

pues $\Delta U = 0$, al no haber cambio en la energía interna del sistema.

Por lo tanto: $W = -Q$

que quiere expresar lo siguiente: El trabajo que se efectue sobre el sistema, se transformará en energía calorífica o viceversa, sin cambio en la energía interna del sistema.

1-16 EQUIVALENTE MECANICO DEL CALOR.- Acabamos de ver que la ecuación característica de un proceso isotérmico es: $Q + W = 0$, o bien: $W = -Q$; en estas ecuaciones, el calor Q y el trabajo W se encuentran relacionadas entre sí. Esto indicará, que la energía empleada para realizar un trabajo mecánico, se transformará a energía calorífica. Esto quiere decir, que debe existir una equivalencia entre la energía mecánica y la energía calorífica.

Joule encontró experimentalmente en su aparato (un tanquecito con compartimientos conteniendo agua, agitada por paletas fijas a un eje vertical, accionado por un tambor conectado a dos poleas, por las cuales pasan cuerdas en cuyos extremos cuelgan masas, que al

bajar, pierden energía potencial gravitacional, que se convierte en trabajo mecánico para hacer mover a las paletas, agitando el agua, aumentando así su temperatura: La pérdida de energía mecánica de las masas se ha transformado a través del trabajo mecánico, en energía interna del agua, al aumentar su temperatura) que existe una relación mecánica entre la energía mecánica y la energía calorífica:

$$1 \text{ Joule} = .238 \text{ Cal} = .238 \times 10^{-3} \text{ Kcal}$$

$$1 \text{ Kcal} = 1000 \text{ Cal} = 4,186 \text{ Joules}$$

$$1 \text{ BTU} = 252 \text{ Cal} = 777.9 \text{ Lb}_f\text{-Pie}$$

$$1 \text{ Lb}_f\text{-Pie} = 1.28 \times 10^{-3} \text{ B.T.U.} = .324 \text{ Cal}$$

Recuerda: El Joule y la $\text{Lb}_f\text{-Pie}$, son unidades de energía mecánica, mientras que el B.T.U., la Kcal y la Cal, son unidades de energía calorífica.

Entonces, a la relación entre una unidad de energía mecánica y una unidad de energía calorífica, se le llama: Equivalente mecánico del calor; como las relaciones numéricas anteriores, una más: $1 \text{ Cal} = 4.186 \text{ Joules}$.

1-17 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINAMICA.-

A.- La primera ley de la termodinámica dice que la energía se conserva en todo proceso termodinámico.

Ahora bien, existen muchos procesos termodinámicos que conservan la energía pero que nunca ocurren. Por ejemplo: Cuando se ponen en contacto un cuerpo caliente y uno frío, simplemente no ocurre que el cuerpo caliente se ponga más caliente ni que el cuerpo frío se ponga más frío; y sin embargo no se ha violado la primera ley. En forma semejante, la primera ley no limita la posibilidad de convertir trabajo en calor o calor en trabajo, salvo que la energía debe conservarse en el proceso. Y, sin embargo, en la práctica, aun cuando podemos convertir una cantidad dada de trabajo totalmente en calor, nunca se ha podido convertir una cantidad dada de calor completamente en trabajo. La segunda Ley de la termodinámica se ocupa de esta clase de cuestiones, o sea, de qué procesos, considerando que sean compati-

bles con la primera ley, ocurren en la naturaleza y cuales no tienen lugar.

B.- PROCESOS REVERSIBLES E IRREVERSIBLES.-

Un sistema en equilibrio termodinámico, puede pasarse a otro equilibrio termodinámico, por diferentes procesos, pero aquí se mencionarán dos procesos que son completamente opuestos: Los procesos reversibles y los irreversibles.

Un proceso reversible es aquel que, mediante cambios muy pequeños, se puede hacer que el sistema recorra una trayectoria en la que se puedan hacer mediciones de las variables en juego; presión, volumen y temperatura, al ir de un estado de equilibrio inicial a un estado de equilibrio final. De tal forma que al volver del estado de equilibrio final, al estado de equilibrio inicial, se siga la misma trayectoria. Como se puede apreciar en la siguiente gráfica:

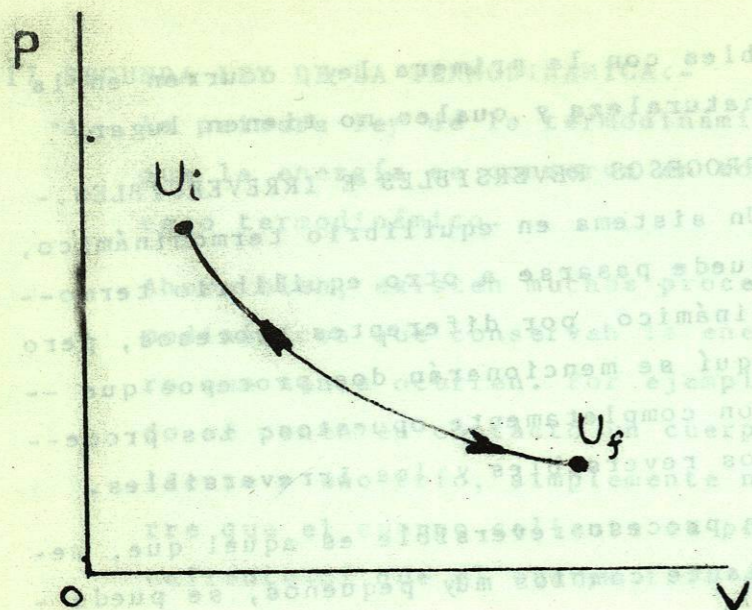


Fig. 1-17-1

Los procesos reversibles tienen la característica de que son muy lentos, para poder ser reproducibles. En la curva de la figura 1-17-1, cada punto de la trayectoria relaciona un valor de presión y de volumen, representando cada punto: un estado de equilibrio termodinámico.

La U_i y la U_f , representan las energías internas inicial y final del sistema, respectivamente.

Las dos flechas sobre la curva indican que la trayectoria a seguir será la misma, al ir de un estado de equilibrio al otro.

Los procesos reversibles son ideales. En cambio, los procesos irreversibles son aquellos en que, los cambios son muy rápidos, creándose una serie de estados no equilibrados, por lo que, no se puede asignar una trayectoria definida al pasar el sistema de su estado de equilibrio inicial al final. La siguiente figura, muestra un proceso irreversible:

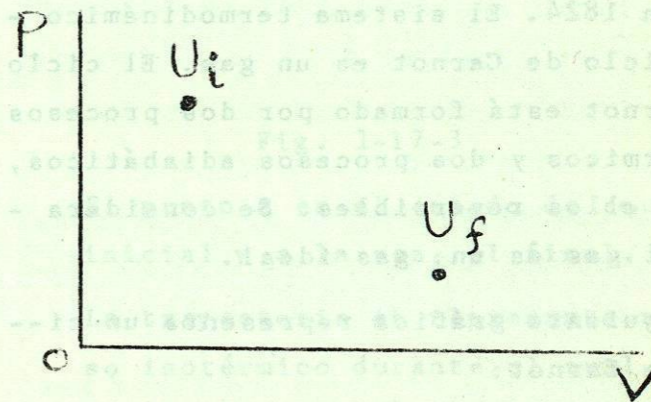


Fig. 1-17-2

Observa que no aparece ninguna trayectoria que relacione a los estados de equilibrio termodinámico: inicial y final - del sistema. En la práctica, todos los procesos son irreversibles.

C.- CICLO DE CARNOT.-

Un ciclo es una sucesión de procesos, - tales que el sistema vuelva a su estado de equilibrio original.

Si los procesos que intervienen son todos ellos reversibles, el ciclo será: -
Un ciclo reversible.

Un ciclo reversible importante es el ciclo de Carnot, introducido por Sadi Carnot en 1824. El sistema termodinámico - del ciclo de Carnot es un gas. El ciclo de Carnot está formado por dos procesos isotérmicos y dos procesos adiabáticos, todos ellos reversibles. Se considera - que el gas es un: gas ideal.

La siguiente gráfica representa un ciclo de Carnot:

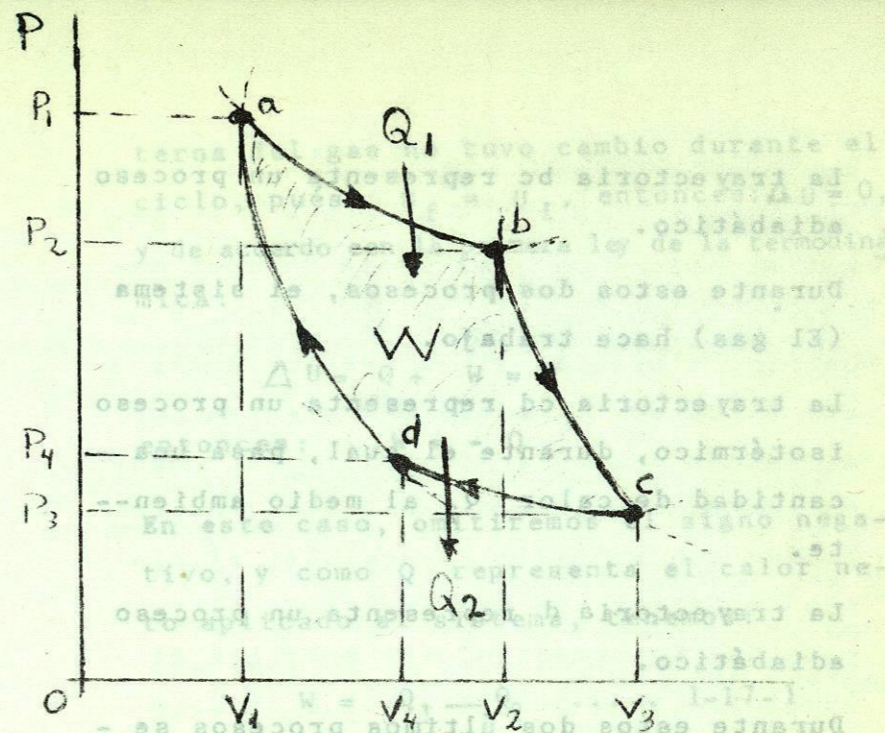


Fig. 1-17-3

El punto a es el estado de equilibrio inicial y a la vez, el final.

La trayectoria ab representa un proceso isotérmico durante el cual se aplica al sistema una cantidad de calor --

Q_1 .

La trayectoria bc representa un proceso adiabático.

Durante estos dos procesos, el sistema (El gas) hace trabajo.

La trayectoria cd representa un proceso isotérmico, durante el cual, pasa una cantidad de calor Q_2 al medio ambiente.

La trayectoria d representa un proceso adiabático.

Durante estos dos últimos procesos se hace trabajo sobre el sistema.

El trabajo neto hecho por el sistema sobre el medio ambiente está representado por W , y es igual al área encerrada dentro del ciclo, limitado por las trayectorias: ab-bc-cd-da.

Observa que la presión y el volumen del gas o sistema, estuvieron variando durante el ciclo.

La cantidad neta de calor recibida por el sistema durante el ciclo está dada por: $Q_1 - Q_2$, y como la energía in-

terna del gas no tuvo cambio durante el ciclo, pues: $U_f = U_i$, entonces: $\Delta U = 0$, y de acuerdo con la primera ley de la termodinámica:

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

$$\text{entonces: } W = -Q$$

En este caso, omitiremos el signo negativo, y como Q representa el calor neto aplicado al sistema, tenemos:

$$W = Q_1 - Q_2 \dots\dots 1-17-1$$

Entonces diremos, que el trabajo neto W hecho por el sistema sobre el medio ambiente, está dado por la ecuación 1-17-1.

El ciclo de Carnot representa el trabajo neto hecho por una máquina térmica. Se le dá el nombre de máquina térmica, a todo dispositivo que convierte a la energía calorífica en trabajo.

En el ciclo de Carnot se usó como sistema a un gas, pero dicho sistema puede

ser: Vapor de agua, una mezcla de combustible y aire, o combustible y oxígeno. El calor Q_1 , se puede obtener mediante la combustión de: gasolina, o carbón, o bien de algún reactor nuclear. El calor Q_2 puede descargarse por el escape o a un condensador. Aún cuando las máquinas térmicas reales, no funcionan con un ciclo reversible, el ciclo de Carnot que es reversible sirve para dar información útil relativa al funcionamiento de una máquina térmica cualquiera.

La eficiencia e de una máquina térmica está dada por la relación del trabajo neto W realizado por la máquina durante un ciclo, al calor tomado por ella, de la fuente de temperatura elevada:

$$e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \dots 1-17-2$$

La experiencia demuestra que la eficiencia e de toda máquina térmica es menor que 1, o menor que 100%.

La ecuación 1-17-2, se puede expresar

también en función de temperaturas, si partimos que el calor Q en general, es directamente proporcional a la temperatura, por lo que, Q_1 y Q_2 podrán ser sustituidos por T_1 y T_2 , respectivamente:

$$e = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \dots 1-17-3$$

Esta ecuación es más útil porque las medidas de las temperaturas T_1 y T_2 , son más fáciles de efectuar que las medidas de Q_1 y Q_2 .

En base a las eficiencias de las máquinas térmicas, se puede dar una primera definición de la segunda Ley de la termodinámica dada por Kelvin-Planck:

Es imposible transformar en trabajo el calor extraído de una fuente, sin tener pérdidas caloríficas.

Carnot enunció su teorema que dice: La eficiencia de todas las máquinas reversibles que operan entre las mismas dos temperaturas, es la misma, y no hay ma-

quina irreversible que trabaje entre -- las mismas dos temperaturas que pueda - tener una eficiencia mayor que esa.

Nótese que el teorema de Carnot, no menciona para nada a la sustancia de trabajo, dando a entender que la eficiencia de una máquina reversible es indepen---diente de la sustancia de trabajo, de---pendiendo solamente de las temperatu---ras.

D.- REFRIGERADORES.-

Si el ciclo de Carnot se recorre en sentido opuesto al de las flechas de la figura 1-17-3, entonces se extraerá calor

Q_2 de la parte fría T_2 y se proporciona calor Q_1 a la parte caliente T_1 , algún agente exterior deberá hacer trabajo sobre el sistema (en lugar de que el -- sistema haga trabajo) que extrae calor de la parte de menor temperatura T_2 y - expulsarlo a la parte de mayor tempera-tura T_1 .

En este caso, el sistema trabaja como - un refrigerador. El trabajo proporciona

do al sistema (un gas refrigerante) -- por un motor, para que extraiga una -- cantidad de calor Q_2 de la parte fría (interior del refrigerador) que se en-cuentra a una temperatura T_2 y lo ex--pulse al medio ambiente que se encuen-tra a una temperatura T_1 , está dado -- por la siguiente expresión:

$$W = Q_2 \frac{T_1 - T_2}{T_2} \dots 1-17-4$$

En base a lo expuesto, Clausius enun-ció la segunda ley de la termodinámica así:

Es imposible que una máquina cíclica - pase calor continuamente de un cuerpo a otro que se encuentre a una tempera-tura más elevada, sin el consumo de -- energía externa.

E.- LA ENTROPIA.

Así como la temperatura es fundamental en la ley cero de la termodinámica y - la energía interna es fundamental en - la primera ley, así también, la entropía es fundamental en la segunda ley.

La entropía, así como la energía interna, es también una función punto, es decir, que depende solamente del estado inicial y del estado final, pero no depende de la trayectoria seguida.

De la misma manera que la energía interna se mide por sus cambios: ΔU , también la entropía se mide por sus cambios: ΔS , siendo S la letra que representa a la entropía.

La ecuación general de la entropía está dada por:

$$dS = \frac{dQ}{T} \dots\dots 1-17-5$$

Siendo dS un elemento diferencial de la entropía que representa un cambio infinitesimal en su valor, de un sistema dado.

dQ es un elemento diferencial del calor ganado o perdido por el sistema con respecto a la temperatura absoluta T .

La importancia de la entropía radica

en que, la segunda ley de la termodinámica se puede definir en términos de ella:

Un proceso natural que comienza en un estado de equilibrio y térmica en otro, se desarrollará en el sentido que haga que aumente la entropía del sistema más su medio ambiente.

De ésta manera, la segunda ley predice que un proceso termodinámico es posible y cual no, según, si la entropía aumenta o disminuye, de un sistema termodinámico dado, respectivamente.

Como la ecuación 1-17-5, de la entropía está fuera del alcance de ésta unidad, se dará por terminada la teoría de la segunda ley de la termodinámica.

1-18 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.-

1.- Efectuar las siguientes conversiones de energía mecánica y energía térmica.

Se sugiere usar los factores de conversión de la sección 1-16.

a) 500 Lb_f -Pie a BTU

Solución.-

$$500 \text{ Lb}_f\text{-Pie} = X \text{ BTU}$$

$$500 \frac{\text{Lb}_f\text{-Pie}}{\text{BTU}} = X$$

$$500 \frac{\text{Lb}_f\text{-Pie}}{777.9 \text{ Lb}_f\text{-Pie}} = X$$

$$\frac{500}{777.9} = X$$

$$X = .642$$

o sea: $500 \text{ Lb}_f\text{-Pie} = .642 \text{ BTU}$

b) 400 Cal a Joules

Solución.-

$$400 \text{ Cal} = X \text{ Joules}$$

$$400 \frac{\text{Cal}}{\text{Joules}} = X$$

$$400 \frac{4.186 \text{ joules}}{\text{Joules}} = X$$

$$X = 1674.4$$

por lo tanto: $400 \text{ Cal} = 1674.4 \text{ joules}$

c) 20 Kcal a $\text{Lb}_f\text{-Pie}$

Solución.-

$$20 \text{ Kcal} = X \text{ Lb}_f\text{-Pie}$$

$$20 \frac{\text{Kcal}}{\text{Lb}_f\text{-Pie}} = X$$

$$20 \frac{1000 \text{ cal}}{324 \text{ cal}} = X$$

$$\frac{20000}{324} = X$$

$$X = 61728.3$$

o sea: $20 \text{ Kcal} = 61,728.3 \text{ Lb}_f\text{-Pie}$

d) 50 joules a B.T.U.

Solución.-

$$50 \text{ joules} = X \text{ B.T.U.}$$

$$50 \frac{\text{joules}}{\text{B.T.U.}} = X$$

$$50 \frac{.238 \text{ cal}}{252 \text{ cal}} = X$$

$$\frac{50 \times .238}{252} = X$$

$$X = .47$$