una presión constante, por cada grado Celsius que cambie su temperatura, variará  $1/273$  el volumen ocupado a  $0 ^\circ C$ .

11. El calor o energía térmica se propaga siempre de los cuerpos calientes a los fríos de tres diferentes maneras: a) *Conducción*, que es la forma de propagación del calor a través de un cuerpo sólido debido al choque entre sus moléculas. b) *Convección*, es la propagación del calor en los líquidos y gases mediante la circulación de las masas calientes hacia arriba y las masas frías hacia abajo, provocándose las llamadas corrientes de convección. c) *Radiación*, es la propagación del calor por medio de ondas electromagnéticas que se esparcen, aun en el vacío, a una velocidad de 300 mil km/s.

12. La energía radiante del Sol se genera por reacciones termonucleares de fusión. La intensidad de la radiación solar representa la potencia de la radiación recibida del Sol en un área de  $1 \text{ m}^2$ . Su valor es de  $0.98 \text{ kW/m}^2$ .

13. La energía radiante que nos llega del Sol se aprovecha para: calentar agua, en el funcionamiento de diversos tipos de motores provistos de celdas solares, destiladores solares, desecadores solares, baterías solares.

14. El calor es una de las manifestaciones de la energía y, por tanto, las unidades para medirlo son las mismas que usa el trabajo. Para medir la energía en el SI se usa el joule, en el CGS el ergio. En forma práctica se usan la *caloría* y el *BTU*. La *caloría* es la cantidad de calor aplicada a un gramo de agua para elevar su temperatura un grado Celsius. Un *BTU* es la cantidad de calor aplicada a una libra de agua ( $454 \text{ g}$ ) a fin de que eleve su temperatura un grado Fahrenheit.

$$1 \text{ BTU} = 252 \text{ cal}; 1 \text{ kcal} = 1\,000 \text{ calorías};$$

$$1 \text{ joule} = 0.24 \text{ cal}; 1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J}$$

15. La capacidad calorífica de una sustancia es la relación que hay entre la cantidad de calor recibida  $\Delta Q$  y su correspondiente elevación de temperatura  $\Delta T$ , donde:  $C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$  mientras más alto sea el valor de la capacidad calorífica de una sustancia, requerirá mayor cantidad de calor para elevar su temperatura.



16. El *calor específico* de una sustancia se define como: la cantidad de calor que necesita un gramo de una sustancia para elevar su temperatura un grado Celsius. La expresión matemática para calcular el calor específico de una sustancia es:  $C_e = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$  en cal/g °C. De esta expresión se puede despejar al calor  $\Delta Q$ , donde:  $\Delta Q = mC_e\Delta T$ .
17. Cuando una sustancia se funde, o bien se evapora, absorbe cierta cantidad de calor llamada *calor latente*, que quiere decir oculto, toda vez que existe aunque no se eleve la temperatura y mientras dure la fusión o la evaporación la temperatura no sufrirá ningún cambio.
18. El *calor latente de fusión* de una sustancia es la cantidad de calor necesaria para cambiar un gramo de sólido a un gramo de líquido al mantener constante su temperatura:  $\lambda_f = \frac{Q}{m}$ . El calor latente de fusión es igual al calor latente de solidificación. El calor latente de vaporización de una sustancia es la cantidad de calor que se requiere para cambiar un gramo de líquido en ebullición a un gramo de vapor, al conservar constante su temperatura  $\lambda_v = \frac{Q}{m}$ . El calor latente de vaporización tiene un valor igual al calor latente de condensación de una sustancia.
19. La *Ley del Intercambio de Calor* dice: en cualquier intercambio de calor efectuado el calor cedido es igual al calor absorbido. En otras palabras: calor perdido = calor ganado.
20. Todo lo que nos rodea está formado por materia. Aún no es posible dar una definición satisfactoria de qué es la materia, pues lo único que se conoce de ella es su estructura. Los constituyentes elementales de la materia son: protones, electrones y neutrones. Estas partículas generalmente se encuentran asociadas formando átomos. Un átomo es la partícula más pequeña que entra en combinación química. La materia se presenta en cuatro estados de agregación molecular: *sólido, líquido, gaseoso y plasma*.
21. Un gas se caracteriza porque sus moléculas están muy separadas unas de otras, por tanto, no tienen forma definida y ocupan todo el volumen del recipiente que los contiene. Son fluidos como los líquidos. Todos los gases pueden pasar al estado líquido siempre y cuando se les comprima a una temperatura inferior a su temperatura crítica.
22. Un *gas ideal* es un gas hipotético que permite hacer consideraciones prácticas para facilitar algunos cálculos matemáticos, pues se supone que contiene un número pequeño de moléculas, por ello su densidad es baja y su atracción intermolecular es nula.
23. La *Teoría Cinética de los gases* considera lo siguiente: un mismo gas está constituido por moléculas de igual masa y tamaño, pero serán diferentes si se trata de gases distintos. Las moléculas de un gas encerrado en un recipiente se encuentran en constante movimiento, debido a ello chocan entre sí o contra las paredes del recipiente que los contiene. Las fuerzas de atracción intermoleculares son despreciables porque la distancia entre molécula y molécula es grande comparada con sus diámetros moleculares, y el volumen ocupado por las moléculas de un gas es despreciable en comparación con el volumen total.
24. *Ley de Boyle*: a una temperatura constante y para una masa dada de un gas, el volumen del gas varía de manera inversamente proporcional a la presión absoluta que recibe. Por tanto:  $PV = k$ , o bien,  $P_1V_1 = P_2V_2$ .
25. *Ley de Charles*: a una presión constante y para una masa dada de un gas, el volumen del gas varía de manera directamente proporcional a su temperatura absoluta. Por tanto:  $\frac{V}{T} = k'$ , o bien,  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ .
26. *Ley de Gay-Lussac*: a un volumen constante y para una masa dada de un gas, la presión absoluta que recibe el gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta. Por tanto:
- $$\frac{P}{T} = k''$$
- , o bien,
- $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
- .
27. *Ley General del Estado Gaseoso*: para una masa dada de un gas, su relación  $\frac{PV}{T}$  siempre será constante. Por tanto:
- $$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$
28. La ecuación  $PV = nRT$  es una de las más usadas en fisicoquímica, ya que permite realizar varios cálculos al conocer el valor de  $R$  llamada constante universal de los gases y cuyo valor es  $0.0821 \text{ atm l/mol K}$  equivalente a  $8.32 \text{ J/mol K}$ . La letra  $n$  representa el número de moles de un gas que se



calcula dividiendo su masa entre su peso molecular, es decir:

$$n = \frac{m}{PM}$$

- 29.** La *termodinámica* es la rama de la Física encargada de estudiar la transformación del calor en trabajo y viceversa. Un sistema termodinámico es una porción de materia que separamos del Universo a fin de poderla estudiar. Para ello, la aislamos de los alrededores por medio de un límite o frontera. La frontera de un sistema puede estar constituida con paredes diatérmicas o paredes adiabáticas. Una pared diatérmica es la que permite la interacción térmica del sistema con los alrededores. Una pared adiabática no permite esa interacción.
- 30.** Un proceso térmico es *adiabático* cuando el sistema no cede ni recibe calor, por lo que se realiza a calor constante; y es *no adiabático* si el sistema interacciona térmicamente con los alrededores.
- 31.** *Equilibrio termodinámico* entre dos sistemas significa que tienen la misma temperatura.
- 32.** El *punto triple* de una sustancia es aquel en el cual sus tres fases (sólido, líquido y gaseoso) coexisten en equilibrio termodinámico.
- 33.** La *energía interna* de un sistema se define como la suma de las energías cinética y potencial de las moléculas individuales de dicho sistema. En general, cuanto mayor sea la temperatura de un sistema, mayor será su energía interna. Sin embargo, los valores absolutos de la energía interna de las moléculas no se pueden determinar, motivo por el cual sólo se conoce la variación que sufre la energía del sistema mediante la expresión:
- $$\Delta U = U_f - U_i$$
- 34.** *Ley Cero de la Termodinámica:* la temperatura es una propiedad que tiene cualquier sistema termodinámico y existirá equilibrio termodinámico entre dos sistemas cualesquiera, si su temperatura es la misma.
- 35.** El inglés James P. Joule demostró que siempre que se realiza una cierta cantidad de trabajo se produce una cantidad equivalente de calor. Además estableció el principio llamado equivalente mecánico del calor, en el cual se demuestra que por cada joule de trabajo se producen 0.24 calorías y cuando una caloría de energía térmica se convierte en trabajo se

obtienen 4.2 joules. Por tanto:  $1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J}$  y  $1 \text{ J} = 0.24 \text{ cal}$ .

- 36.** Cuando un gas se comprime o expande a presión constante (*proceso isobárico*), el trabajo realizado se calcula con la expresión:  $T = P (V_f - V_i)$ , o bien,  $T = P\Delta V$ . Al realizar un trabajo por los alrededores sobre el sistema, el signo del trabajo es negativo. En la expansión de un gas es el sistema el que efectúa trabajo sobre los alrededores, por lo que el signo es positivo. Cuando en un proceso el volumen del sistema permanece constante (*proceso isocórico*), no se realiza ningún trabajo por el sistema ni sobre éste, pues  $\Delta V = 0$  y por tanto:  $T = P\Delta V = 0$ .
- 37.** La *Primera Ley de la Termodinámica* dice: la variación en la energía interna de un sistema es igual a la energía que transfieren o reciben los alrededores en forma de calor y de trabajo, por ello, la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Matemáticamente esta ley se expresa como:  $\Delta U = Q - W$ . El valor de  $Q$  es positivo cuando entra calor al sistema y negativo si sale de él. El valor de  $W$  es positivo si el sistema realiza trabajo y negativo si se lleva a cabo sobre él.
- 38.** La *Segunda Ley de la Termodinámica* señala restricciones al decir que existe un límite en la cantidad de trabajo, el cual se puede obtener de un sistema caliente. Existen dos enunciados que definen esta ley, uno del físico alemán *Clausius*: el calor no puede por sí mismo, sin la intervención de un agente externo, pasar de un cuerpo frío a uno caliente; y el otro de Kelvin: es imposible construir una máquina térmica que transforme en trabajo todo el calor que se le suministra.
- 39.** La *entropía* es una magnitud física utilizada por la termodinámica para medir el grado de desorden de la materia. En un sistema determinado la entropía o estado de desorden dependerá de su energía térmica y de cómo se encuentren distribuidas sus moléculas. En el estado sólido la entropía es menor si se compara con la del estado líquido, y en éste menor que en el estado gaseoso.
- 40.** La *Tercera Ley de la Termodinámica*, establecida por el físico y químico alemán Nerst, se enuncia de la siguiente manera: la entropía de un sólido cristalino puro y perfecto puede tomarse como cero, a la temperatura del cero absoluto.
- 41.** Las *máquinas térmicas* son aparatos que se utilizan para transformar la energía calorífica en trabajo



mecánico. Existen tres tipos principales de máquinas térmicas: **a) máquinas de vapor**, **b) motores de combustión interna**, **c) motores de reacción**. Independientemente del tipo de máquina térmica, su funcionamiento básico consiste en la dilatación de un gas caliente que después de realizar un trabajo se enfría.

42. La eficiencia de una máquina térmica jamás será de un 100%, pues de acuerdo con la Segunda Ley de la Termodinámica es imposible construir una máquina térmica que transforme en trabajo todo el calor que se le suministra. Por definición, la eficiencia o rendimiento de una máquina térmica es la relación entre el trabajo mecánico producido y la cantidad de calor suministrada. Matemáticamente se expresa:

$$\eta = \frac{W}{Q}$$

Como  $W = Q_1 - Q_2$  tenemos:

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

43. La eficiencia puede ser calculada en función de la relación existente entre la temperatura de la fuente caliente ( $T_1$ ) y la temperatura de la fuente fría ( $T_2$ ), ambas medidas en temperaturas absolutas, es decir, en Kelvin, donde:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

44. También se puede calcular la eficiencia de una máquina térmica al dividir la potencia útil o de salida de la máquina entre la potencia total o de entrada de la misma, es decir:

$$E = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}}$$

45. Un refrigerador es una máquina térmica, pero su funcionamiento presenta una característica especial, ya que utiliza el trabajo de un motor para transferir calor de una fuente fría a una caliente.

46. En virtud de que las máquinas térmicas requieren para su funcionamiento del uso de diferentes energéticos, el ser humano al utilizarlas, contamina el suelo, agua y aire.

47. Hay varias fuentes de energía térmica, pero nuestra principal fuente natural es el *Sol*. En la actualidad se aprovecha su energía para suministrar agua caliente destinada al uso doméstico, en algunos edificios y para el funcionamiento de diversos tipos de motores provistos de celdas solares. Se espera que, en tiempo breve, el hombre encuentre la manera de utilizar a gran escala y en forma rentable, la energía del viento (*eólica*), *hidráulica*, *geotérmica* y *mecánica de los mares*. Actualmente se obtiene energía térmica por medio de la energía nuclear, y cada día se instalan más *plantas nucleares* con el fin de producir energía eléctrica.

48. Algunos combustibles de mayor uso y que se caracterizan por arder con desprendimiento de calor cuando se combinan con el oxígeno son: leña, carbón mineral, petróleo, gas natural o metano y gas butano.

49. La característica principal de un combustible es su poder calorífico, el cual se expresa de acuerdo con el número de kilocalorías generadas por la combustión completa de un kilogramo de dicho combustible.

50. Sabemos que es posible transformar continua y totalmente el trabajo en calor, pero sólo una parte de la energía calorífica puede ser transformada en trabajo, mediante la utilización de las máquinas térmicas. Por ello, cuando la energía se convierte en calor, decimos que se ha *degradado*.