

**Division de Educación Continua de la
Facultad de Ingeniería de la UNAM**

**Curso programado del 26 de marzo al 6 de abril de 2001
40 hrs. de lunes a viernes de 17 a 21 hrs.**

GAS NATURAL, COMBUSTIBLE ECOLOGICO

Temario:

- 1.- Termodinámica de los gases**
- 2.- Mecánica de fluidos**
- 3.- Tecnología de materiales, tuberías y conexiones**
- 4.- Protección catódica**
- 5.- Conocimientos generales en materia de normalización**
- 6.- Instalaciones de aprovechamiento**
- 7.- Accesorios y equipo**
- 8.- Aparatos de consumo**
- 9.- Proyectos y cálculo**
- 10.- Programas de mantenimiento preventivo**
- 11.- Distribución de gas natural. Redes.**
- 12.- Curriculum vitae**
- 13.- Notas**

Coordinador Académico

Fernando F. Blumenkron García.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

"Tres decadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

**GAS NATURAL
COMBUSTIBLE ECOLOGICO**

**EXPOSITORES: ING. FERNANDO F. BLUMENKRON G.
ING. GERMAN ALONSO PEREZ ARROYO
ING. ENRIQUE SANLUIS SANLUIS
PALACIO DE MINERIA
MARZO DEL 2001**

1 Termodinámica

OBJETIVOS : DESPUES DE ESTUDIAR A FONDO ESTE TEMA SE DEBERA SER CAPAZ DE:

1. **Mostrar por definición y ejemplo la comprensión sobre la *primera y segunda ley de la termodinámica.***
2. **Definir y dar ejemplos ilustrados de los procesos *adiabáticos, isocóricos e isotérmicos.***
3. **Escribir y aplicar la relación para determinar la *eficiencia ideal* de una máquina térmica.**

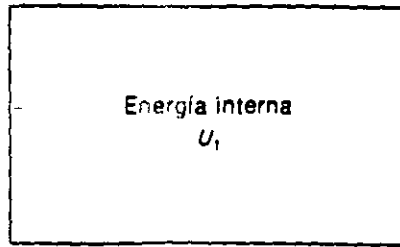
La termodinámica trata acerca de la transformación de energía térmica en energía mecánica y el proceso inverso, la conversión de trabajo en calor. Puesto que casi toda la energía disponible de la materia prima se libera en forma de calor, resulta fácil advertir por qué la termodinámica juega un papel tan importante en la ciencia y la tecnología.

En este capítulo se estudiarán dos leyes básicas que deben obedecerse cuando se utiliza energía térmica para realizar trabajo. La primera ley es simplemente volver a postular el principio de la conservación de la energía. La segunda ley impone restricciones sobre el uso eficiente de la energía disponible.

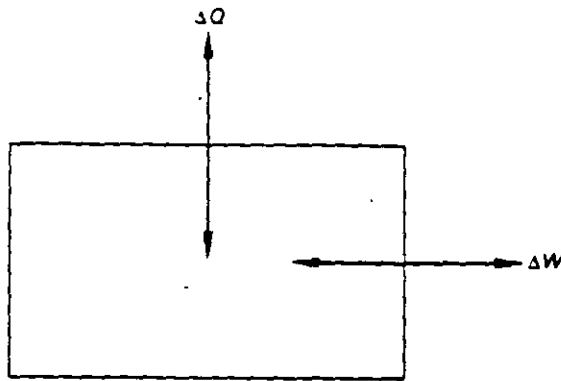
1-1 CALOR Y TRABAJO

Se ha establecido con claridad la equivalencia del calor y el trabajo como dos formas de energía. La teoría del calórico fue desechada por Rumford al demostrar que es posible obtener calor indefinidamente de un sistema en tanto se suministre

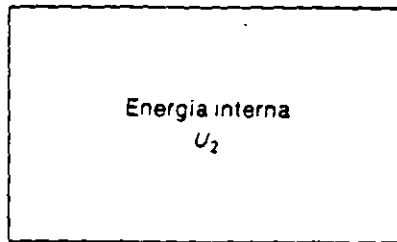
Figura 1-2
Diagrama esquemático de un proceso termodinámico.



(a) Estado inicial del sistema (P_1, V_1, T_1)



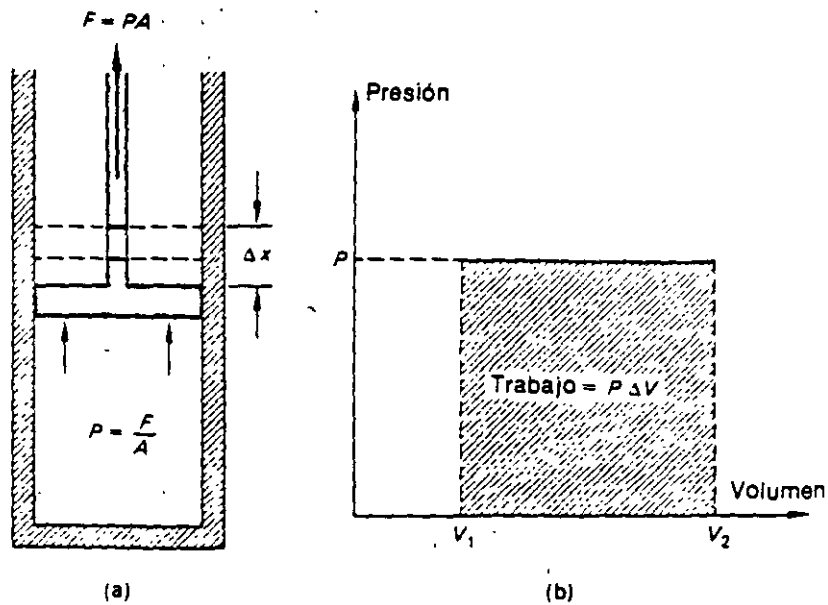
(b) Sistema sometido a un proceso termodinámico



(c) Estado final del sistema (P_2, V_2, T_2)

el sistema reacciona con sus alrededores. El calor Q puede absorberse por el sistema y/o liberarse de su medio ambiente. La transferencia de calor se considera positiva para entrada de calor y negativa para salida de calor. El calor neto que absorbe el sistema se representa por ΔQ . El trabajo W puede realizarse por y/o sobre el sistema. La salida de trabajo se considera positivo, y la entrada, negativo. Es decir, ΔW representa el trabajo neto efectuado por el sistema (salida de trabajo). En la figura 1-1c se muestra al sistema cuando ha alcanzado su estado

Figura 1-3
 a) Cálculo del trabajo realizado por un gas al expandirse a presión constante.
 b) El trabajo es igual al área bajo la curva de un diagrama P - V .



Por tanto, las 400 cal de energía térmica de entrada se emplean para realizar 19.1 cal de trabajo, en tanto que la energía interna del sistema se incrementa en 380.9 cal. La energía se conserva.

1-4 DIAGRAMA P-V

Muchos procesos termodinámicos incluyen cambios de energía que le ocurren a gases encerrados en cilindros. Aquí será de utilidad deducir una expresión para calcular un trabajo efectuado por un gas que se expande. Considérese un sistema que consiste en un cilindro de gas y émbolo móvil, como se muestra en la figura 1-3a. El émbolo tiene un área de sección transversal A y descansa sobre una columna de gas a una presión P . Puede fluir calor hacia dentro o hacia afuera del gas a través de las paredes del cilindro. Puede realizarse trabajo sobre o por el gas al empujar el émbolo hacia abajo o al permitir que se expanda hacia arriba.

Considérese primero el trabajo hecho por el gas cuando se expande a presión constante P . La fuerza que ejerce el gas sobre el émbolo será igual a PA . Si el émbolo se desliza hacia arriba una distancia Δx , el trabajo ΔW de esta fuerza será

$$\Delta W = F \Delta x = PA \Delta x$$

Pero $A \Delta x = \Delta V$, donde ΔV representa el cambio en volumen del gas. Por lo tanto,

$$\Delta W = P \Delta V$$

(1-3)

En otras palabras, el trabajo realizado por un gas al expandirse a presión constante es igual al producto de la presión por el cambio en volumen del gas.

**1-5
CASO
GENERAL
PARA LA
PRIMERA LEY**

La primera ley de la termodinámica estipula que la energía debe conservarse en cualquier proceso termodinámico. En la formulación matemática

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

hay tres cantidades que pueden sufrir cambios. El proceso más general es aquel en el que intervienen las tres cantidades. Por ejemplo, el fluido de la figura 1-5 se expande mientras está en contacto con una llama. Si se considera al gas como un sistema habrá una transferencia de calor neta ΔQ impartida al gas. Esta energía se emplea en dos formas: 1) la energía interna ΔU del gas se incrementa por una porción de la energía térmica de entrada, y 2) el gas efectúa una cantidad de trabajo ΔW sobre el émbolo que es equivalente al resto de la energía disponible.

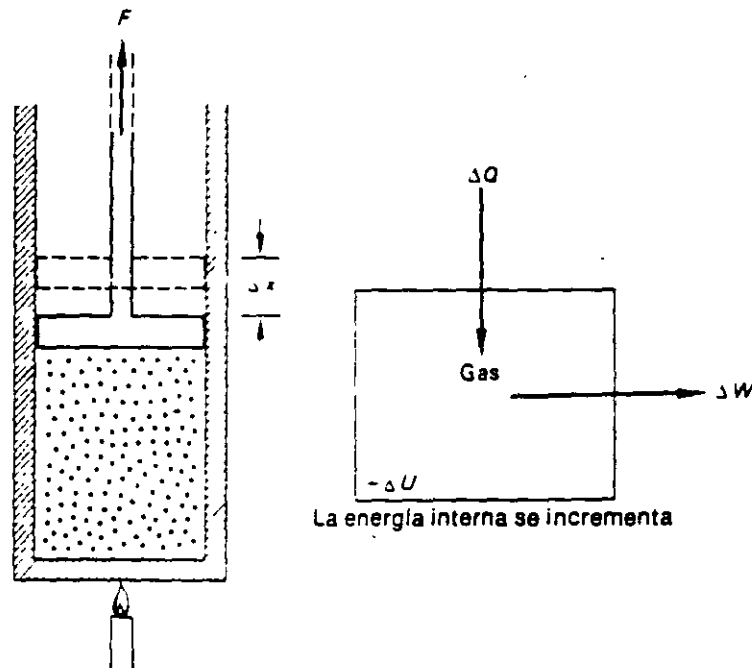
Se originan casos especiales de la primera ley cuando una o más de las tres cantidades — ΔQ , ΔW , o ΔU — no sufre cambio. En estos ejemplos la primera ley se simplifica considerablemente. En las secciones siguientes se considerarán varios de estos procesos especiales.

**1-6
PROCESOS
ADIABÁTICOS**

Supóngase que un sistema se encuentra completamente aislado de sus alrededores de modo que no pueda haber un intercambio de energía térmica Q . Cualquier proceso que ocurra por completo dentro de una cámara aislada se llama proceso *adiabático*, y se dice que el sistema está rodeado por paredes *adiabáticas*.

Un proceso adiabático es aquel en el que no hay intercambio de energía térmica ΔQ entre un sistema y sus alrededores.

Figura 1-5 La fracción de la energía ΔQ suministrada al gas por la llama se transforma en un trabajo externo ΔW . El resto incrementa la energía interna ΔU del gas.



cantidad de calor Q_{cal} . En la siguiente carrera los gases son expulsados cuando el émbolo se desplaza hacia arriba suministrándose más combustible en la siguiente carrera cuando el émbolo se mueve hacia abajo. Luego todo el ciclo se repite nuevamente. La razón de volúmenes V_1/V_2 , como se indica en el diagrama $P-V$ se llama razón de *compresión* y es aproximadamente igual a 8 para la mayor parte de los motores de automóvil.

Puede demostrarse que el rendimiento de un ciclo de Otto ideal es

$$E = 1 - \frac{1}{(V_1/V_2)^{\gamma-1}} \quad (1-9)$$

donde γ es constante adiabática para la sustancia de trabajo. La constante adiabática se define como

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

donde c_p es el calor específico del gas a presión constante y c_v el calor específico a volumen constante. Para gases monoatómicos $\gamma = 1.67$, y para gases diatómicos $\gamma = 1.4$. En un motor a gasolina la sustancia de trabajo es principalmente aire para el cual $\gamma = 1.4$. En el caso ideal, la ecuación (1-9) muestra que las razones de compresión más altas producen rendimientos mayores ya que siempre son mayores que 1.

EJEMPLO 1-3

Calcúlese el rendimiento de un motor de gasolina para el que la razón de compresión es 8 y $\gamma = 1.4$.

Solución

De la información dada se observa que

$$\frac{V_1}{V_2} = 8 \quad \text{y} \quad \gamma - 1 = 1.4 - 1 = 0.4$$

Por lo tanto, de la ecuación (1-9)

$$E = 1 - \frac{1}{8^{0.4}} = 1 - \frac{1}{2.3} = 57\%$$

En el ejemplo anterior, el 57% representa el rendimiento máximo posible de un motor de gasolina para el parámetro dado. Realmente el rendimiento de una máquina de este tipo es normalmente alrededor del 30% debido a pérdidas de calor no controladas.

Un segundo tipo de máquina de combustión interna es la diesel. En esta máquina el aire se comprime a alta temperatura y presión hasta cerca del extremo superior del cilindro. El combustible diesel, que se inyecta en el cilindro en este punto, se enciende y empuja al émbolo hacia abajo. El ciclo diesel idealizado se muestra mediante el diagrama $P-V$ en la figura 1-14. Comenzando en a el aire se comprime

-Aplicando la primera ley a un proceso en el cual $\Delta Q = 0$, se obtiene

$$\Delta W = -\Delta U \quad \text{Adiabático (1-4)}$$

La ecuación (1-4) dice que en un proceso adiabático el trabajo se realiza a *expensas* de la energía interna. La disminución de la energía térmica suele estar acompañada por un decremento en la temperatura.

Como ejemplo de un proceso adiabático considérese la figura 1-6, en la cual un émbolo se levanta por un gas que se expande. Si las paredes del cilindro están aisladas y la expansión ocurre con rapidez, el proceso será aproximadamente adiabático. A medida que el gas se expande, realiza trabajo sobre el émbolo pero pierde energía interna y experimenta una caída en la temperatura. Si se invierte el proceso forzando al émbolo de regreso hacia abajo, se hace trabajo *sobre* el gas ($-\Delta W$) y habrá un incremento en la energía interna (ΔU) tal que

$$-\Delta W = +\Delta U$$

En este ejemplo la temperatura se elevará.

Otro ejemplo de un proceso adiabático que permite aplicaciones muy útiles en la refrigeración industrial se conoce con el nombre de proceso de estrangulación.

Un proceso de estrangulación es aquel en el que el fluido a alta presión se filtra adiabáticamente a través de una pared porosa o abertura estrecha en una región de baja presión.

Considérese un gas forzado por una bomba para que circule a través del aparato en la figura 1-7. El gas del lado de alta presión de la bomba se fuerza a tra-

Figura 1-6 En un proceso adiabático no hay transferencia de calor, y el trabajo se realiza a expensas de la energía interna.

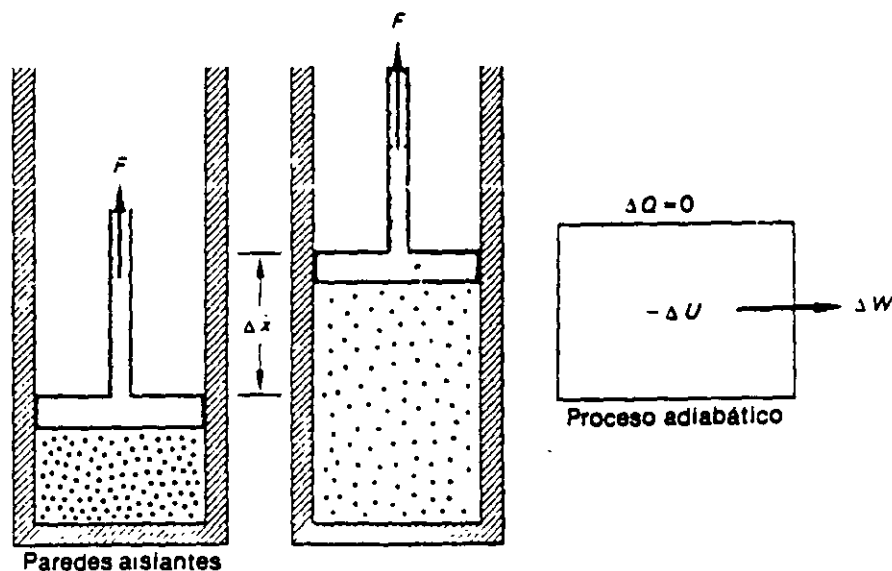
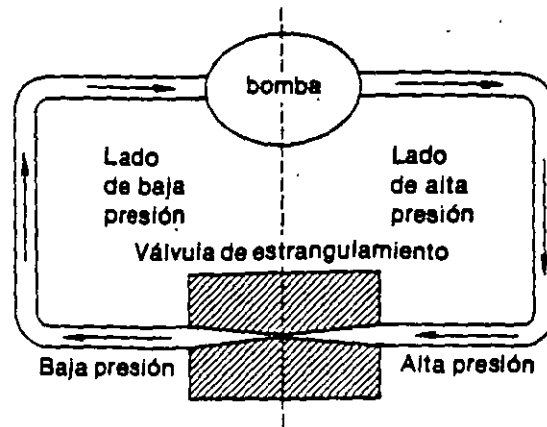


Figura 1-7 Proceso de estrangulamiento.



vés de la constricción estrecha, llamada *válvula de estrangulación*, hacia el lado de baja presión. La válvula se aísla muy bien, de tal forma que el proceso sea adiabático y $\Delta Q = 0$. De acuerdo con la primera ley, $\Delta W = \Delta U$, el trabajo neto realizado por el gas al pasar a través de la válvula se efectúa a expensas de la energía interna. En refrigeración, un líquido refrigerante sufre una caída de temperatura y una vaporización parcial como resultado del proceso de estrangulación.

1-7 PROCESOS ISOCÓRICOS

Otro proceso especial para la primera ley ocurre cuando no se realiza trabajo, ya sea *por* o *sobre* el sistema. A este tipo de proceso se le conoce con el nombre de *proceso isocórico*; también se le llama *proceso isovolumétrico* ya que no hay un cambio en el volumen sin que se efectúe trabajo.

Un proceso isocórico es aquel en el cual el volumen del sistema permanece constante.

Si se aplica la primera ley a una proceso en donde $\Delta W = 0$, se obtiene

$$\Delta Q = \Delta U \quad \text{Isocórico (1-5)}$$

O sea, que en un proceso isocórico toda la energía térmica que el sistema absorbe hace que se incremente su energía interna. En este ejemplo puede haber un incremento de la temperatura del sistema.

Ocurre un proceso isocórico cuando se calienta agua en un recipiente de volumen fijo, como se muestra en la figura 1-8. A medida que se suministra calor al sistema, el incremento de energía interna da por resultado una elevación de la temperatura del agua hasta que comienza a hervir. Incrementando aún más la energía interna, se produce el proceso de vaporización. No obstante, el volumen del sistema, que consta de agua y vapor, permanece constante y no se realiza trabajo.

1-9 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Cuando se frota las manos vigorosamente, el trabajo de rozamiento que se realiza tendrá como consecuencia un incremento en la energía interna, ocasionando que la temperatura se eleve. El aire circundante forma un gran reservorio a una temperatura menor, y la energía térmica se transfiere al aire sin que la temperatura cambie apreciablemente. Cuando se deja de frotar las manos se regresa al estado anterior. De acuerdo con la primera ley, la energía mecánica se ha transformado en calor con una eficiencia del 100%.

$$\Delta W = \Delta Q$$

Tal transformación puede continuarse indefinidamente en tanto se suministre trabajo.

Considérese el proceso inverso. ¿Será posible transformar energía térmica en trabajo mecánico con una eficiencia del 100%? En el ejemplo anterior, ¿es posible todo el calor transferido al aire y regresarlo a las manos, ocasionando que ellas se froten indefinidamente en forma espontánea? En un día frío de invierno, este proceso sería beneficioso para los cazadores que tengan las manos frías. Desafortunadamente, tal proceso no puede ocurrir aun cuando no se viola la primera ley. Tampoco es posible recuperar el calor perdido al frenar un automóvil a fin de que las ruedas comiencen a rodar nuevamente.

Se verá que la conversión de energía térmica en trabajo mecánico es un proceso con pérdidas. La primera ley de la termodinámica dice que no puede ganarse en un experimento tal. En otras palabras, es imposible obtener más trabajo de un sistema que el calor que se pone en el mismo. Empero, esto no excluye la posibilidad de continuar frenando. Debido a lo anterior, es evidente que se necesita otra regla que establezca que no es posible la conversión del 100% de energía térmica en trabajo útil. Esta regla es la base de la *segunda ley de la termodinámica*.

Segunda ley de la termodinámica: *Es imposible construir una máquina que, si opera continuamente, no produzca otro efecto que la extracción de calor de una fuente y la realización de una cantidad equivalente de trabajo.*

Para darle más profundidad y aplicación a este principio, supóngase que se estudia la operación y eficiencia de las máquinas térmicas. Un sistema particular puede ser un motor de gasolina, uno de propulsión, una máquina de vapor e incluso el cuerpo humano. La operación de una máquina térmica se puede describir mejor por medio de un diagrama similar al que se muestra en la figura 1-9. Durante la operación de una de estas máquinas se llevan a cabo tres procesos:

1. Se suministra una cantidad de calor Q_{ent} a la máquina desde un recipiente a alta temperatura T_{ent} .
2. La máquina efectúa un trabajo mecánico W_{sal} producido por una parte del calor de entrada.
3. Cierta cantidad de calor Q_{sal} se libera al recipiente a baja temperatura T_{sal} .

1-10 CICLO DE CARNOT

Todas las máquinas térmicas están sujetas a muchas dificultades prácticas. Debido al rozamiento y a la pérdida de calor por conducción y radiación, se limita la posibilidad de que las máquinas reales obtengan su máxima eficiencia. Sadi Carnot, en 1824, ideó una máquina térmica ideal sin tales problemas.

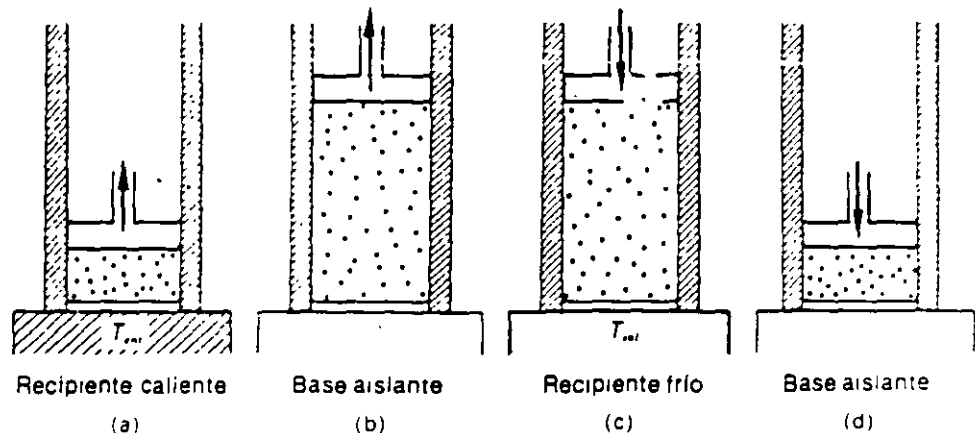
La *máquina de Carnot* tiene la máxima eficiencia posible para una máquina que absorbe calor de una fuente a alta temperatura, realiza trabajo externo y deposita calor en un recipiente a baja temperatura. La eficiencia de una máquina dada puede por lo tanto determinarse al compararla con una máquina de Carnot que trabaje entre las mismas temperaturas.

En la figura 1-10 se muestra el *ciclo de Carnot*. Un gas contenido en un cilindro equipado con un émbolo móvil se coloca en contacto con una fuente a alta temperatura T_{ent} . El gas absorbe una cantidad de calor Q_{ent} y se expande isotérmicamente a medida que la presión decrece. La primera etapa de un ciclo de Carnot se muestra gráficamente como la curva AB en el diagrama $P-V$ (Fig. 1-11). A continuación el cilindro se coloca sobre un aislante térmico, en donde continúa expandiéndose adiabáticamente en tanto la presión cae a su valor más bajo. Esta etapa se representa gráficamente por la curva BC . En la tercera etapa se retira el cilindro de la base aislante y se coloca en una fuente con una temperatura baja T_{sal} . Una cantidad de calor Q_{sal} se absorbe del gas a medida que se comprime isotérmicamente desde el punto C al punto D del diagrama $P-V$. Finalmente, el cilindro se coloca otra vez sobre la base aislante, en donde se comprime adiabáticamente a su estado original a lo largo de la trayectoria DA . La máquina realiza trabajo externo durante los procesos de expansión y regresa a su estado inicial durante los procesos de compresión.

1-11 LA EFICIENCIA DE UNA MÁQUINA IDEAL

La eficiencia de una máquina real es difícil de predecir a partir de la ecuación (1-8), porque es difícil calcular las cantidades Q_{ent} y Q_{sal} . Las pérdidas por fricción y calor a través de las paredes del cilindro y alrededor del pistón, la combustión incompleta del combustible y aun las propiedades físicas de los distintos combus-

Figura 21-10 Ciclo de Carnot:
a) expansión isotérmica,
b) expansión adiabática,
c) compresión isotérmica, y
d) compresión adiabática.



Solución a)

La eficiencia ideal se encuentra a partir de la ecuación (21-9).

$$\varepsilon = \frac{T_{\text{ent}} - T_{\text{sal}}}{T_{\text{ent}}} = \frac{400 \text{ K} - 300 \text{ K}}{300 \text{ K}} = 0.25$$

Así, la eficiencia ideal es 25%.

Solución b)

La eficiencia es el cociente de $W_{\text{sal}}/Q_{\text{ent}}$, así que

$$\frac{W_{\text{sal}}}{Q_{\text{ent}}} = 0.25 \quad \text{o} \quad W_{\text{sal}} = (0.25)Q_{\text{ent}}$$

$$W_{\text{sal}} = (0.25)(800 \text{ cal}) = 200 \text{ cal}$$

Una máquina con un 25% de eficiencia entrega una cuarta parte de calor de entrada al trabajo útil; el resto debe perderse (Q_{sal}).

Solución c)

La primera ley de la termodinámica requiere que

$$W_{\text{sal}} = Q_{\text{ent}} - Q_{\text{sal}}$$

Al resolver para Q_{sal} se obtiene

$$W_{\text{sal}} = Q_{\text{ent}} - W_{\text{sal}} = 800 \text{ cal} - 200 \text{ cal} = 600 \text{ cal}$$

El trabajo de salida se expresa usualmente en joules. La conversión a estas unidades da

$$W_{\text{sal}} = (200 \text{ cal})(4.186 \text{ J/cal}) = 837 \text{ J}$$

1-12 MÁQUINAS DE COMBUSTIÓN INTERNA

Una máquina de combustión interna genera el calor de entrada dentro de ella misma. La más común de este tipo es el motor de gasolina de cuatro tiempos, en el cual una mezcla de gasolina y aire se inflama mediante una bujía en cada cilindro. La energía térmica liberada se convierte en trabajo útil por la presión que ejercen sobre el émbolo los gases en expansión. En la figura 1-12 se muestra el proceso de cuatro tiempos. Durante la *carrera de admisión* (Fig. 1-12a) entra una mezcla de aire y vapor de gasolina al cilindro a través de la válvula de admisión. Ambas válvulas se cierran durante la *carrera de compresión* (Fig. 1-12b) y el pistón se mueve hacia arriba, causando una elevación de la presión. Justo antes de que el pistón llegue al extremo superior, se efectúa el encendido de la mezcla, ocasionando un cambio abrupto tanto en la temperatura como en la presión. En la *carrera de trabajo* (Fig. 1-12c) la fuerza de los gases en expansión impulsan al pistón hacia abajo, efectuando trabajo externo. En la *carrera de expulsión* (Fig. 1-12d), se expulsan los gases quemados fuera del cilindro a través de la válvula de escape. A continuación se repite todo el ciclo nuevamente, en tanto se suministre combustible al cilindro.

II.- GENERALIDADES DEL GAS NATURAL

El gas natural (GN) es un combustible compuesto de hidrocarburos simples en estado gaseoso y se encuentran en depósitos subterráneos profundos formados por roca porosa, o en los domos de los depósitos naturales del petróleo crudo.

En teoría su origen es orgánico y proviene de la descomposición de residuos animales y vegetales que se transformaron en petróleo a través de los años. grandes moléculas de petróleo se separaron como resultado del calor y la presión reinante en los depósitos, a lo largo de millones de años dieron como resultado grandes acumulaciones de gas natural que existen actualmente.

El gas natural comercial es una mezcla de hidrocarburos compuesta primordialmente por metano, la molécula más simple CH_4 que indica cuatro átomos de hidrógeno y uno de carbono, contiene además pequeñas cantidades de etano, propano y otros hidrocarburos más pesados, así como nitrógeno, bióxido de carbono y oxígeno. Como impurezas que deben eliminarse antes de introducirlo en los sistemas de tuberías, ya sea de transporte o distribución y se encuentran, el ácido sulfídrico (H_2S), azufre y agua.

de acuerdo a la norma NOM-001-SECRE-1997 Calidad del Gas Natural y dentro de sus especificaciones describimos las siguientes.

PROPIEDAD	METODO	UNIDADES	ESPECIFICACIONES	
			mínimo	máximo
Poder calorífico bruto en base seca	ASTM D-1826	Kcal/m ³ MJ/m ³	8455 36.39	---
Acido sulfhídrico	ASTM D-4468	mg/m ³ ppm	—	6.1 4.4
Azufre Total	ASTM- D-4468	mg/m ³		258 200
Humedad	ASTM D-1142 Higrómetro	mg/m ³		112
Nitrógeno + Bióxido de carbono	ASTM D-1945	% Vol		3
Contenido de licuables	ASTM D-1945	l/m ³		0,059
Temperatura		K		323
Oxígeno	ASTM D-1945	% Vol		0.5
Material sólido			libre de polvos, gomas y de cualquier sólido que ocasione problema en la tubería	
Líquidos			Libre de agua y de HC líquidos	
Microbiológicos			Libre	

Dependiendo de su origen, el gas natural se clasifica en dos tipos: el gas asociado que se extrae junto con el petróleo crudo, y el no asociado que se encuentra en depósitos que contienen únicamente este combustible.

Cuando el gas asociado se extrae del pozo y se separa del crudo, la proporción de los hidrocarburos más pesados que el metano es mayor que la que se encuentra en el gas natural comercial. A estos compuestos se les conoce genéricamente como líquidos del gas, y se extraen de la corriente gaseosa mediante procesos que se llevan a cabo en las plantas criogénicas o en las plantas de absorción, debido a que separados poseen un valor económico más alto.

La mezcla líquida extraída del gas se separa mediante procesos de fraccionamiento en sus componentes: etano, gas licuado de petróleo (mejor conocido como gas L. P.) y naftas, entre otros. Posteriormente, estos componentes encuentran uso como combustibles o como materias primas petroquímicas.

El gas natural no tiene color ni olor pero al tratarse de un material inflamable, se le agregan odorizantes químicos (mercaptanos), a fin de que pueda ser detectado por el olfato humano en caso de una fuga. Esto no altera en absoluto sus propiedades físicas ni su poder calorífico y constituye una herramienta valiosísima para preservar la seguridad de los consumidores.

El gas natural es más ligero que el aire: su gravedad específica se encuentra en el rango de 0.55 a 0.67, relativa al aire en análisis de laboratorio 0.6247 promedio, y forma mezclas inflamables con éste que se encuentran en el rango de 5 - 15 % v/v de gas natural en la mezcla con aire.

El poder calorífico del gas natural depende de su composición química; entre mayor sea la cantidad de hidrocarburos más pesados que el metano que contenga, mayor será su poder calorífico.

Dado que el gas natural se compra y se paga por unidad de energía entregada, es importante determinar con la mayor exactitud posible la cantidad. El flujo de gas natural (unidades de volumen por unidad de tiempo) es una medida dinámica, mientras que el poder calorífico es una medida estática. Para poder determinar la cantidad total de energía entregada y vendida, es necesario combinar las dos medidas anteriores. De esta manera, el usuario de gas tendrá la certeza de que está pagando por la energía que consume y no por el volumen de gas que atraviesa su medidor.

Así la determinación de la cantidad de energía entregada requiere las lecturas de un medidor volumétrico (generalmente como elemento primario, conectada a un graficador o un dispositivo electrónico), y de un medidor del poder calorífico del gas (calorímetro), que se combinan en una sola medida: la cantidad de energía efectivamente consumida.

Las unidades de energía son varias dependiendo del sistema de unidades que se esté utilizando. En el sistema inglés BTU. En el sistema métrico decimal kcal. En el sistema internacional Joule.

III.- CARACTERISTICAS TERMODINAMICAS

Propiedades del gas natural

- es mas ligero que el aire
- combustión limpia
- requiere ignición para la combustión
- eficiente y abundante
- no tiene color ni olor
- no es absorbente
- no es corrosivo

Componentes energéticos del gas natural antes de ser procesado

metano (CH₄) (80%)

etano (C₂ H₆)

propano (C₃ H₈)

butano (C₄ H₁₀)

pentanos en adelante (C₅ H₁₂ a C₁₀ H₂₂)

fórmula de hidrocarburos saturados C_n H_{2n + 2}

Sus características físicas, químicas y térmicas del metano, principal componente del GN:
peso molecular 18,015

ebullición. Punto de ebullición de una sustancia es la temperatura a la cual cambia del estado líquido al gaseoso. - 150,2° C

Temperatura crítica - 76,3° C

presión crítica 46,3 atmósferas

densidad crítica 0,151

volúmen crítico 0,096 m³/Kg/mol.

densidad relativa 0,6247 (aire 1)

Factor de desviación (de la ley de Boyle) 50° F, 1,002, 100° F 1,0015

Límites explosivos % gas en el aire: inferior 5,0 superior 15,0

m^3 aire para quemar $1 m^3$ gas. 8,38

calor de fusión 15

calor específico Kcal/Kg C_p vapor / C_u vapor, $N = C_p/C_u = 1,308$.

El gas natural :

- Reduce entre 65 y 90% las emisiones contaminantes de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), partículas suspendidas totales (PST) e hidrocarburos reactivos (HC's).
- No contiene ácido sulfhídrico (H₂S), plomo ni benceno.
- Abate eficazmente el efecto " invernadero "
- Presenta una elevada eficiencia en la combustión (no emite hidrocarburos no quemados)
- Tiene un precio competitivo, respecto al de otros combustibles.
- Reduce los costos de mantenimiento en vehículos que utilizan este energético (para los cuales se requiere realizar la conversión).
- Genera menor cantidad de No_x que el combustóleo, por combustión.
- Se recibe por ducto y no se almacena, por lo que su manejo es muy seguro
- Incrementa la eficiencia de los procesos de generación y cogeneración de energía
- No forma residuos de combustión, lo que prolonga la vida útil de los equipos.

CARACTERISTICAS FISICAS, QUIMICAS Y TERMICAS DE HIDROCARBUROS COMPRENDIDOS EN EL GLP Y GN					
		BUTANO	PROPANO	METANO	GN
Fórmula molecular		C ₄ H ₁₀	C ₃ H ₈	CH ₄	CH ₄
Punto de ebulición °C		- 0,5	- 42,1	-161,5	- 150, 2
Densidad relativa del liquido (Agua) 1.00)		0,584	0,507	0,3	0,32
Densidad relativa del gas (Aire 1.00)	d	2,008	1,522	0,554	0,6247
Peso molecular		58,120	44,094	16,042	18,015
Kcal por metro cúbico a 15.5°C a 1,0 kgf/cm ²		22,800	17,375	8,800	8,840
Constante específica		143,0	188,7	518,8	
Temperatura crítica °C	tk	152,0	96,8	- 82,5	- 76,7
Densidad crítica		0,226	0,225	0,162	0,151
Presión crítica atmósferas	Pk	37,5	42,5	45,8	46,3
Limites de inflamabilidad % gas en el aire Inferior Superior		1,9 8,6	2,4 9,5	5,0 15,0	5,0 15,0
M ³ de aire para quemar 1 m ³ de gas	L	30,97	23,82	9,53	8,38
Calor de fusión		19,1	19,1	14	15
Calor de vapor		92	102	122	120
Temperatura de ignición en el aire °C		482-538	493-549		
Temperatura máxima de la flama en el aire °C		1991	1979		
Número de octanos (150 - octano = 100)		92	125	130	129
Indice de Wobbe	Wo	25,75	22,7	14,83	12,17
Exponente isentrópico	y	-	1,14	1,30	1,31
Combustión	H _{o,n}	37,23	28,03	11,06	9,77
Valor del calor	H _{u,n}	34,32	25,81	9,97	8,84

2

Propiedades térmicas de la materia

OBJETIVOS : DESPUES DE ESTUDIAR A FONDO ESTE TEMA SE DEBERA SER CAPAZ DE:

1. Escribir y aplicar la relación entre el volumen y la presión de un gas a temperatura constante (*ley de Boyle*).
2. Escribir y aplicar la relación entre el volumen y la temperatura de un gas en condiciones de presión constante (*ley de Charles*).
3. Escribir y aplicar la relación entre la temperatura y la presión de un gas en condiciones de volumen constante (*ley de Gay-Lussac*).
4. Aplicar la *ley general de los gases* a la solución de problemas que incluyan cambios en masa, volumen, presión y temperatura de los gases.
5. Definir *presión de vapor, punto de rocío y humedad relativa*, y aplicar estos conceptos a la resolución de problemas.

Ahora que ya se han comprendido los conceptos de calor y temperatura, a continuación se procede al estudio del comportamiento térmico de la materia. Existen cuatro cantidades medibles que son de interés: presión, volumen, temperatura y la masa de la muestra. Todas esas variables determinan el *estado* de una muestra dada de materia; dependiendo de su estado, la materia puede existir en la fase líquida, sólida o gaseosa. Por tanto, es importante distinguir entre los términos *estado* y *fase*. El estudio se inicia con el comportamiento térmico de los gases.

2 -1 GASES IDEALES Y LA LEY DE BOYLE

En un gas las moléculas individuales se encuentran alejadas de tal modo que las fuerzas de cohesión entre ellas son generalmente muy pequeñas. Aunque la estructura molecular de diferentes gases puede variar considerablemente, su comportamiento se ve poco afectado por el tamaño de las moléculas individuales. En general suele ser correcto decir que cuando una gran cantidad de gas se confina en un volumen reducido, el volumen que las moléculas ocupan es todavía una fracción pequeña del volumen total.

Una de las generalizaciones más útiles con respecto a los gases es el concepto de *gas ideal*, cuyo comportamiento no se altera por las fuerzas de cohesión o volúmenes moleculares. Naturalmente, ningún gas real es *ideal*; empero, en condiciones ordinarias de temperatura y presión, el comportamiento de cualquier gas es aproximadamente el de un gas ideal. Por lo tanto, de las observaciones experimentales de muchos gases reales puede obtenerse una deducción de las leyes físicas generales que gobiernan su comportamiento térmico. El grado con el cual cualquier gas real satisface dichas relaciones se determina a partir de cuanto se aproxima a un gas ideal.

Las primeras mediciones experimentales del comportamiento térmico de los gases fueron hechas por Robert Boyle (1627-1691), un investigador inglés que realizó un estudio exhaustivo de los cambios en el volumen de gases como resultado de cambios en presión. A fin de obtener resultados que fueran concluyentes, las variables restantes, como la masa y temperatura del gas confinado, se mantuvieron constantes. Sobre la base de muchas mediciones experimentales, Boyle demostró, en 1660, que el volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión, es decir, que al duplicar el volumen la presión disminuye a la mitad de su valor inicial. La *ley de Boyle* establece:

Ley de Boyle: Siempre que la masa y la temperatura de una muestra de gas se mantienen constante, el volumen del gas es inversamente proporcional a su presión absoluta.

Otra forma de enunciar la ley de Boyle es decir que el producto de la presión P de un gas y su volumen V serán constantes siempre que la temperatura no cambie. Considérese un cilindro equipado con un émbolo móvil, como se muestra en la figura 2 -1. En la figura 2 -1a, el estado inicial del gas se describe por su

Fig. 2 -1 Cuando un gas se comprime a temperatura constante el producto de su presión y su volumen siempre es constante, o sea, $P_1V_1 = P_2V_2$.

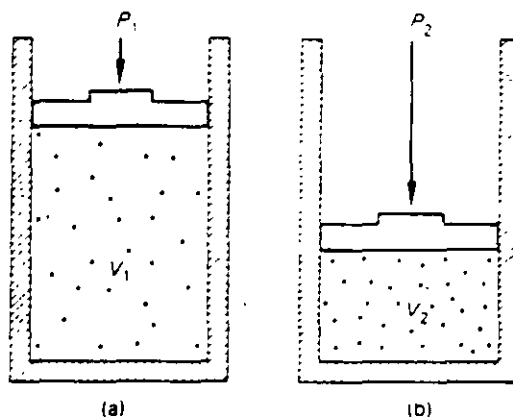
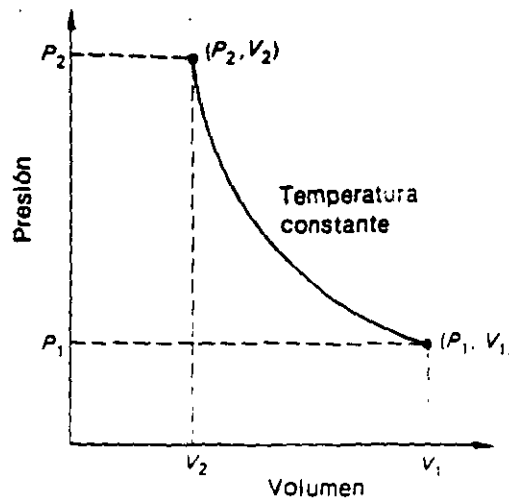


Fig. 2 -2 Diagrama P - V en el que se muestra que la presión de un gas ideal varía inversamente a su volumen.



presión P_1 y su volumen V_1 . Si el émbolo se presiona hacia abajo hasta la nueva posición indicada en la figura 2 -1b se incrementará su presión a P_2 , en tanto que el volumen disminuye a V_2 . Este proceso se muestra gráficamente en la figura 2 -2. Si éste ocurre sin un cambio en la temperatura, la ley de Boyle revela que

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Con constante
 m y T (2 -1)

En otras palabras, el producto de la presión y el volumen en el estado inicial es igual al producto de la nueva presión y volumen en el estado final. La ecuación (2 -1) es el postulado matemático de la ley de Boyle. La presión P debe ser la presión *absoluta* y no la presión *manométrica*.

EJEMPLO 2 -1

¿Qué volumen de hidrógeno en forma de gas a presión atmosférica es necesario para llenar un tanque de 2 ft³ a una presión absoluta de 2500 lb/in²?

Solución

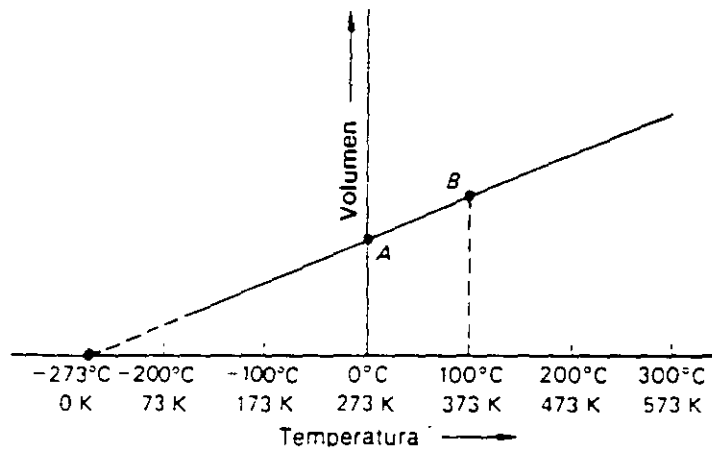
Si se recuerda que 1 atm es equivalente a 14.7 lb/in², entonces se aplica la ecuación (2 -1).

$$\begin{aligned} P_1 V_1 &= P_2 V_2 \\ (14.7 \text{ lb/in}^2) V_1 &= (2500 \text{ lb/in}^2)(2 \text{ ft}^3) \\ V_1 &= 340 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Nótese que no fue necesario convertir la presión en libras por in² en unidades de lb × ft² para ser congruentes con el volumen en pies³. Dado que P y V aparecen en ambos lados de la ecuación, sólo es necesario usar unidades congruentes para P y unidades congruentes para V . La unidad para P no tiene que ser congruente con la unidad escogida para V .

En el capítulo 1 se estudió que el volumen de un gas se incrementa directamente con su temperatura para ayudar a definir el cero absoluto. Se

Fig. 2 -3 Variación de volumen como una función de la temperatura. Cuando el volumen es extrapolado a cero, la temperatura de un gas está en cero absoluto (0 K).



encontró el resultado ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) al prolongar la línea de la gráfica de la figura 2 -3. Por supuesto, cualquier gas real se transformará en líquido antes de que su volumen alcance el cero. Pero la relación directa es una aproximación válida para la mayor parte de los gases que no están sujetos a condiciones extremas de temperaturas y presión.

La proporcionalidad directa entre el volumen y la temperatura fue probada experimentalmente por Jacques Charles en 1787. La *ley de Charles* se enuncia como sigue:

Ley de Charles: *Mientras la masa y la presión de un gas se mantengan constantes, el volumen del gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta.*

En general, se usará el subíndice 1 para referirse a un estado inicial de un gas y el subíndice 2 para el estado final. O sea, que una expresión más útil de la ley de Charles es

$$\boxed{\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}} \quad \text{con } P \text{ y } m \text{ constantes} \quad (2 -2)$$

En esta ecuación V_1 se refiere al volumen de un gas a temperatura absoluta T_1 , y V_2 es el volumen final de la misma muestra de gas cuando su temperatura absoluta es T_2 .

EJEMPLO 2 -2

Un globo grande lleno con aire tiene un volumen de 200 litros a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. ¿Cuál será su volumen a $57\text{ }^{\circ}\text{C}$ si la presión del gas no cambia?

Solución

Puesto que la ley de Charles se aplica para temperaturas absolutas, es necesario expresar las temperaturas inicial y final en Kelvin.

$$T_1 = 273\text{ K} \quad T_2 = 57 + 273 = 330\text{ K}$$

Ahora podemos sustituir y solucionar la ecuación (20-2) para V_2 .

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{200 \text{ litros}}{273 \text{ K}} = \frac{V_2}{330 \text{ K}}$$

$$V_2 = \frac{(200 \text{ litros} \times 330 \text{ K})}{273 \text{ K}} = 242 \text{ litros}$$

2-2 LEY DE GAY—LUSSAC

Las tres cantidades que determinan el estado de una masa de gas dada son: su presión, su volumen y su temperatura. La ley de Boyle maneja los cambios en presión y volumen bajo temperatura constante, y la ley de Charles se aplica para los cambios de volumen y temperatura bajo presión constante. La variación en la presión como una función de la temperatura se describe en la ley atribuida a Gay-Lussac.

Ley de Gay-Lussac: *Si el volumen de una muestra de gas permanece constante, la presión absoluta del gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta.*

Esto significa que aumentar al doble la presión aplicada a un gas causará que su temperatura absoluta aumente al doble también. En forma de ecuación, la ley de Gay-Lussac se puede escribir como

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \text{con } m \text{ y } V \text{ constantes} \quad (20-3)$$

EJEMPLO 2-3

Una llanta de automóvil es inflada a una presión manométrica de 30 lb/in² en un momento en que la presión ambiental es de 14.4 lb/in² y la temperatura es de 70 °F. Después de conducir, la temperatura del aire en la llanta aumenta a 100 °F. Si se supone que el volumen sólo varía ligeramente, ¿cuál será la nueva presión manométrica en la llanta?

Solución

La ley de Gay-Lussac se aplica para el volumen constante, pero antes se deben hacer las conversiones a presión absoluta y temperatura absoluta.

$$P_1 = 30 \text{ lb in}^{-2} + 14.4 \text{ lb in}^{-2} = 44.4 \text{ lb in}^{-2}$$

$$T_1 = 70 + 460 = 530 \text{ R} \quad T_2 = 100 + 460 = 560 \text{ R}$$

Ahora se calcula la nueva presión P_2 de la ecuación (20-3).

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{44.4 \text{ lb in}^{-2}}{530 \text{ R}} = \frac{P_2}{560 \text{ R}}$$

$$P_2 = \frac{(44.4 \text{ lb in}^{-2} \times 560 \text{ R})}{530 \text{ R}} = 46.9 \text{ lb in}^{-2}$$

Nótese que 46.9 lb/in^2 será la presión absoluta; la presión manométrica será 14.4 lb/in^2 menos.

$$\text{Presión manométrica} = 46.9 \text{ lb/in}^2 - 14.4 \text{ lb/in}^2 = 32.5 \text{ lb/in}^2$$

2.3 LEY GENERAL DE LOS GASES

Hasta ahora se han estudiado tres leyes que pueden emplearse para describir el comportamiento térmico de los gases. La ley de Boyle, como se da por la ecuación (2 -1), se aplica para una muestra de gas cuya temperatura permanece inalterable. La ley Charles, como se expresa en la ecuación (2 -2) se aplica para una muestra de gas a presión constante. La ley de Gay-Lussac de la ecuación (2 -3) es para una muestra de gas a volumen constante. Por desgracia, ninguna de esas condiciones se satisfacen casi nunca. En general, como resultado de un proceso térmico, un sistema sufre cambios en volumen, temperatura y presión. Una relación más general combina las tres leyes como sigue:

$$\boxed{\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}} \quad \text{con } m \text{ constante} \quad (2 -4)$$

donde (P_1, V_1, T_1) pueden considerarse como las coordenadas del estado inicial y (P_2, V_2, T_2) las coordenadas del estado final. En otras palabras, para una masa dada la razón (PV/T) es constante para cualquier gas ideal. La ecuación (2 -4) es fácil de recordar, ya que una "razón (PV/T) es siempre una razón".

EJEMPLO 2 -4

Un recipiente con oxígeno tiene un volumen interno de 20 litros y se encuentra a una presión absoluta $6 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ a 20°C . El oxígeno se emplea para una aeronave que puede volar a grandes alturas, en donde la presión absoluta es $7 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ y la temperatura es -20°C . ¿Qué volumen de oxígeno puede suministrar el recipiente en estas condiciones?

Solución

Después de convertir las temperaturas a la escala Kelvin absoluta, se aplica la ecuación (2 -4)

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{(6 \times 10^4 \text{ N/m}^2)(20 \text{ litros})}{293 \text{ K}} = \frac{(7 \times 10^4 \text{ N/m}^2)V_2}{253 \text{ K}}$$

$$V_2 = 1480 \text{ litros}$$

Considérese el efecto de un cambio en la masa sobre el comportamiento de los gases. Si la temperatura y el volumen de un gas se mantienen constantes, la adición de más gas dará como resultado un incremento proporcional de presión. Asimismo, si se fijan la presión y la temperatura, un incremento en la masa dará como resultado un incremento proporcional de volumen del recipiente. Es posible

combinar estas observaciones experimentales con la ecuación (2 -4) son casos especiales de una ecuación más general (2 -5)

$$\boxed{\frac{P_1 V_1}{m_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{m_2 T_2}} \quad (2 -5)$$

donde m_1 es la masa inicial y m_2 es la masa final. Un estudio de esta relación revelará que la ley de Boyle, la ley de Charles y la ecuación (2 -4) son casos especiales de una ecuación más general (2 -5).

EJEMPLO 2 -5

La presión manométrica en un tanque de almacenamiento de helio tiene un valor de 2000 lb/in² cuando la temperatura es 27 °C. En el transcurso de la noche se produce una fuga, encontrándose que la presión manométrica en la mañana siguiente es 1500 lb/in² a una temperatura de 17 °C. ¿Qué porcentaje de la masa inicial de helio permanece dentro del recipiente?

Solución

Ya que el volumen del recipiente permanece constante, $V_1 = V_2$ y la ecuación (20-5) da

$$\frac{P_1}{m_1 T_1} = \frac{P_2}{m_2 T_2}$$

La razón m_2/m_1 representa la fracción de la masa de helio remanente, por lo tanto

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{P_1 T_1}{P_2 T_2}$$

Las presiones y temperaturas se ajustan a sus valores absolutos de la siguiente manera

$$P_1 = 2000 \text{ lb in}^{-2} + 14.7 \text{ lb in}^{-2} = 2014.7 \text{ lb in}^{-2}$$

$$P_2 = 1500 \text{ lb in}^{-2} + 14.7 \text{ lb in}^{-2} = 1514.7 \text{ lb in}^{-2}$$

$$T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = 17 + 273 = 290 \text{ K}$$

Sustituyendo estos valores

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{(1514.7)(300)}{(2014.7)(290)} = 0.778$$

De este modo, el 77.8% de helio aún permanece dentro del recipiente.

La ecuación (2 -5) es muy general debido a que toma en cuenta las variaciones en presión, volumen, temperatura y masa de un gas. Sin embargo, la cantidad que afecta la presión y el volumen no es la masa de un gas sino el número de moléculas en el mismo. De acuerdo con la teoría cinética de los gases, la presión se debe a la colisión de las moléculas con las paredes del recipiente, o

sea, al incrementar el número de moléculas aumentará el número de partículas que golpean por segundo, aumentando de esta manera la presión del gas. Si se considera un proceso térmico que incluya cantidades del mismo gas, es válido aplicar la ecuación (2-5) ya que la masa es proporcional al número de moléculas.

Cuando se trata con diferentes clases de gas, como hidrógeno comparado con oxígeno, es necesario referirse a igual número de moléculas más bien que a masas iguales. Cuando se colocan en recipientes semejantes 6 g de hidrógeno, se originará una presión mucho mayor que 6 g de oxígeno, ya que hay muchas más moléculas de hidrógeno en 6 g de O_2 . Para mayor generalidad, debe recordarse la ecuación (2-5) para tener en cuenta las diferencias de masa. Empero, es necesario desarrollar primero métodos que relacionen la cantidad de un gas con el número de moléculas presentes.

2.4 MASA MOLECULAR Y MOL

Aunque la masa de átomos individuales es difícil de determinar debido a su tamaño, se han elaborado métodos experimentales adecuados para medir masas atómicas. Por ejemplo, se sabe que un átomo de helio tiene una masa de 6.65×10^{-24} g. Cuando se trabaja con cantidades macroscópicas como el volumen, la presión, o la temperatura, es mucho más conveniente comparar las *masas relativas* de átomos individuales.

Las masas atómicas relativas se basan en la masa de un átomo de referencia conocido como *carbono 12*. Asignado arbitrariamente 12 *unidades atómicas de masa* (u) a este átomo, se tiene un patrón para comparar las otras masas atómicas.

La *masa atómica* de un elemento es la masa de un átomo de dicho elemento comparado con la masa de un átomo de carbono tomado como 12 unidades atómicas de masa.

Sobre esta base, la masa atómica del hidrógeno es aproximadamente 1 u, y la del oxígeno es aproximadamente 16 u.

Una molécula consta de dos o más átomos en combinación química. La definición de masa molecular se obtiene de la definición de masa atómica relativa.

La *masa molecular* M es la suma de las masas atómicas de todos los átomos que componen la molécula.

Por ejemplo, una molécula de oxígeno (O_2) contiene 2 átomos de oxígeno; su masa molecular es $16 \text{ u} \times 2 = 32 \text{ u}$. Una molécula de bióxido de carbono (CO_2) contiene un átomo de carbono y 2 átomos de oxígeno. Así que la masa molecular del CO_2 es 44 u.

$$\begin{array}{r} 1 \text{ C} = 1 \times 12 = 12 \text{ u} \\ 2 \text{ O} = 2 \times 16 = 32 \text{ u} \\ \hline \text{CO}_2 = 44 \text{ u} \end{array}$$

Cuando se trabaja con gases se ha observado que tiene más significado tratar la cantidad de una sustancia presente en términos del número de moléculas presentes. Lo anterior se satisface al establecer una nueva unidad de medida llamada *mol*.

Un mol es la cantidad de sustancia que contiene el mismo número de partículas como átomos hay en 12 g de carbono 12.

Con base en esta definición, 1 mol de carbono debe ser igual a 12 g. Puesto que la masa molecular de cualquier sustancia se basa en el carbono 12 como patrón, se observa que:

Un mol es la masa en gramos numéricamente igual a la masa molecular de una sustancia.

Por ejemplo, 1 mol de hidrógeno (H_2) es 2 g; 1 mol de oxígeno (O_2) es 32 g; y 1 mol de bióxido de carbono (CO_2) es 44 g. En otras palabras, 2 g de H_2 , 32 g de O_2 , y 44 g de CO_2 tienen el mismo número de moléculas. Este número N_A se conoce como *número de Avogadro*.

La razón del número de moléculas N al número de moles n debe ser igual que el número de Avogadro N_A . Simbólicamente,

$$N_A = \frac{N}{n} \quad \text{Moléculas por mol} \quad (2-6)$$

Hay varios métodos experimentales para determinar el número de Avogadro. El valor aceptado para N_A es

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ moléculas por mol} \quad (2-7)$$

La forma más sencilla para determinar el número de moles n que contiene un gas es dividir su masa m en gramos por su masa molecular M . De este modo

$$\boxed{n = \frac{m}{M}} \quad \text{número de moles} \quad (2-8)$$

EJEMPLO 2 -6 a) ¿Cuántos moles de gas están presentes en 200 g de CO_2 ? b) ¿Cuántas moléculas hay?

Solución a) La masa molecular de CO_2 es 44 u o 44 g/mol. Por lo tanto

$$n = \frac{m}{M} = \frac{200 \text{ g}}{44 \text{ g/mol}} = 4.55 \text{ mol}$$

Solución b)

De la ecuación (2 -9)

$$n = \frac{N}{N_A} = 4.55 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} V &= (6.023 \times 10^{23} \text{ moléculas mol}^{-1} \times 4.55 \text{ mol}) \\ &= 2.74 \times 10^{24} \text{ moléculas} \end{aligned}$$

2 -5 LEY DEL GAS IDEAL

Volviendo a la búsqueda de una ley más general de los gases, si se sustituye el número de moles n por la masa m en la ecuación (2 -5), puede escribirse

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \quad (2 -9)$$

Esta ecuación representa la forma más útil de una ley general de los gases cuando se conocen todos los parámetros de un estado inicial y de un estado final exceptuando una cantidad particular.

Una expresión opcional de la ecuación (2 -9) es

$$\frac{PV}{nT} = R \quad (2 -10)$$

donde R se denomina *constante universal de los gases*. Si puede evaluarse R para ciertos valores conocidos de P , V , n y T , la ecuación (2 -10) puede usarse directamente sin necesidad de tener información acerca de los estados inicial y final. Esto se cumple al calcular el valor de R para 1 mol de un gas a presión y temperatura normal (PTS) de 0 °C y 1 atm. Ya que 1 mol de cualquier gas contiene el mismo número de moléculas, el volumen molar depende de la temperatura y la presión del gas.

A una temperatura de 273 K y una presión de 1 atm, 1 mol de cualquier gas ocupa un volumen de 22.4 litros.

De este modo se encuentra que el valor de la constante universal de los gases es

$$\frac{PV}{nT} = \frac{(1 \text{ atm}) \times (22.4 \text{ litros})}{(1 \text{ mol}) \times (273 \text{ K})}$$

$$R = 0.0821 \text{ litro} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad (2 -11)$$

El valor numérico de R depende de las unidades que se escojan para P , V , y T . Otros valores son

$$\begin{aligned} R &= 8.32 \times 10^7 \text{ ergs} \cdot \text{mol} \cdot \text{K} \\ &= 8.32 \text{ J mol} \cdot \text{K} \\ &= 2.0 \text{ cal mol} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

La ecuación (2-10) se denomina *ley de los gases ideales* y suele escribirse en la forma

$$\boxed{PV = nRT} \quad (2-12)$$

EJEMPLO 2-7

¿Cuántos gramos de oxígeno ocuparán un volumen de 1600 litros a una presión de 2 atm y una temperatura de 190 °C?

Solución

Resolviendo para n en la ley de los gases ideales, se obtiene,

$$\begin{aligned} n &= \frac{PV}{RT} = \frac{(2 \text{ atm})(1600 \text{ litros})}{(0.0821 \text{ atm} \cdot \text{litro mol}^{-1} \cdot \text{K})(463 \text{ K})} \\ &= 84.2 \text{ mol} \end{aligned}$$

La masa de 84.2 mol de oxígeno se encuentra en la ecuación (2-8):

$$m = nM = (84.2 \text{ mol})(32 \text{ g mol}) = 2694 \text{ g}$$

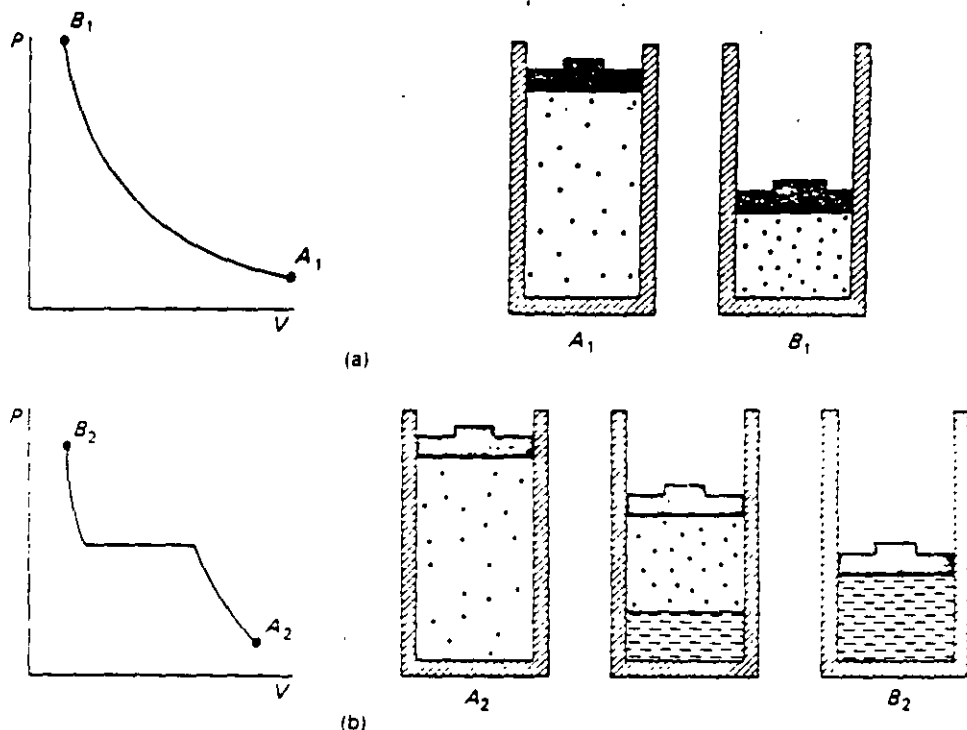
2-6 LICUEFACCIÓN DE UN GAS

Se ha definido un gas ideal como aquél cuyo comportamiento térmico es completamente inafectado por fuerzas cohesivas o volumen molecular. Dicho gas, al ser comprimido a temperatura constante, permanecerá como tal, independientemente de la magnitud de la presión que se le aplique. Es decir, que obedecerá la ley de Boyle a cualquier temperatura. La fuerza de enlace necesaria para la licuefacción nunca están presentes.

Todos los gases reales experimentan fuerzas intermoleculares; no obstante, a presiones muy bajas y temperaturas altas los gases reales se comportan en forma muy parecida a un gas ideal. La ley de Boyle se aplica ya que las fuerzas intermoleculares en esas condiciones son prácticamente despreciables. Un gas real a altas temperaturas puede comprimirse en un cilindro, como en la figura 2-4, a presiones relativamente altas sin que se licúe. Al trazar la gráfica del incremento en presión como función del volumen se obtiene la curva $A_1 B_1$. Obsérvese la similitud entre esta curva y la correspondiente para un gas ideal, como se muestra en la figura 2-2.

Si el mismo gas se comprime a una temperatura mucho más baja, comenzará a condensarse a una presión y volumen particulares. En caso de que la

Fig. 2 -4
 a) Compresión de un gas ideal a cualquier temperatura o un gas real a alta temperatura. b) Licuefacción de un gas real cuando se comprime a temperaturas más bajas.



compresión continúe, el gas se licuará esencialmente a presión constante hasta que esté totalmente condensado. En dicho punto ocurre una elevación brusca de la presión con una ligera disminución en volumen. En la gráfica de la figura 2 -4 se muestra el proceso completo por medio de la curva A_2B_2 .

Ahora bien, considérese la compresión a una temperatura alta y efectúese el experimento a temperaturas cada vez menores. Finalmente, se alcanzara una temperatura a la cual el gas comienza a licuarse bajo compresión. La temperatura más alta a la cual ocurre la licuefacción se llama *temperatura crítica*.

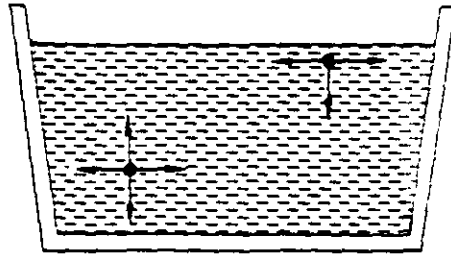
La temperatura crítica de un gas es la temperatura por arriba de la cual el gas no se licuará a pesar de la cantidad de presión que se le aplique.

Si quiere licuarse cualquier gas, primero debe enfriarse por debajo de su temperatura crítica. Antes de que este concepto fuera comprendido, los científicos trataron de licuar oxígeno al someterlo a presiones extremas. Los intentos que ellos realizaron fueron infructuosos ya que la temperatura crítica del oxígeno es $-119\text{ }^\circ\text{C}$. Después de enfriar el gas por debajo de esta temperatura puede licuarse fácilmente por compresión.

2 -7 VAPORIZACIÓN

En el capítulo 1 se estudió detalladamente el proceso de vaporización en el cual una cantidad definida de calor es necesaria para cambiar de la fase líquida a la fase vapor. Existen tres formas en las que puede ocurrir dicho cambio: 1) evaporación, 2) ebullición, y 3) sublimación. Durante la evaporación se produce

Fig. 2 -5 Una molécula próxima a la superficie de un líquido experimenta una fuerza neta hacia abajo. Sólo las moléculas más energéticas tienen la posibilidad de sobrepasar estas fuerzas y abandonar el líquido.



vaporización en la superficie de un líquido a medida que las moléculas más energéticas abandonan la superficie. En el proceso de ebullición ocurre la vaporización dentro del cuerpo del líquido. La sublimación sucede cuando un sólido se vaporiza sin que pase por la fase líquida. En cada caso, una cantidad de energía igual al calor latente de vaporización o sublimación debe ser perdida por el líquido o sólido.

La teoría molecular de la materia supone que un líquido consiste en moléculas agrupadas regularmente cerca unas de otras.

Las moléculas tienen una energía cinética medida que está relacionada con la temperatura del líquido. No obstante, debido a las colisiones al azar o movimiento vibratorio, no todas las moléculas se mueven a la misma velocidad; algunas se mueven más rápidamente que otras.

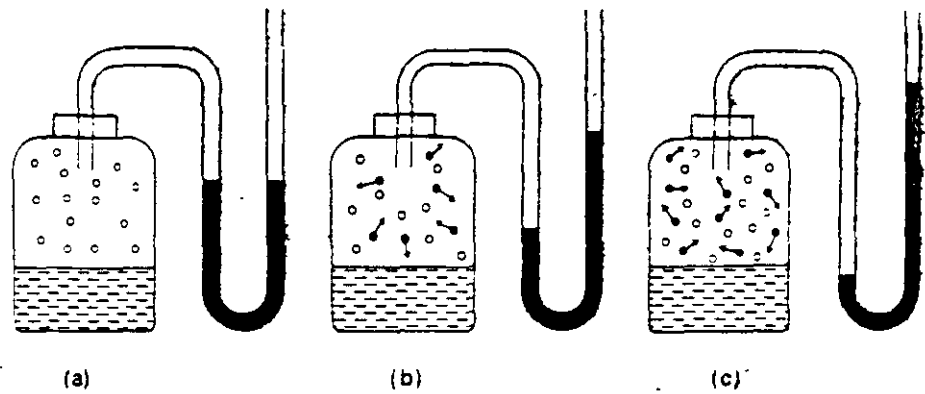
Debido a que las moléculas están muy cercanas entre sí, las fuerzas entre ellas son relativamente grandes. A medida que una molécula se aproxima a la superficie de un líquido, como se muestra en la figura 2 -5, experimenta una fuerza resultante hacia abajo; la fuerza neta resulta del hecho de que no hay moléculas de líquido por encima de la superficie que equilibren la atracción hacia abajo de aquellas que están debajo de la superficie. Sólo las partículas que se *mueven más rápidamente* pueden aproximarse a la superficie con la suficiente energía para sobrepasar las fuerzas que se oponen. Se dice que estas moléculas se *evaporan* porque al dejar el líquido se convierten en partículas de un gas típico. Químicamente las moléculas no han cambiado; la única diferencia entre un líquido y su vapor es la distancia que separa las moléculas.

Ya que sólo las moléculas más energéticas son capaces de desprenderse de la superficie, se reduce la energía cinética media de las moléculas restantes en el líquido. Por lo tanto, *la evaporación es un proceso de enfriamiento*. (Si se colocan unas gotas de alcohol en el dorso de la mano, se sentirá una sensación de enfriamiento.) La rapidez de evaporación es afectada por la temperatura del líquido, el número de moléculas encima del líquido (la presión), el área de la superficie expuesta y la ventilación.

2 -8 PRESIÓN DE VAPOR

Considérese un frasco parcialmente lleno con agua, como se muestra en la figura 2 -6. La presión que las moléculas ejercen encima de la superficie del agua se mide mediante un manómetro de mercurio de tubo abierto. En la figura 2 -6a hay tantas moléculas de aire dentro del frasco como las contenidas en un volumen

Fig. 2 -6 Medición de la presión de vapor de un líquido.
 a) Únicamente la presión del aire.
 b) Presión del vapor parcial.
 c) Presión de vapor saturado.



igual fuera de él, es decir, que la presión dentro del frasco es igual a 1 atm, como se indica por los niveles iguales de mercurio en el manómetro.

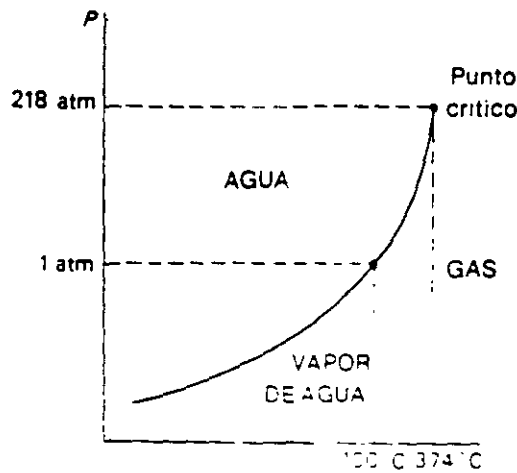
Cuando una molécula de líquido de alta energía se desprende de la superficie se convierte en una molécula de vapor y se mezcla con las moléculas de aire que se encuentran por encima del líquido. Estas moléculas de vapor chocan con las moléculas de aire, otras moléculas de vapor y las paredes del frasco. Las moléculas de vapor adicionales originan que se eleve la presión dentro del frasco, como se indica en la figura 2 -6b. Las moléculas de vapor también pueden rebotar de nuevo hacia el líquido donde se mantienen unidas como moléculas en el líquido. A este proceso se le llama *condensación*. Finalmente, la rapidez de evaporación será igual a la de condensación, obteniéndose la condición de equilibrio que se muestra en la figura 2 -6c. En estas condiciones se dice que el espacio por encima del líquido está *saturado*. La presión que ejerce el vapor saturado en contra de las paredes del frasco se llama *presión de vapor saturado*. Esta es una característica de la sustancia y de la temperatura, independientemente del volumen del vapor.

La presión de vapor saturado de una sustancia es la presión adicional ejercida por las moléculas del vapor sobre la sustancia y sus alrededores en condiciones de saturación.

Una vez que se obtiene una condición de saturación para una sustancia y su vapor a una temperatura particular, la presión del vapor permanece esencialmente constante. Si la temperatura aumenta, las moléculas en el líquido adquirirán mayor energía y en consecuencia la evaporación ocurrirá más rápidamente. La condición de equilibrio se mantiene hasta que otra vez la rapidez de condensación se equilibra con la rapidez de evaporación. Por lo tanto, la presión de vapor saturado de una sustancia se incrementa al elevarse la temperatura.

En la figura 2 -7 se grafica la curva para la presión del vapor saturado de agua. Adviértase que la presión de vapor aumenta rápidamente con la temperatura. A temperatura ambiente (20 °C) es aproximadamente 17.5 mm de mercurio; a

Fig. 2 -7 Curva de vaporización para el agua. Cualquier punto sobre la curva representa una condición de presión y temperatura que permite que el agua hierva. La curva finaliza marcadamente a una temperatura crítica ya que el agua puede existir sólo como gas mas allá de este punto.



50 °C se incrementa a 92.5 mm; y a 100 °C es igual a 760 mm o 1 atm. Este último punto es importante para distinguir entre *evaporación* y *ebullición*.

Este último punto es importante para distinguir entre *evaporación* y *ebullición*.

Cuando un líquido hierve, puede observarse que las burbujas de su vapor se elevan hacia la superficie del líquido. El hecho de que dichas burbujas sean estables y no se desintegren indica que la presión dentro de la burbuja es igual a la presión fuera de ella. La presión dentro de la burbuja es la presión de vapor a esa temperatura; la presión externa es la presión a esa profundidad particular dentro del líquido. En esta condición de equilibrio, la vaporización ocurre libremente en todo el líquido, ocasionando una agitación dentro del mismo.

La *ebullición* se define como la vaporización dentro de un líquido cuando su presión de vapor es igual a la presión en el mismo.

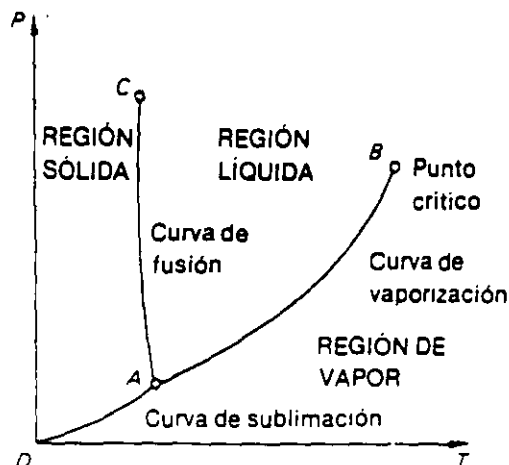
Si la presión sobre la superficie del líquido es 1 atm, como en el caso de un recipiente abierto, la temperatura a la cual ocurre la ebullición se llama *punto normal de ebullición* de ese líquido. El punto normal de ebullición del agua es 100°C, ya que es la temperatura a la cual la presión de vapor del agua es 1 atm (760 mm de mercurio)

Si la presión sobre cualquier superficie de un líquido es menor que 1 atm, la ebullición ocurrirá a una temperatura menor que el punto normal de ebullición. Si la presión externa es mayor que 1 atm, la ebullición se producirá a una temperatura mayor.

2 -9 PUNTO TRIPLE

Hasta aquí se ha estudiado con detalle el proceso de vaporización, y en la figura 2 -7 se construyó una curva de vaporización para el agua. Esta curva se representa por la línea *AB* en el diagrama general de fases de la figura 2 -8. Cualquier punto sobre esta curva representa una temperatura y una presión en las cuales el agua y su vapor pueden coexistir en equilibrio.

Fig. 2 -8 Diagrama de fase del punto triple para el agua u otra sustancia que se expanda al congelarse.



También puede trazarse una curva similar para las temperaturas y presiones en las cuales una sustancia en la fase sólida pueda coexistir con su fase líquida. Una curva como ésta se llama *curva de fusión*. La curva de fusión para el agua se representa mediante la línea AC en el diagrama de fase. En cualquier punto sobre esta curva, la rapidez con la cual se funde el hielo es igual a la rapidez con la que se congela el agua. Nótese que en cuanto la presión se incrementa, la temperatura de fusión (o la temperatura de congelación) disminuye.

Una tercera gráfica, llamada *curva de sublimación*, puede realizarse para mostrar las temperaturas y presiones a las cuales un sólido puede coexistir con su vapor. La curva de sublimación para el agua se representa por la línea AD de la figura 2 -8.

Considérese con más atención el diagrama de fase para el agua a fin de ejemplificar la utilidad de una gráfica de este tipo para cualquier sustancia. Las coordenadas de cualquier punto sobre la gráfica representan una presión particular P y una temperatura T determinadas. El volumen debe considerarse constante para cualquier cambio térmico indicado por la gráfica. Para cualquier punto que cae dentro de la horquilla, entre las curvas de vaporización y de fusión, el agua existirá en su fase líquida. También se indican las regiones de vapor y sólido en el diagrama. El punto A, en donde las tres curvas se intersectan, se llama *punto triple* para el agua. A esta temperatura y presión, el hielo, el agua líquida y el vapor de agua coexisten en equilibrio. Se ha demostrado mediante mediciones cuidadosas que el punto triple para el agua se encuentra a $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 4.62 mm de mercurio (Hg).

2 -10 HUMEDAD

El aire de la atmósfera está formado básicamente por nitrógeno y oxígeno, con pequeñas cantidades de vapor de agua y otros gases. Con frecuencia es útil precisar el contenido de vapor de agua de la atmósfera.

La **humedad absoluta** se define como la masa de vapor de agua por unidad de volumen de aire.

Por ejemplo, si por cada metro cúbico de aire hay 7 g de vapor de agua, la humedad absoluta es 7 g/m³. Otras unidades para la humedad absoluta son gramos por pie cúbico y gramos por pie cúbico (7000 gramos = 1 lb).

Un método más útil para expresar el contenido de vapor de agua en el aire es comparar la presión de vapor real a una temperatura particular con la presión de vapor saturado a esa temperatura. Se dice que la atmósfera está saturada cuando contiene la máxima cantidad de agua posible para cierta temperatura. Añadir mayor cantidad de moléculas de vapor simplemente dará por resultado una cantidad igual de condensación.

La **humedad relativa** se define como la razón de la presión real de vapor en el aire a la presión de vapor saturado a esa temperatura.

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{presión real de vapor}}{\text{presión de vapor saturado}} \quad (2-13)$$

La humedad relativa suele expresarse como un porcentaje.

Si el aire en una habitación no está saturado, puede saturarse añadiendo más vapor de agua al aire o disminuyendo la temperatura ambiente hasta que el vapor presente sea suficiente. *La temperatura a la que debe enfriarse el aire a presión constante a fin de producir saturación se llama punto de rocío.* Por tanto, si se pone hielo en un vaso de agua, las paredes exteriores del vaso se humedecerán cuando su temperatura alcance el punto de rocío. Si se conoce la temperatura y el punto de rocío, puede calcularse la humedad relativa a partir de las tablas de presión de vapor saturado. La tabla 2-1 es una lista de la presión de vapor saturado para el agua a varias temperaturas.

Tabla 2-1 Presión de vapor saturado para el agua

Temperatura		Presión, mm Hg	Temperatura		Presión, mm Hg
°C	°F		°C	°F	
0	32	4.62	50	122	92.5
5	41	6.5	60	140	149.4
10	50	9.2	70	158	233.7
15	59	12.8	80	176	355.1
17	62.6	14.5	85	185	433.6
19	66.2	16.5	90	194	525.8
20	68	17.5	95	203	633.9
22	71.6	19.8	98	208.4	707.3
24	75.2	22.4	100	212	760.0
26	78.8	25.2	103	217.4	845.1
28	82.4	28.3	105	221	906.1
30	86	31.8	110	230	1074.6
35	95	42.2	120	248	1489.1
40	104	55.3	150	302	3570.5

EJEMPLO 2 -8

En un día claro, la temperatura del aire es 86 °F, y el punto de rocío es 50 °F. ¿Cuál es la humedad relativa?

Solución

De la tabla 2 -1 se obtiene que el valor de la presión del vapor saturado a 50 °F es 9.2 mm. La presión del vapor saturado a 86 °F es 31.8 mm. De la ecuación (20-13),

$$\text{humedad relativa} = \frac{9.2}{31.8} = 0.29$$

La humedad relativa es del 29%.

RESUMEN

Las propiedades térmicas de la materia se deben comprender si se desea aplicar las diversas leyes analizadas en este capítulo. La relación entre masa, temperatura, volumen y presión permite explicar y predecir el comportamiento de los gases. Los conceptos más importantes estudiados en este capítulo se resumen a continuación:

- Una forma útil de la ley general de los gases que no incluye el empleo de moles se escribe basándose en que PV/mT es constante. Cuando un gas en estado 1 cambia a otro estado 2, se puede escribir

$$\frac{P_1 V_1}{m_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{m_2 T_2}$$

P = presión

V = Volumen

m = masa

T = temperatura absoluta

Cuando una o más de los parámetros m , P , T o V es constante, ese factor desaparece en ambos lados de la ecuación precedente. La *ley de Boyle*, la *ley de Charles* y la *ley de Gay-Lussac* son los casos especiales siguientes:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

- Cuando se aplica la ley general de los gases en cualquiera de sus formas, se debe recordar que la presión es *presión absoluta* y que la temperatura es *temperatura absoluta*.

Presión absoluta = presión manométrica + presión atmosférica

$$T_K = t_C + 273 \quad T_R = t_F + 460$$

Por ejemplo, la presión medida en una llanta de automóvil es de 30 lb/in² a 37 °C. Estos valores se deben ajustar antes de sustituirlos en las leyes de los gases:

$$P = 30 \text{ lb/in}^2 + 14.7 \text{ lb/in}^2 = 44.7 \text{ lb/in}^2 \quad (\text{absoluto})$$

$$T = 37 + 273 = 310 \text{ K}$$

- Una forma más general de la ley de los gases se obtiene al emplear los conceptos de masa molecular M , y el número de moles n para un gas. El número de moléculas en 1 mol es el número de Avogadro N_A .

$$N_A = \frac{m}{M}$$

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ moléculas/mol}$$

Número
de Avogadro

El número de moles se encuentra al dividir la masa del gas (en gramos) entre su masa molecular M :

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

Número de moléculas

Con frecuencia se desea determinar la masa, presión, volumen o temperatura de un gas en un solo estado. La ley ideal de los gases utiliza el concepto molar para llegar a una ecuación más específica:

$$PV = nRT$$

$$R = 0.0821 \text{ litros} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}$$

Se debe notar que el uso de la constante que se da arriba limita las unidades de P , V , T y n a aquellas que están en la constante.

- La *humedad relativa* se puede calcular a partir de las tablas de saturación-vapor-presión, de acuerdo con la siguiente definición:

$$\text{humedad relativa} = \frac{\text{presión real de vapor}}{\text{presión de vapor saturado}}$$

Recuérdese que la presión *real* de vapor a una temperatura particular equivale a la presión de vapor *saturado* para la temperatura a punto de rocío. Véase el ejemplo del texto.

PREGUNTAS

20-1. Defínense los siguientes términos:

- | | |
|-------------------|------------------------|
| a) Gas ideal | j) Masa molecular |
| b) Ley de Boyle | k) Número de Avogadro |
| c) Ley de Charles | l) Ley del gas ideal |
| d) Masa atómica | m) Temperatura crítica |
| e) Mol | n) Presión de vapor |
| f) Evaporación | o) Punto triple |
| g) Ebullición | p) Humedad absoluta |
| h) Sublimación | q) Humedad relativa |
| i) Saturación | r) Punto de rocío |

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

LA MECANICA DE LOS FLUIDOS Y LA HIDRAULICA

La rama de la mecánica aplicada que estudia el comportamiento de los fluidos ya sea en reposo o en movimiento constituye la mecánica de los fluidos y la hidráulica. En el desarrollo de los principios de la mecánica de los fluidos algunas de las propiedades de los fluidos juegan un papel preponderante, mientras que otras no influyen muy poco o nada. En la estática de los fluidos, el peso específico es la propiedad importante, mientras que en el flujo de fluidos la densidad y la viscosidad son las que predominan. Cuando tiene lugar una compresibilidad apreciable es necesario considerar los principios de la termodinámica. Al intervenir presiones manométricas negativas la tensión de vapor pasa a ser importante y la tensión superficial afecta a la estática o cinemática de los fluidos cuando las secciones de paso son pequeñas.

DEFINICION DE FLUIDO

Los fluidos son sustancias capaces de <<fluir>> y que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio, los fluidos no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Todos los fluidos son comprensibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma. Los fluidos pueden dividirse en líquidos y gases. Las diferencias esenciales entre líquidos y gases son (a) los líquidos son prácticamente incompresibles y los gases son comprensibles, por lo que en muchas ocasiones hay que tratarlos como tales y (b) los líquidos ocupan un volumen definido y tienen superficies libres mientras que una masa dada de gas se expande hasta ocupar todas las partes del recipiente que lo contenga.

SISTEMA TECNICO DE UNIDADES

Las magnitudes fundamentales seleccionadas son la longitud, fuerza y tiempo. Las tres unidades fundamentales correspondientes son el metro para la longitud, el kilogramo fuerza (o kilogramo peso) y el segundo. Las otras unidades pueden deducirse a partir de éstas. Así, la unidad de volumen es el m³, la unidad de la aceleración el m/seg², la de trabajo el kgm y la unidad de presión el kg/m². Algunos datos pueden venir dados en otras unidades y deben convertirse al sistema metro-kilogramo fuerza-segundo antes de aplicarlos a la solución de los problemas .

La unidad de masa en este sistema, la UTM (unidad técnica de masa), se establece a partir de las unidades de fuerza y de aceleración. Para un cuerpo que cae en el vacío la aceleración a que está sometido es la de gravedad ($g = 9,81 \text{ m/seg}^2$ al nivel del mar) y la única fuerza que actúa es su peso. A partir del segundo principio de Newton,

$$\text{fuerza en kg} = \text{masa en UTM} \times \text{aceleración en m/seg}^2$$

De aquí $\text{peso en kg} = \text{masa en UTM} \times g(9,81 \text{ m/seg}^2)$

o $\text{masa } M \text{ en UTM} = \frac{\text{peso } W \text{ en kg}}{g(9,81 \text{ m/seg}^2)}$

PESO ESPECIFICO

El peso específico w de una sustancia es el peso de la unidad de volumen de dicha sustancia. En los líquidos, w puede considerarse constante para las variaciones ordinarias de presión. El peso específico del agua para las temperaturas más comunes es de 1000 kg/m^3

Los pesos específicos de los gases pueden calcularse mediante la ecuación de estado de los gases o

$$\frac{pw_s}{T} = R \text{ (leyes de Charles y Boyle)}$$

donde p es la presión absoluta en kg/m^2 , v_s el volumen específico o volumen ocupado por la unidad de peso en m^3/kg . T la temperatura absoluta en grados Kelvin ($^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273$) y R la constante del gas en m°K . Como $w = 1/v_s$, la ecuación anterior puede escribirse.

$$w = \frac{p}{RT}$$

DENSIDAD DE UN CUERPO ρ (ro) = masa por unidad de volumen = w/g .

En el sistema técnico de unidades, la densidad del agua es $1000/9,80665 = 101,972$ (≈ 102) UTM/m^3 o $\text{kg seg}^2/\text{m}^4$. En el sistema cgs la densidad del agua es 1 g/cm^3 a 4°C .

DENSIDAD RELATIVA DE UN CUERPO

La densidad relativa de un cuerpo es un número adimensional que viene dado por la relación del peso del cuerpo, al peso de un volumen igual de una sustancia que se toma como referencia. Los sólidos y líquidos se refieren al agua a 4°C , mientras que los gases se refieren al aire libre de CO_2 e hidrógeno a 0°C y Atm de presión, como condiciones normales. Ejemplo,

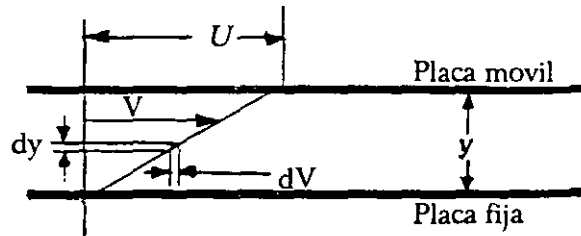
$$\begin{aligned} \text{densidad relativa de una sustancia} &= \frac{\text{peso de la sustancia}}{\text{peso de igual volumen de agua}} \\ &= \frac{\text{peso específico de la sustancia}}{\text{peso específico del agua}} \end{aligned}$$

Así, si la densidad relativa de un aceite es $0,750$ su peso específico será $0,750 (1000 \text{ kg/m}^3) = 750 \text{ kg/m}^3$. La densidad relativa del agua es $1,00$ y la del mercurio $13,57$. La densidad relativa de una sustancia viene dada por el mismo número en cualquier sistema de unidades

VISCOSIDAD DE UN FLUIDO

La viscosidad de un fluido es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas constantes. La viscosidad se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas del fluido.

Se consideran dos placas planas y paralelas de grandes dimensiones, separadas una pequeña distancia y , y con el espacio entre ellas lleno de fluido. Se supone que la placa superior se mueve a una velocidad constante U al actuar sobre ella una fuerza F , también constante. El fluido en contacto con la placa móvil se adhiere a ella moviéndose a la misma velocidad U , mientras que el fluido en contacto con la placa fija permanecerá en reposo.



Si la separación y y la velocidad U no son muy grandes, la variación de la velocidad (gradiente) vendrá dada por una línea recta. La experiencia ha demostrado que la fuerza F varía con el área de la placa, con la velocidad U e inversamente con la separación y . Como por triángulos semejantes, $U/y = dV/dy$, tenemos.

$$F \frac{AU}{y} = A \frac{dV}{dy} \circ \frac{F}{A} = \tau \propto \frac{dV}{dy} \quad (5)$$

donde $t = F/A =$ tensión o esfuerzo cortante. Al introducir la constante de proporcionalidad μ (μ), llamada viscosidad absoluta o dinámica,

$$\tau = \mu \frac{dV}{dy} \quad \text{o} \quad \mu = \frac{\tau}{dV/dy}$$

las unidades de μ son $\frac{\text{kg seg}}{\text{m}^2}$, ya que $\frac{\text{kg/m}^2}{(\text{m/seg})/\text{m}} = \frac{\text{kg seg}}{\text{m}^2}$ los fluidos que siguen la relación(5) se llaman fluidos newtonianos

Otro coeficiente de viscosidad, llamado viscosidad cinemática, viene definido por

$$\text{viscosidad cinemática } \nu (\text{ni}) = \frac{\text{viscosidad absoluta } \mu}{\text{densidad}}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{w/g} = \frac{\mu g}{w}$$

las unidades de ν son $\frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$ ya que $\frac{\text{kg seg/m}^2}{\text{kg/m}^3} (\text{m/seg}^2) = \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$

Las viscosidades en los manuales vienen dadas normalmente en poises y stokes (unidades del sistema cgs) y en ocasiones en grados o segundos Saybolt, a partir de medidas en viscosímetros.

En los líquidos la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura, pero no se ve afectada apreciablemente por las variaciones de presión. La viscosidad absoluta de los gases aumenta al aumentar la temperatura, pero casi no varía con la presión. Como el peso específico de los gases varía con la presión (a temperatura constante), la viscosidad cinemática es inversamente proporcional a la presión. Sin embargo, de la ecuación anterior, $\mu_g = \nu v$.

PRESION DE VAPOR

Cuando tiene lugar el fenómeno de la evaporación dentro de un espacio cerrado, la presión parcial que dan lugar las moléculas de vapor se llama presión de vapor. Las presiones de vapor dependen de la temperatura, aumentando con ella.

TENSION SUPERFICIAL

Una molécula en el interior de un líquido está sometida a la acción de fuerzas atractivas en todas las direcciones, siendo la resultante nula. Pero si la molécula está en la superficie del líquido, sufre la acción de un conjunto de fuerzas de cohesión, cuya resultante es perpendicular a la superficie. De aquí que sea necesario consumir cierto trabajo para mover las moléculas hacia la superficie venciendo la resistencia de estas fuerzas, por lo que las moléculas superficiales tienen más energía que las interiores.

La tensión superficial de un líquido es el trabajo que debe realizarse para llevar moléculas en número suficiente desde el interior del líquido hasta la superficie para crear una nueva unidad de superficie (kgm/m^2). Este trabajo es numéricamente igual a la fuerza tangencial de contracción que actuará sobre una línea hipotética de longitud unidad situada en la superficie (kg/m).

En la mayoría de los problemas presentados en las mecánicas de fluidos elementales la tensión superficial no es de particular importancia. Se dan valores de la tensión superficial o (σ) para el agua en contacto con el aire.

CAPILARIDAD

La elevación o descenso de un líquido en un tubo capilar (o en situaciones físicas análogas, tales como en medios porosos) vienen producidos por la tensión superficial, dependiendo de las magnitudes relativas de la cohesión del líquido y de la adhesión del líquido a las paredes del tubo. Los líquidos ascienden en tubos que mojan (adhesión > cohesión) y descienden en tubos a los que no mojan (cohesión > adhesión). La capilaridad tiene importancia en tubos de diámetros aproximadamente menores de 10 mm.

PRESION DE FLUIDO

La presión de un fluido se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y actúa normalmente a cualquier superficie plana. En el mismo plano horizontal el valor de la presión en un líquido es igual en cualquier punto. Las medidas de presión se realizan con los manómetros, que pueden ser de diversas formas. De no advertir lo contrario, a través de todo el libro las presiones serán las presiones relativas o manométricas. La presión manométrica representa el valor de la presión con relación a la presión atmosférica.

LA PRESION viene expresada por una fuerza dividida por una superficie. En general,

$$p \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \frac{dP \text{ (kg)}}{dA \text{ (m}^2\text{)}}$$

Cuando la fuerza P actúa uniformemente distribuida sobre una superficie, tenemos

$$p \text{ (kg/m}^2\text{)} = \frac{P \text{ (kg)}}{A \text{ (m}^2\text{)}} \text{ y } p' \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \frac{P \text{ (kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

DIFERENCIA DE PRESIONES

La diferencia de presiones entre dos puntos a distintos niveles en un líquido viene dada por

$$p_2 - p_1 = w(h_2 - h_1) \text{ en kg/m}^2$$

donde w = peso específico de líquido (kg/m^3) y $h_2 - h_1$ = diferencia en elevación (m)

Si el punto 1 está en la superficie libre del líquido y h es positiva hacia abajo, la ecuación anterior se transforma en

$$p = wh \text{ [en kg/m}^2 \text{ (man)]}$$

Para obtener la presión en kg/cm^2 ,

$$p' = \frac{P}{10^4} = \frac{wh}{10^4} \text{ [en kg/cm}^2 \text{ (man)]}$$

Estas ecuaciones son aplicables en tanto que w se mantenga constante (o varía tan ligeramente con h , que no introduzca un error significativo en el resultado)

VARIACIONES DE LA PRESION EN UN FLUIDO COMPRESIBLE.

Las variaciones de presión en un fluido compresible son, por lo general, muy pequeñas ya que los pesos específicos son pequeños, como también lo son las diferencias en elevación consideradas en la mayoría de los cálculos en la hidráulica. Cuando se han de tener en cuenta para pequeñas diferencias en elevación dh , la ley de variación de la presión puede escribirse en la forma

$$dp = - w dh$$

El signo negativo indica que la presión disminuye al aumentar la altitud, con h positiva hacia arriba.

ALTURA O CARGA DE PRESION h

La altura de presión h representa la altura de una columna de fluido homogéneo que dé la presión dada. Así

$$h \text{ (m de fluido)} = \frac{p \text{ (kg/m}^2\text{)}}{w \text{ (kg/m}^3\text{)}}$$

MODULO VOLUMETRICO DE ELASTICIDAD (E)

El módulo volumétrico de elasticidad expresa la compresibilidad de un fluido. Es la relación de la variación de presión a la variación de volumen por unidad de volumen.

$$E = \frac{dp'}{-dw/v} = \frac{\text{kg/cm}^2}{\text{m}^3/\text{m}^3} = \text{kg/cm}^2$$

COMPRESION DE LOS GASES

La compresión de los gases puede tener lugar de acuerdo con diversas leyes de termodinámica. Para la misma masa de gas sujeta a dos estados diferentes.,

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2} = WR \quad \text{y} \quad \frac{P_1}{w_1 T_1} = \frac{P_2}{w_2 T_2} = R$$

donde p = presión absoluta en kg/m^2 , v = volumen en m^3 , W = peso en kg .
 w = peso específico en kg/m^3 , R = constante del gas en $\text{m}^3/\text{kg}^\circ\text{K}$,
 T = temperatura absoluta en grados Kelvin ($^\circ\text{C} + 273$).

PARA CONDICIONES ISOTERMICAS (Temperatura constante) la expresión anterior se transforma en

$$P_1 v_1 = P_2 v_2 \quad \text{y} \quad \frac{w_1}{w_2} = \frac{P_1}{P_2} \text{ constante}$$

También Modulo volumétrico $E = p$ (en kg/m^2)

PARA CONDICIONES ADIABATICAS O ISOENTROPICAS sin intercambio de calor) las expresiones anteriores se convierten en

$$P_1 v_1^k = P_2 v_2^k \quad \text{y} \quad \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^k = \frac{P_1}{P_2} = \text{constante}$$

También $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k}$

y Módulo volumétrico $E = kp$ (kg/cm^2)

Donde k es la relación de calores específicos a presión constante y a volumen constante. Se le llama también exponente adiabático.

VI.- FLUJOS DE GAS EN LAS TUBERIAS.

TEORIA DE FLUJO.

El método más comunmente usado para trasladar fluidos de un punto a otro es forzándolo a fluir a través de un sistema de tuberías. La tubería de sección circular es la más frecuentemente usada por que su forma no solamente ofrece fuerza estructural sino mayor área seccional por unidad de superficie en sus paredes que cualquier otra forma.

Sólo algunos problemas especiales en la mecánica de fluidos, flujo laminar en tuberías, por ejemplo, pueden resolverse matemáticamente; todos los demás problemas requieren métodos de solución con determinados coeficientes experimentales. Muchas fórmulas empíricas han sido propuestas para problemas de flujo en tuberías, pero éstas son extremadamente limitadas y pueden ser aplicadas solamente cuando las condiciones del problema se aproximan muy de cerca a las condiciones de los experimentos de cuyas fórmulas han sido derivadas.

Dada la gran variedad de fluidos que se manejan en los modernos procesos industriales, una simple ecuación, que puede usarse para el flujo de cualquier fluido en tuberías, ofrece grandes ventajas. Semejante a una ecuación es la fórmula de DARCY. Esta fórmula puede derivarse racionalmente del significado de los análisis dimensionales; sin embargo, una variable en la fórmula, el factor de fricción, debe ser determinada experimentalmente. Esta fórmula tiene gran aplicación en el campo de la mecánica de fluidos y su uso es muy extenso.

La solución de cualquier problema de flujo requiere el conocimiento de las propiedades físicas del fluido que se va a usar. Los valores exactos de estas propiedades afectan el flujo de los fluidos, y son la viscosidad y la densidad, que han sido establecidas por muchas autoridades que comunmente usan esos fluidos.

La viscosidad expresa la dificultad con que un fluido fluye cuando es movido por una fuerza exterior. El coeficiente de viscosidad absoluta o simplemente la viscosidad absoluta de un fluido es una medida de su resistencia a la deformación interna. Las mieles son fluidos de gran viscosidad; el agua comparativamente es menos viscosa y la viscosidad absoluta de los gases es pequeña comparada con la del agua.

Densidad, volumen específico y densidad relativa.

La densidad de una substancia es su masa por unidad de volúmen. En el sistema C.G.S. se expresa en gramos masa por centímetro cúbico, y en M.K.S. en kilogramos masa por metro cúbico.

El volumen específico viene siendo la reciproca de la densidad y se expresa como la cantidad de centímetros cúbicos de espacio ocupando por un gramo de una substancia, aunque en ingeniería se mide en metros cúbicos por un kilogramo masa.

La densidad en gases y vapores se altera por el cambio de presiones.

La densidad relativa es la medida relativa de la densidad tomando como referencia ya sea la densidad del agua, o bien la del aire.

La naturaleza del flujo en la tuberías es laminar o turbulento. Si la velocidad es pequeña el flujo es laminar; si el flujo se incrementa gradualmente se vuelve turbulento.

FORMULA GENERAL PARA EL FLUJO DE FLUIDOS.

El flujo en una tubería va siempre acompañado por la fricción de fluido, al frotarse las moléculas unas con otras y con las paredes interiores de las tuberías, consecuentemente por la pérdida de energía que se efectúa en este trabajo; en otras palabras, debe haber una caída de presión en la dirección del flujo.

La fórmula racional para calcular la caída de presión en una tubería para flujo laminar ó turbulento y en el sistema métrico gravitacional es la siguiente:

$$h = \frac{f L V^2}{D} y$$

$$h = \text{Caída de presión} = \frac{n\%}{100} p$$

n = Porcentaje de caída de presión

p = Presión de trabajo en mm H₂O = kg/m²

f = Coeficiente de fricción, que depende del autor.

L = Longitud de la tubería en metros.

D = Diámetros del tubo en centímetros.

v = Velocidad del flujo en m/seg.

g = Aceleración de la gravedad = 9.8 m/seg²

y = Peso específico del gas en kg/m³

kgf = kilogramo fuerza

$\frac{v^2}{2g} y$ = Energía cinética en kg-m/m² = presión dinámica en kg/m²

= mm H₂O (milímetros de columna de agua)

Gasto en volumen.

$$Q \text{ (m}^3/\text{h)} = \frac{3600 \text{ seg}}{\text{h}} \times \frac{v \text{ m}}{\text{seg}} \times \frac{\pi D^2}{4} \text{ m}^2$$

$$= 30^2 \pi D^2 v \quad \text{de donde}$$

$$v = \frac{Q}{30^2 \pi D^2} \quad \text{y entonces}$$

$$h = \frac{f L y}{2g D} \times \frac{Q^2}{30^4 \pi^2 D^4} = \frac{f L Q^2 y}{30^4 \times 2g \pi^2 D^5}$$

de donde resulta

$$Q = \sqrt{\frac{30^4 \times 2g \pi^2 D^5 h}{f L y}}$$

Si ahora ponemos el diámetro (d) en centímetros, y el peso específico del gas lo ponemos como (s) veces el peso ya del aire tenemos.

$$Q = \sqrt{\frac{30^4 \times 2g \pi^2 \times d^5 h}{f L y_s \times 100^5}} =$$

Vi (2)

$$Q = \sqrt{\frac{30^4 \times 2g \times 10^2 \times d^5 h}{f L \times 1.225 \text{ s} \times 10^{10}}} = \sqrt{\frac{0.0128 d^5 h}{f L^5}}$$

FORMULA DE POLE, FORMULA DE COXY DE WEYMOUTH. El DR. POLE consideró un coeficiente de fricción constante: $f = 0.0256$, fórmula de POLE-MONHIER, que es

$$Q = \sqrt{\frac{d^5 h}{2 s L}}$$

En la Dirección General de Normas la fórmula de Pole se usa con la caída de presión (H) en kp/cm^2 , de manera que $H = 10000 h$, y entonces, llamando C al gasto Q en m^3/h medido a 15°C y al nivel del mar.

$$C = \sqrt{\frac{10000 d^5 H}{2 s L}} = \sqrt{\frac{5000 d^5 H}{s L}} = 70.7 \sqrt{\frac{d^5 H}{s L}}$$

El porcentaje de caída de presión, siempre que no sea mayor de 5%, será entonces, para una presión de trabajo $p = 279.4 \text{ mm H}_2\text{O}$ (o sea 0.028 kp/cm^2) y una presión de gas en las tuberías de distribución para los aparatos de consumo de 26.36 gr/cm^2 ($263.6 \text{ mm H}_2\text{O}$) (Artículo 79 del Reglamento de la Distribución de Gas, Publicado en el "Diario Oficial" de 29 de marzo de 1960).

$$n\% = \frac{100 h}{p} = \frac{100 h}{263.6} = \frac{h}{2.636} = \frac{2 s L C^2}{2.636 d^5} = \frac{s L C^2}{1.318 d^5}$$

Y si queremos simplificar el cálculo tomando un factor F que depende del diámetro interior del tubo y de la densidad relativa del gas, de tal manera que.

$$F = \frac{s}{1.318 d^5} \quad \text{resultará que}$$

$$n\% = C^2 L F$$

Para butano, que pesa lo doble que el aire, $s = 2$ y entonces

$$F = \frac{2}{1.318 d^5} = \frac{1.51745}{d^5}$$

En el capítulo XXV correspondiente al cálculo de tuberías se tienen factores autorizados por la D.G.N., que corresponde a tres tipos de tubería de diferentes diámetros, tanto para gas butano como para gas natural, de densidad relativa 2.0 y 0.6 respectivamente. Para gas natural a una presión de gas en las tuberías de 16.89 gr/cm^2 , tenemos:

$$F = \frac{0.6}{.8445 d^5} = \frac{0.7105}{d^5}$$

Cuando se trata de tuberías para la conducción de gas a presiones superiores a la estipulada para baja presión, las caídas de presión no están limitadas al 5% de la presión inicial, sino que pueden ser de cualquier magnitud, siempre que la presión final no sea menor de la requerida a la entrada del regulador secundario, en instalaciones de dos etapas. En estos casos la caída de presión es:

$$P_1 - P_2 = \frac{f L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad y \quad (kp/m^2 = mm H_2O)$$

- siendo: P_1 = Presión absoluta inicial en kp/m^2
 P_2 = Presión absoluta final, en kp/m^2
 D = Diámetro interior del tubo, en metros
 v = La velocidad promedio, en m/seg, del gas, dentro del tubo, a la presión media interior.
 g = Aceleración de la gravedad = 9.8 m/seg^2
 y = Peso específico promedio del gas dentro del tubo medido en kp/m^3 , para la presión media interior.

En gasto, en volumen, dentro del tubo, y a la presión media interior es, en m^3/h .

$$Q = \frac{3600 \text{ seg}}{h} \times v \frac{m}{\text{seg}} \times \pi \frac{D^2}{4} m^2 = 30^2 \pi D^2 v$$

pero como se desea saber la cantidad (C) de gas que fluye por el tubo, midiendo dicha cantidad en metros cúbicos por hora, a $15^\circ C$ y a nivel del mar.

$$C y_0 = Q y$$

siendo: y_0 = Peso del gas en kp/m^3 a $15^\circ C$, 760 mm Hg, o sea 10332 kp/m^3

Pero como el peso específico (y) del gas correspondiente a la presión media interior.

$$y = \frac{y_0}{10332} \times \frac{P_1 + P_2}{2}$$

y entonces $Q = C \frac{y_0}{y} = C \frac{y_0}{\frac{y_0}{10332} \times \frac{2}{P_1 + P_2}} \times 10332$

o sea $Q = \frac{10332 \times 2 \times C}{P_1 + P_2}$ (m^3/h dentro del tubo)

y entonces $Q = \frac{10332 \times 2 \times C}{P_1 + P_2} = 30^2 \pi D^2 v$

por lo que $v = \frac{10332 \times 2 \times C}{30^2 \pi D^2 (P_1 + P_2)}$ (m/seg)

$$v^2 = \frac{(10332)^2 \times 4 \times C^2}{30^4 \pi^2 D^4 (P_1 + P_2)^2} \quad (m^2/seg^2)$$

de lo que resulta, según la ecuación inicial:

$$P_1 - P_2 = \frac{f L}{D^5} \times \frac{y}{2g} \times \frac{(10332)^2 \times 4 \times C^2}{30^4 \pi^2 (P_1 + P_2)^2}$$

Pero como
$$y = \frac{y_0}{10332} \times \frac{P_1 + P_2}{2}$$

Al sustituir en la ecuación anterior, queda:

$$P_1 - P_2 = \frac{f L y_0 \times 10332 \times C^2}{3^4 \times 10^4 g \pi^2 (P_1 + P_2) D^5}$$

de donde resulta
$$C^2 = \frac{3^4 \times 10^4 g \pi^2 (P_1^2 - P_2^2) D^5}{10332 f L y_0}$$

Pero el gas pesa (s) veces lo que el aire, y como este pesa 1.225 kp/m a 15°C, nivel del mar

$$y_0 = 1.225 s$$

y entonces

$$C = \sqrt{\frac{3^4 \times 10^4 g \pi^2}{10332 \times 1.225 f} \frac{(P_1^2 - P_2^2) D^5}{S L}}$$

$$C = \frac{78.7}{\sqrt{f}} \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) D^5 \text{ en m}^3/\text{h}}{S L}}$$

COX adoptó un valor constante (f=0.0226) para tubo de menos 8 cm de diámetro interior y si ponemos (p) en kp/cm², introduciendo en la ecuación (10⁴ p = P) y (d) en cm, ($\frac{d}{100} = D$) nos queda como resultado final

$$C = 52.335 \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) d^5}{S L}}$$

en donde:

C = Consumo total en m³/h (15°C y 760 mm Hg)

d = Diámetro interior de la tubería en cm.

P₁ = presión inicial absoluta en kp/cm²

P₂ = presión final absoluta en kp/cm²

s = densidad relativa del gas (propano 1.5, gas natural 0.6)

L = Longitud en metros.

Para tuberías mayores de 76.2 mm de diámetro, se utilizó la fórmula de WEYMOUTH:

$$Q = 28.387 \frac{T_0 \left[\frac{(P_1^2 - P_2^2) D^{100}}{S L T} \right]^{0.5}}{P_0}$$

En donde:

- Q = Flujo de Gas en la tubería (15.6°C y 760 mm Hg), en m³/h
- T₀ = Temperatura absoluta a la cual el flujo se reduce:
- P₀ = Presión a la cual el flujo se reduce: 1.035 kg/cm²
- P₁ = Presión inicial absoluta, en kg/cm²
- P₂ = Presión final absoluta, en kg/cm²
- D = Diámetro de la tubería, en cm.
- S = Peso específico del Gas Natural: 0.6, L.P. 1.52
- L = Longitud de la tubería, en metros.

ECUACION DE BERNOULLI

Se utiliza en el cálculo de flujo en Estado Líquido de Gas L.P. para tuberías en trasiego con bombas.

$$hb + Z_1 + P_1/Y + V_1^2/2g = hc + Z_2 + P_2/Y + V_2^2/2g$$

En donde:

- hb = carga que tiene que vencer la bomba, en m. columna líquido.
- Z₁ = altura del nivel de líquido en un recipiente de almacenamiento al 10% con respecto al nivel del centro de la bomba.
- P₁ = Presión en el recipiente de almacenamiento: en kg/cm²
- Y = Densidad del gas en estado líquido: en kg/m³
- V₁ = Velocidad del líquido en la alimentación de la bomba, en m/seg.
- g = Aceleración de la gravedad: 9.80 m/seg²
- hc = Pérdidas por tubería y accesorios desde el recipiente de almacenamiento hasta el recipiente por llenar en m. columna líquido.
- Z₂ = Altura del nivel de centro de la bomba con respecto al nivel de líquido en recipiente por llenar al 90%.
- P₂ = Presión en el mismo recipiente: en kg/cm².
- V₂ = Velocidad del líquido en la descarga de la bomba, en m/seg.

3.-TECNOLOGIA DE MATERIALES, TUBERIAS Y CONEXIONES

**VER CAPITULO X DEL LIBRO TOMO III
GAS NATURAL, COMBUSTIBLE ECOLOGICO
LA MEJOR ALTERNATIVA AMBIENTAL**

	NORMAS OFICIALES MEXICANAS Y NORMAS COMPLEMENTARIAS	X(1)
A	TUBOS DE ACERO CON O SIN COSTURA, NEGROS O GALVANIZADOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE	(X(1)X(2)X(3)
B	TUBOS DE POLIETILENO PARA CONDUCCIÓN DE GAS NATURAL	X(13) AL (16)
C	TUBOS DE COBRE SIN COSTURA PARA CONDUCCIÓN DE FLUIDOS A PRESIÓN	X(20)X(21)X(25)X(26)

4.- PROTECCION CATODICA

**VER CAPITULO X DEL LIBRO TOMO III
GAS NATURAL, COMBUSTIBLE ECOLOGICO
LA MEJOR ALTERNATIVA AMBIENTAL**

D	RECUBRIMIENTOS Y PROTECCIÓN CATÓDICA	X(29)
E	FUNDAMENTOS BÁSICOS SOBRE CORROSIÓN	X(30)X(31)
F	FUNDAMENTOS SOBRE PROTECCIÓN CATÓDICA	X(33) AL (40)
G	TIPOS DE RECUBRIMIENTO	X(44) AL (47)

5.- CONOCIMIENTOS GENERALES EN MATERIA DE NORMALIZACION

LEY FEDERAL SOBRE METROLOGIA Y NORMALIZACION

ARTICULO 1º

La presente Ley girará en toda la República y sus disposiciones de orden público e interés social. Su aplicación y vigilancia corresponde al Ejecutivo Federal, por conducto de las dependencias de la administración pública federal que tengan competencia en las materias reguladas en este ordenamiento.

Siempre que en esta Ley se haga mención a la Secretaría, se entenderá hecha a la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

ARTICULO 2º

Esta Ley tiene por objeto:

- I. En materia de Metrología:
 - a) Establecer el Sistema General de Unidades de Medida;
 - b) Precisar los conceptos fundamentales sobre metrología;
 - c) Establecer los requisitos para la fabricación, importación, reparación, venta, verificación y uso de los instrumentos para medir y los patrones de medida;
 - d) Establecer la obligatoriedad de la medición en transacciones comerciales y de indicar el contenido neto en los productos envasados;
 - e) Instituir el Sistema Nacional de Calibración
 - f) Crear el Centro Nacional de Metrología, como organismo de alto nivel técnico en la materia; y
 - g) Regular, en lo general, las demás materias relativas a la metrología.
- II. En materia de normalización, certificación, acreditamiento y verificación:
 - a) Fomentar la transparencia y eficiencia en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas;
 - b) Instituir la Comisión Nacional de Normalización para que coadyuve en las actividades que sobre normalización corresponde realizar a las distintas dependencias de la administración pública federal;
 - c) Establecer un procedimiento uniforme para la elaboración de normas oficiales mexicanas por las dependencias de la administración pública federal;
 - d) Promover la concurrencia de los sectores público, privado, científico y de consumidores en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas;
 - e) Coordinar las actividades de normalización, certificación, verificación y laboratorios de prueba de las dependencias de administración pública federal;
 - f) Establecer el sistema nacional de acreditamiento de organismos de normalización y de certificación, unidades de verificación y de laboratorios de prueba y de calibración; y
 - g) En general, divulgar las acciones de normalización y demás actividades relacionadas con la materia.

ARTICULO 3º

Para los efectos de esta Ley, se entenderá por:

- I. **Acreditación:** el acto por el cual una entidad de acreditación reconoce la competencia técnica y confiabilidad de los organismos de certificación, de los laboratorios de prueba, de los laboratorios de calibración y de las unidades de verificación para la evaluación de la conformidad;
- II. **Calibración :** el conjunto de operaciones que tiene por finalidad determinar los errores de un instrumento para medir y, de ser necesario, otras características metroológicas;
- III.- **Certificación:** procedimiento por el cual se asegura que un producto, proceso, sistema o servicio se ajusta a las normas o lineamientos o recomendaciones de organismos dedicados a la normalización nacionales o internacionales;

Dependencias; las dependencias de la administración pública federal;
- IV.- **Instrumentos para medir:** los medios técnicos con los cuales se efectúan las mediciones y que comprenden las medidas materializadas y los aparatos medidores.
- IV-A. **Evaluación de la conformidad:** la determinación del grado de cumplimiento con las normas oficiales mexicanas o la conformidad con las normas mexicanas, las normas internacionales u otras especificaciones prescripciones o características. Comprende, entre otros, los procedimientos de muestreo, prueba, calibración, certificación y verificación;
- V. **Medir:** el acto de determinar el valor de una magnitud;
- VI.- **Medida materializada;** el dispositivo destinado a reproducir de una manera permanente durante su uso, uno o varios valores conocidos de una magnitud dada,
- VIII. **Manifestación:** la declaración que hace una persona física o moral a la Secretaría de los instrumentos para medir que se fabriquen, importen, o se utilicen o pretendan utilizarse en el país;
- IX. **Método:** la forma de realizar una operación del proceso, así como su verificación;
- X. **Norma mexicana:** la que elabore un organismo nacional de normalización, o la Secretaría, en los términos de esta Ley, que prevé para un uso común y repetido reglas, especificaciones, atributos, métodos de prueba, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado;
- X-A. **Norma o lineamiento internacional:** la norma, lineamiento o documento normativo que emite un organismo internacional de normalización u otro organismo internacional relacionado con la materia, reconocido por el gobierno mexicano en los términos del derecho internacional;
- XI. **Norma oficial mexicana:** la regulación técnica de observancia obligatoria expedida por las dependencias competentes, conforme a las finalidades establecidas en el artículo 40, que establece reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación;
- XII. **Organismos de certificación:** las personas morales que tengan por objeto realizar funciones de certificación;
- XIII. **Organismos nacionales de normalización:** las personas morales que tengan por objeto elaborar normas mexicanas;
- XIV. **Patrón:** medida materializada, aparato de medición o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores conocidos de una magnitud para transmitirlos por comparación a otros instrumentos de medición;

- XV. Patrón nacional: el patrón autorizado para obtener, fijar o contrastar el valor de otros patrones de la misma magnitud, que sirve de base para la fijación de los valores de todos los patrones de la magnitud dada;
- XV -A. Personas acreditadas: los organismos de certificación, laboratorios de prueba, laboratorios de calibración y unidades de verificación reconocidos por una entidad de acreditación para la evaluación de la conformidad;
- XVI. Proceso: el conjunto de actividades relativas a la producción, obtención, elaboración, fabricación, preparación, conservación, mezclado, acondicionamiento, envasado, manipulación, ensamblado, transporte, distribución, almacenamiento y expendio o suministro al público de productos y servicios;
- XVII. Unidad de verificación: la persona física o moral que realiza actos de verificación; y
- XVIII. Verificación: la constatación ocular o comprobación mediante muestreo, medición, pruebas de laboratorio, o examen de documentos que se realizan para evaluar la conformidad en un momento determinado.

TITULO SEGUNDO METROLOGÍA

CAPITULO I Del Sistema General de Unidades de Medida

ARTICULO 5º

En los Estados Unidos Mexicanos el Sistema General de Unidades de Medida es el único legal y de uso obligatorio.

El Sistema General de Unidades de Medida se integra, entre otras, con las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades: de longitud, el metro; de masa, el kilogramo; de tiempo, el segundo; de temperatura termodinámica, el kelvin; de intensidad de corriente eléctrica, el ampere; de intensidad luminosa, la candela; y de cantidad de sustancia, el mol, así como con las suplementarias, las derivadas de las unidades base y los múltiplos y submúltiplos de todas ellas, que apruebe la Conferencia General de Pesas y Medidas y se prevean en normas oficiales mexicanas. También se integra con las no comprendidas en el sistema internacional que acepte el mencionado organismo y se incluyan en dichos ordenamientos.

ARTICULO 6º

Excepcionalmente la Secretaría podrá autorizar el empleo de unidades de medida de otros sistemas por estar relacionados con países extranjeros que no hayan adoptado el mismo sistema. En tales casos deberán expresarse, conjuntamente con las unidades de otros sistemas, su equivalencia con las del Sistema General de Unidades de Medida, salvo que la propia Secretaría exima de esta obligación.

ARTICULO 7º

Las Unidades base, suplementarias y derivadas del Sistema General de Unidades de Medida así como su simbología se consignarán en las normas oficiales mexicanas.

ARTICULO 8º

Las escuelas oficiales y particulares que formen parte del sistema educativo nacional, deberán incluir en sus programas de estudio la enseñanza del Sistema General de Unidades de Medida.

ARTICULO 9º

La Secretaría tendrá a su cargo la conservación de los prototipos nacionales de unidades de medida, metro y kilogramo, asignados por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas a los Estados Unidos Mexicanos.

CAPITULO II De los Instrumentos para Medir

ARTICULO 10

Los instrumentos para medir y patrones que se fabriquen en el territorio nacional o se importen y que se encuentren sujetos a norma oficial mexicana, requieren, previa su comercialización, aprobación del modelo o prototipo por parte de la Secretaría sin perjuicio de las atribuciones de otras dependencias.

Deberán cumplir con lo establecido en este artículo los instrumentos para medir y patrones que sirvan de base o se utilicen para:

- I. Una transacción comercial o para determinar el precio de un servicio;
- II. La remuneración o estimación, en cualquier forma, de labores personales;
- III. Actividades que puedan afectar la vida, la salud o la integridad corporal;
- IV. Actos de naturaleza pericial, judicial o administrativa; o
- V. La verificación o calibración de otros instrumentos de medición.

CAPITULO II

De las normas oficiales mexicanas y de las Normas Mexicanas

SECCION I

De las Normas Oficiales Mexicanas

ARTICULO 40

Las normas oficiales mexicanas tendrán como finalidad establecer:

- I. Las características y/o especificaciones que deban reunir los productos y procesos cuando éstos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal, el medio ambiente general y laboral, o para la preservación de recursos naturales;
- II. Las características y/o especificaciones de los productos utilizados como materias primas o partes o materiales para la fabricación o ensamble de productos finales sujetos al cumplimiento de normas oficiales mexicanas, siempre que para cumplir las especificaciones de éstos sean indispensables las de dichas materias primas, partes o materiales;
- III. Las características y/o especificaciones que deban reunir los servicios cuando éstos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal o el medio ambiente general y laboral o cuando se trate de la prestación de servicios de forma generalizada para el consumidor;
- IV. Las características y/o especificaciones relacionadas con los instrumentos para medir, los patrones de medida y sus métodos de medición, verificación, calibración y trazabilidad;
- V. Las especificaciones y/o procedimientos de envase y embalaje de los productos que puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud de las mismas o el medio ambiente;
- VII. Las condiciones de salud, seguridad e higiene que deberán observarse en los centros de trabajo y otros centros públicos de reunión;
- VIII. La nomenclatura, expresiones, abreviaturas, símbolos, diagramas o dibujos que deberán emplearse en el lenguaje técnico industrial, comercial, de servicios o de comunicación;
- IX. La descripción de emblemas, símbolos y contraseñas para fines de esta Ley;
- X. Las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales;
- XI. Las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger promover la salud de las personas, animales o vegetales;
- XII. La determinación de la información comercial, sanitaria, ecológica, de calidad, seguridad e higiene y requisitos que deben cumplir las etiquetas, envases, embalaje y la publicidad de los productos y servicios para dar información al consumidor o usuario;

- I. Acondicionarse;
- II. Repararse;
- III. Reprocesarse, o
- IV. Sustituirse.

En la aplicación de estas alternativas se buscará siempre la situación menos gravosa para el particular.

ARTÍCULO 101. Cuando se presente un dictamen, certificado, informe u otro documento expedido por personas acreditadas y aprobadas, los verificadores comprobarán su vigencia, haciéndolo constar en el acta respectiva y, en su caso, se procederá a recabar las muestras respectivas en los términos de los artículos 91 y 101 de la Ley.

Una vez oído al infractor y desahogadas las pruebas ofrecidas y admitidas, se procederá a dictar por escrito la resolución que proceda, dentro de los diez días siguientes, la cual será notificada en forma personal o por correo certificado.

ARTÍCULO 102. Para los efectos de la fracción V del artículo 112 de la Ley, las dependencias competentes podrán suspender o cancelar los documentos donde consten los resultados de la evaluación de la conformidad, expedidos por ellas o por las personas acreditadas y aprobadas cuando:

- I. Durante una visita de verificación se demuestre el incumplimiento con las normas oficiales mexicanas aplicables, sin perjuicio de lo dispuesto por los artículos 93 y 102 de la Ley;
- II. No se cumpla con las características y condiciones establecidas en el certificado;
- III. Se hayan efectuado modificaciones al producto sin haber solicitado previamente el visto bueno de la dependencia u organismo de certificación correspondiente, o
- IV. El documento donde consten los resultados de la evaluación de la conformidad pierda su utilidad o se modifiquen o dejen de existir las circunstancias que dieron origen al mismo, previa petición de parte.

- XIII. Las características y/o especificaciones que deben reunir los equipos, materiales, dispositivos e instalaciones industriales, comerciales, de servicios y domésticas para fines sanitarios, acuícolas, agrícolas, pecuarios, ecológicos, de comunicaciones, de seguridad o de calidad y particularmente cuando sean peligrosos;
- XV. Los apoyos a las denominaciones de origen para productos del país;
- XVI. Las características y/o especificaciones que deban reunir los aparatos, redes y sistemas de comunicación, así como vehículos de transporte, equipos y servicios conexos para proteger las vías generales de comunicación y la seguridad de sus usuarios;
- XVII. Las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos para el manejo, transporte y confinamiento de materiales y residuos industriales peligrosos y de las sustancias radioactivas; y
- XVIII. Otras en que se requiera normalizar productos, métodos, procesos, sistemas o prácticas industriales, comerciales o de servicios de conformidad con otras disposiciones legales, siempre que se observe lo dispuesto por los artículos 45 a 47.

Los criterios, reglas, instructivos, manuales, circulares, lineamientos, procedimientos u otras disposiciones de carácter obligatorio que requieran establecer las dependencias y se refieran a las materias y finalidades que se establecen en este artículo, sólo podrán expedirse como normas oficiales mexicanas conforme al procedimiento establecido en esta Ley.

ARTICULO 41

Las normas oficiales mexicanas deberán contener:

- I. La denominación de la norma y su clave o código, así como las finalidades de la misma conforme al artículo 40;
- II. La identificación del producto, servicio, método, proceso, instalación o, en su caso, del objeto de la norma conforme a lo dispuesto en el artículo precedente;
- III. Las especificaciones y características que correspondan al producto, servicio, método, proceso, instalación o establecimientos que se establezcan en la norma en razón de su finalidad;
- IV. Los métodos de prueba aplicables en relación con la norma y en su caso, los de muestreo;
- V. Los datos y demás información que deban contener los productos o, en su defecto, sus envases o empaques, así como el tamaño y características de las diversas indicaciones;
- VI. El grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración;
- VII. La bibliografía que corresponda a la norma;
- VIII. La mención de la o las dependencias que vigilarán el cumplimiento de las normas cuando exista concurrencia de competencias; y
- IX. Las otras menciones que se consideren convenientes para la debida comprensión y alcance de la norma.

SECCIÓN II

De las Normas Mexicanas

ARTICULO 51-A

Las normas mexicanas son de aplicación voluntaria, salvo en los casos en que los particulares manifiesten que sus productos, procesos o servicios son conformes con las mismas y sin perjuicio de que las dependencias requieran en una norma oficial mexicana su observancia para fines determinados. Su campo de aplicación puede ser nacional, regional o local.

Para la elaboración de las normas mexicanas se estará a lo siguiente:

Para la elaboración de las normas mexicanas se estará a lo siguiente:

- I. Deberán incluirse en el Programa Nacional de Normalización;
- II. Tomar como base las normas internacionales, salvo que las mismas sean ineficaces o inadecuadas para alcanzar los objetivos deseados y ello esté debidamente justificado; y
- III. Estar basadas en el consenso de los sectores interesados que participen en el comité y someterse a consulta pública por un periodo de cuando menos 60 días naturales antes de su expedición, mediante aviso publicado en el Diario Oficial de la Federación que contenga un extracto de la misma.

Para que las normas elaboradas por los organismos nacionales de normalización, y excepcionalmente las elaboradas por otros organismos, cámaras, colegios de profesionistas, asociaciones, empresas, dependencias o entidades de la administración pública federal, se puedan expedir como normas mexicanas, deben cumplir con los requisitos establecidos en esta Sección, en cuyo caso el secretariado técnico de la Comisión Nacional de Normalización publicará en el Diario Oficial de la Federación la declaratoria de vigencia de las mismas, con carácter informativo.

La revisión, actualización o cancelación de las normas mexicanas deberá cumplir con el mismo procedimiento que para su elaboración, pero en todo caso deberán ser revisadas o actualizadas dentro de los 5 años siguientes a la publicación de la declaratoria de vigencia, debiendo notificarse al secretariado técnico los resultados de la revisión o actualización. De no hacerse la notificación, el secretariado técnico de la Comisión Nacional de Normalización ordenará su cancelación.

TITULO CUARTO DE LA ACREDITACION Y DETERMINACION DEL CUMPLIMIENTO

CAPITULO I

De la acreditación y Aprobación

ARTICULO 68

La evaluación de la conformidad será realizada por las dependencias competentes o por los organismos de certificación, los laboratorios de prueba o de calibración y por las unidades de verificación acreditados y, en su caso, aprobados en los términos del artículo 70.

La acreditación de los organismos, laboratorios y unidades a que se refiere el párrafo anterior será realizada por las entidades de acreditación, para lo cual el interesado deberá:

- I. Presentar solicitud por escrito a la entidad de acreditación correspondiente, acompañando, en su caso, sus estatutos y propuesta de actividades;
- II. Señalar las normas que pretende evaluar, indicando la materia, sector, rama, campo o actividad respectivos y describir los servicios que pretende prestar y los procedimientos a utilizar;
- III. Demostrar que cuenta con la adecuada capacidad técnica, material y humana, en relación con los servicios que pretende prestar, así como con los procedimientos de aseguramiento de calidad, que garanticen el desempeño de sus funciones; y
- IV. Otros que se determinen en esta Ley o su reglamento.

Integrada la solicitud de acreditación, se procederá conforme a lo dispuesto en el artículo siguiente.

ARTICULO 69

Las entidades de acreditación integrarán comités de evaluación, como órganos de apoyo para la acreditación y, en su caso, para la aprobación por las dependencias competentes.

ARTICULO 70

Las dependencias competentes podrán aprobar a las personas acreditadas que se requieran para la evaluación de la conformidad, en lo que se refiere a normas oficiales mexicanas, para lo cual se sujetarán a lo siguiente:

- I. Identificar las normas oficiales mexicanas para las que se requiere de la evaluación de la conformidad por personas aprobadas y, en su caso, darlo a conocer en el Diario Oficial de la Federación; y
- II. Participar en los comités de evaluación para la acreditación, o reconocer sus resultados. No duplicar los requisitos solicitados para su acreditación; sin perjuicio de establecer adicionales, cuando se compruebe justificadamente a la Secretaría la necesidad de los mismos a fin de salvaguardar tanto el objetivo de la norma oficial mexicana, como los resultados de la evaluación de la conformidad con la misma y la verificación al solicitante de las condiciones para su aprobación.

ARTICULO 70-A

Para operar como entidad de acreditación se requiere la autorización de la Secretaría, previa opinión favorable de la mayoría de los miembros de la Comisión Nacional de Normalización a que se refiere la fracción I del artículo 59, y cumplir con lo siguiente:

- I. Acreditar la capacidad jurídica, técnica, administrativa y financiera, para lo que se deberá acompañar:
 - a) Estatutos sociales o proyecto de éstos, detallando órganos de gobierno, y la estructura técnica funcional de la entidad donde conste la representación equilibrada de los organismos productivos, comerciales y académicos interesados, a nivel nacional, en el proceso de acreditación;
 - b) Relación de los recursos materiales y humanos con que cuenta, o propuesta de los mismos, detallando grado académico y experiencia en la materia de éstos últimos; y
 - c) Documentos que demuestren su solvencia financiera para asegurar la continuidad del sistema de acreditación;
- II. Demostrar su capacidad para atender diversas materias, sectores o ramas de actividad;
- III. Acompañar, en su caso, sus acuerdos con otras entidades similares o especializadas en las materias a que se refiere esta Ley; y
- IV. Señalar las tarifas máximas que aplicaría en la prestación de sus servicios.

Integrada la documentación la Secretaría emitirá un informe y lo someterá a las dependencias competentes para su opinión.

CAPITULO II

De los Procedimientos para la Evaluación de la Conformidad

ARTICULO 73

Las dependencias competentes establecerán, tratándose de las normas oficiales mexicanas, los procedimientos para la evaluación de la conformidad cuando para fines oficiales requieran comprobar el cumplimiento con las mismas, lo que se hará según el nivel de riesgo o de protección necesarios para salvaguardar las finalidades a que se refiere el artículo 40, previa consulta con los sectores interesados, observando esta Ley, su reglamento y los lineamientos internacionales. Respecto de las normas mexicanas u otras especificaciones, prescripciones o características determinadas, establecerán dichos procedimientos cuando así se requiera.

CAPITULO VI

De las Unidades de Verificación

Atributos con que debe contar:

- a) Personal calificado y con experiencia
- b) Confidencialidad y seguridad
- c) Sistema de calidad y procedimientos de operación
- d) Informes y registros
- e) Capacidad de comunicación
- f) Métodos y procedimientos de verificación
- g) Instalaciones y equipos

ARTICULO 84

Las unidades de verificación podrán, a petición de parte interesada, verificar el cumplimiento de normas oficiales mexicanas, solamente en aquellos campos o actividades para las que hubieren sido aprobadas por las dependencias competentes.

ARTICULO 85

Los dictámenes de las unidades de verificación serán reconocidos por las dependencias competentes, así como por los organismos de certificación y en base a ellos podrán actuar en los términos de esta Ley y conforme a sus respectivas atribuciones.

ARTICULO 86

Las dependencias podrán solicitar el auxilio de las unidades de verificación para la evaluación de la conformidad con respecto de normas oficiales mexicanas, en cuyo caso se sujetarán a las formalidades y requisitos establecidos en esta Ley.

ARTICULO 87

El resultado de las operaciones que realicen las unidades de verificación se hará constar en un acta que será firmada, bajo su responsabilidad, por el acreditado en el caso de la personas físicas y por el propietario del establecimiento o por el presidente del consejo de administración, administrador único o director general de la propia unidad de verificación reconocidos por las dependencias, y tendrá validez una vez que haya sido reconocido por la dependencia conforme a las funciones que hayan sido específicamente autorizadas a la misma.

TITULO QUINTO DE LA VERIFICACION

CAPITULO UNICO Verificación y Vigilancia

ARTICULO 88

Las personas físicas o morales tendrán la obligación de proporcionar a las autoridades competentes los documentos, informes y datos que les requieran por escrito, así como las muestras de productos que se les soliciten cuando sea necesario para los fines de la presente Ley y demás disposiciones derivadas de ella. En todo caso, respecto a las muestras se estará a lo dispuesto en los artículos 101 al 108 de la presente Ley.

ARTICULO 89

Para efectos de control del cumplimiento con normas oficiales mexicanas las dependencias podrán integrar sistemas de información conforme a los requisitos y condiciones que se determinen en el reglamento de esta Ley, y aquellos que establezcan las dependencias a través de disposiciones de carácter general, evitando trámites adicionales.

Las dependencias deberán proporcionar a solicitud del secretariado técnico de la Comisión Nacional de Normalización o de cualquier dependencia competente la información contenida en dichos sistemas y otorgar facilidades para su consulta por las partes interesadas.

ARTICULO 91

Las dependencias competentes podrán realizar visitas de verificación con el objeto de vigilar el cumplimiento de esta Ley y demás disposiciones aplicables, independientemente de los procedimientos para la evaluación de la conformidad que hubieren establecido. Al efecto, el personal autorizado por las dependencias podrá recabar los documentos o la evidencia necesaria para ello, así como las muestras conforme a lo dispuesto en el artículo 101.

Cuando para comprobar el cumplimiento con una norma oficial mexicana se requieran mediciones o pruebas de laboratorio, la verificación correspondiente se efectuará únicamente en laboratorios acreditados y aprobados, salvo que éstos no existan para la medición o prueba específica, en cuyo caso, la prueba se podrá realizar en otros laboratorios, preferentemente acreditados.

Los gastos que se originen por las verificaciones por actos de evaluación de la conformidad serán a cargo de la persona a quien se efectúe ésta.

ARTÍCULO 92

De cada visita de verificación efectuada por el personal de las dependencias competentes o unidades de verificación, se expedirá un acta detallada, sea cual fuere el resultado, la que será firmada por el representante de las dependencias o unidades, en su caso por el del laboratorio en que se hubiere realizado, y el fabricante o prestador del servicio si hubiere intervenido.

La falta de participación del fabricante o prestador del servicio en las pruebas o su negativa a firmar el acta, no afectará su validez.

ARTÍCULO 93

Si el producto o el servicio no cumplen satisfactoriamente las especificaciones, la Secretaría o la dependencia competente, a petición del interesado podrá autorizar se efectúe otra verificación en los términos de esta Ley.

Esta verificación podrá efectuarse, a juicio de la dependencia, en el mismo laboratorio o en otro acreditado, en cuyo caso serán a cargo del productor, fabricante, importador, comercializador o del prestador de servicios los gastos que se originen. Si en esta segunda verificación se demostrase que el producto o el servicio cumple satisfactoriamente las especificaciones, se tendrá por desvirtuado el primer resultado. Si no las cumple, por confirmado.

ARTÍCULO 94

Para los efectos de esta Ley se entiende por visita de verificación:

- I. La que se practique en los lugares en que se realice el proceso, alguna fase del mismo, de productos, instrumentos para medir o servicios, con objeto de constatar ocularmente que se cumple con lo dispuesto en esta Ley y demás disposiciones derivadas de ellas, así como comprobar lo concerniente a la utilización de los instrumentos para medir; y/o
- II. La que se efectúe con objeto de comprobar el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas, el contenido o el contenido neto y, en su caso, la masa drenada; determinar los ingredientes que constituyan o integren los productos, si existe obligación de indicar su composición, la veracidad de la información comercial o la ley de los metales preciosos. Esta verificación se efectuará mediante muestreo y, en su caso, pruebas de laboratorio.

Cuando exista concurrencia de competencia, la verificación la realizarán las dependencias competentes de acuerdo a las bases de coordinación que se celebren.

REGLAMENTO DE LA LEY FEDERAL SOBRE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN

Título Primero

Disposiciones Generales

Capítulo Unico

ARTÍCULO 1. Para los efectos de este Reglamento, se aplicarán las definiciones establecidas en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Cuando en este Reglamento se haga referencia a la "Ley" se entenderá hecha a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

ARTÍCULO 2. La Secretaría operará un sistema de información relativo a la metrología, normalización y evaluación de la conformidad, el cual contendrá, entre otra información, el Catálogo Mexicano de Normas, el listado de los comités consultivos nacionales de normalización, comités técnicos de normalización nacional y comités mexicanos de normas internacionales, entidades de acreditación, personas acreditadas por éstas, organismos nacionales de normalización y personas aprobadas por las dependencias.

Título Segundo

Metrología

Capítulo I

Del Sistema General de Unidades de Medida

ARTÍCULO 3. La Secretaría elaborará, actualizará y expedirá las normas oficiales mexicanas del Sistema General de Unidades de Medida, de acuerdo con el procedimiento establecido en la Ley, y en particular cada vez que existan cambios aprobados por la Conferencia General de Pesas y Medidas.

ARTÍCULO 4. Para los efectos del artículo 6 de la Ley, la Secretaría podrá autorizar excepcionalmente el uso de unidades previstas en otros sistemas de unidades de medida, cuando dichas unidades no estén contempladas en la Ley y en las normas oficiales mexicanas relativas al Sistema General de Unidades de Medida. En este supuesto el producto final ostentará en la etiqueta la equivalencia de dichas unidades con las del Sistema General de Unidades de Medida.

En los casos en que la Secretaría exima de la obligación de expresar la equivalencia de las unidades de otros sistemas conjuntamente con las del Sistema General de Unidades de Medida, deberá fijar el plazo durante el cual operará dicha excepción.

ARTÍCULO 5. Para efectos del artículo 8o. de la Ley, las autoridades a cargo del sistema educativo nacional, en los términos que señalen las leyes y atendiendo a las características propias de los tipos y niveles educativos, incluirán en sus programas de estudio la enseñanza del Sistema General de Unidades de Medida.

ARTÍCULO 6. La Secretaría tendrá a su cargo la conservación de los prototipos metro y kilogramo, así como los objetos y documentos relacionados con los mismos. No obstante, la Secretaría podrá apoyarse en otras dependencias o entidades de la administración pública para la custodia, el uso, el mantenimiento y control de dichos prototipos, cuando esto propicie la mejor conservación de los mismos.

En el caso del patrón nacional kilogramo se estará a lo dispuesto en los artículos 24 y 30, fracción II de la Ley.

Capítulo II

De los Instrumentos para Medir

ARTÍCULO 7. La Secretaría expedirá la aprobación del modelo o prototipo de instrumentos para medir, así como patrones antes de su comercialización, con base en los informes de calibración y pruebas emitidos por el Centro Nacional de Metrología o por los laboratorios de calibración o de pruebas acreditados, las cuales se llevarán a cabo bajo procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y conforme a las disposiciones relativas de la Ley y del presente Reglamento.

ARTÍCULO 8. La calibración de patrones será realizada por los laboratorios de calibración y la verificación de instrumentos para medir utilizados directamente en transacciones comerciales por unidades de verificación de instrumentos de medición, ambas acreditadas y aprobadas, sin perjuicio de las facultades que respecto de esta última correspondan a las autoridades competentes.

ARTÍCULO 9. Para los efectos del segundo párrafo del artículo 11 de la Ley, la Secretaría, tomando en cuenta las normas oficiales mexicanas de instrumentos para medir, publicará en el Diario Oficial de la Federación la lista de instrumentos que deban quedar sujetos a verificación inicial, periódica y extraordinaria, especificando la forma y tiempo para su cumplimiento.

ARTÍCULO 10. La Secretaría y las dependencias competentes reconocerán el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas correspondientes con base en los dictámenes o cualquier otro medio de comprobación expedidos por los laboratorios de calibración y unidades de verificación acreditadas y aprobadas, que se especifique en la lista de instrumentos para medir y patrones sujetos a verificación o calibración obligatoria, a que se refiere el segundo párrafo del artículo 11 de la Ley.

ARTÍCULO 11. Si como resultado de una verificación los instrumentos para medir o patrones utilizados directamente en transacciones comerciales o en la estimación para el pago de servicios no pueden ser ajustados dentro de los errores máximos tolerados mediante los dispositivos de ajuste del instrumento establecidos por el fabricante, la unidad de verificación de instrumentos para medir acreditada y aprobada lo notificará a la autoridad competente quien, en su caso, podrá inmovilizarlos para impedir su utilización y dejará al interesado constancia oficial por escrito de ese hecho.

Las unidades de verificación de instrumentos para medir deberán informar periódicamente a la autoridad competente las verificaciones realizadas y las conclusiones de los resultados obtenidos, debiendo además indicar la identificación y ubicación de los instrumentos o patrones que fueron verificados. La Secretaría determinará la forma, plazo y términos en que será realizado dicho informe.

Título Tercero

Normalización

Capítulo I

Disposiciones Generales

ARTÍCULO 26. La Secretaría, en coordinación con las demás dependencias y organismos nacionales de normalización registrados, integrará, revisará y actualizará periódicamente el Catálogo Mexicano de Normas.

El Catálogo Mexicano de Normas contendrá el listado y la colección de textos completos de las normas oficiales mexicanas vigentes, incluidas las que se expidan en caso de emergencia así como el de las normas mexicanas, y el de los proyectos que se expidan.

El texto de las normas mexicanas elaboradas por los organismos nacionales de normalización podrá consultarse con dichos organismos, sin perjuicio de que dicho texto sea incluido en el Catálogo Mexicano de Normas, siempre y cuando su explotación se lleve a cabo conforme a la legislación en materia de propiedad intelectual.

ARTÍCULO 27. La Secretaría notificará a quien corresponda, conforme a lo dispuesto en los acuerdos y tratados internacionales de los que los Estados Unidos Mexicanos sean parte, las normas oficiales mexicanas, incluidas las que se expidan en caso de emergencia, normas mexicanas y proyectos que hayan sido publicados por ella y por las dependencias competentes en el **Diario Oficial de la Federación**.

Capítulo II

De las Normas Oficiales Mexicanas y de las Normas Mexicanas

Sección I

De las Normas Oficiales Mexicanas

ARTÍCULO 28. Para los efectos de los artículos 41 y 48 de la Ley, el contenido de las normas oficiales mexicanas, incluidas las que se expidan en caso de emergencia, se ajustará a lo siguiente:

I. La denominación de la norma deberá indicar específicamente el tema de la misma, para lo cual deberá componerse de frases separadas, cada una de ellas tan corta como sea posible, partiendo de lo general a lo particular;

II. La clave o código de la norma se integrará con lo siguiente, en el orden que se indica:

a) Las siglas "PROY-NOM" cuando se trate de proyectos de normas oficiales mexicanas, "NOM" en el caso de normas oficiales mexicanas o "NOM-EM", para aquellas expedidas con carácter de emergencia;

b) El número consecutivo de la norma que le asigne el comité consultivo nacional de normalización que elabore el proyecto;

c) Las siglas que indiquen el nombre de la dependencia que la expide, conforme a los lineamientos que dicte la Comisión Nacional de Normalización, y

d) El año en que el proyecto de norma oficial mexicana o la norma oficial mexicana sea aprobada por el comité consultivo nacional de normalización correspondiente. Tratándose de normas oficiales mexicanas en caso de emergencia, el año en que la dependencia ordene su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

La clave o código de la norma oficial mexicana deberá respetarse en cualquier modificación parcial a la misma;

III. Deberán ser redactadas y estructuradas de acuerdo a lo que establezcan las normas mexicanas expedidas para tal efecto. No obstante, cuando a juicio del comité consultivo nacional de normalización correspondiente, dichas normas no constituyan un medio eficaz para tales efectos, podrán utilizarse otras reglas de redacción y estructuración previstas en normas o lineamientos internacionales expedidos en materia de redacción y estructuración de normas o regulaciones técnicas.

En el caso de cancelación, el proemio de la norma oficial mexicana deberá especificar la denominación y clave o código de la norma oficial mexicana que se cancela;

IV. Deberán señalar el grado de concordancia con normas internacionales y normas mexicanas, para lo cual se mencionará si ésta es idéntica, equivalente o no equivalente.

Para que el comité consultivo nacional de normalización pueda hacer referencia o armonizar una norma oficial mexicana con normas o lineamientos internacionales, normas o regulaciones técnicas extranjeras, deberá traducir en su caso, el contenido de las mismas, adecuarlas a las necesidades del país e incorporarlas al proyecto de norma oficial mexicana, respetando en todo caso los derechos de propiedad intelectual que existan sobre ellas;

V. Deberán incluirse en el capítulo de bibliografía las normas o lineamientos internacionales y normas o regulaciones técnicas extranjeras que, en su caso, se tomen como base para la elaboración de una norma oficial mexicana, y

VI. Deberán señalar si la evaluación de la conformidad podrá ser realizada por personas acreditadas y aprobadas por las dependencias competentes, y cuando exista concurrencia de competencias, contener la mención expresa de las autoridades que llevarán a cabo dicha evaluación o vigilarán su cumplimiento.

Sección II

De las Normas Mexicanas

ARTÍCULO 42. Las normas mexicanas deberán ser redactadas y estructuradas de acuerdo a lo que establezcan las normas mexicanas expedidas para tal efecto. No obstante, cuando a juicio de los organismos nacionales de normalización o de la Secretaría dichas normas no constituyan un medio eficaz para tales efectos, podrán utilizarse otras reglas de redacción y estructuración previstas en normas o lineamientos internacionales expedidos en materia de redacción y estructuración de normas o regulaciones técnicas.

Capítulo III

De la Observancia de las Normas

ARTÍCULO 50. El cumplimiento de los requisitos de información comercial contenidos en las normas oficiales mexicanas no está sujeto a certificación, siendo responsabilidad del importador, productor, fabricante, comercializador o prestador del servicio que sus productos satisfagan los requisitos establecidos en esas normas. Lo anterior, no aplica cuando por razones de alto riesgo sanitario, fitozoosanitario, ecológico, nutricional, de seguridad o protección al consumidor, la dependencia competente requiera del análisis de laboratorio para comprobar la veracidad de la información ostentada en el producto o servicio, en los términos de la propia norma.

Los productores, fabricantes, importadores, comercializadores o prestadores de servicios podrán recurrir a los servicios de unidades de verificación acreditadas y aprobadas para obtener constancia de conformidad o dictamen de cumplimiento en los que se demuestre que cumplen con los requisitos establecidos en las normas oficiales mexicanas de información comercial. Dichos documentos tendrán validez ante las autoridades competentes.

La autoridad competente deberá reconocer aquellas constancias o dictámenes expedidos por las unidades de verificación, aun cuando exista alguna discrepancia o error en ellas. No obstante, la autoridad competente que lo detecte deberá notificarlo a la Secretaría para que en su caso, aplique las sanciones correspondientes a la unidad de verificación de que se trate, independientemente de que ésta corrija dicha discrepancia o error, sin costo para el particular.

ARTÍCULO 51. Para los efectos de lo establecido en el artículo 56 de la Ley, los productores, fabricantes, importadores, comercializadores o prestadores de servicios sujetos al cumplimiento de normas oficiales mexicanas, podrán demostrar que cuentan con un sistema de calidad de producto, presentando certificado vigente expedido por un organismo de certificación acreditado en materia de aseguramiento de calidad, o que los procedimientos de evaluación de la conformidad del producto o servicio incorporan la verificación sistemática del sistema de control de calidad.

ARTÍCULO 75. Las entidades de acreditación, previa opinión de las dependencias competentes, podrán suspender en forma parcial o total la acreditación de los organismos de certificación, laboratorios de prueba, laboratorios de calibración o unidades de verificación, cuando:

I. No proporcionen a la entidad de acreditación o a las dependencias competentes en forma oportuna y completa los informes que le sean requeridos respecto a su funcionamiento y operación;

II. Se impidan u obstaculicen las funciones de verificación y vigilancia de la entidad de acreditación o de las dependencias competentes;

III. Se disminuyan los recursos o la capacidad necesaria para emitir los dictámenes técnicos o las certificaciones en áreas determinadas, caso en el cual la suspensión se concentrará en el área respectiva, o

IV. Cuando se violen las disposiciones de la Ley y el presente Reglamento.

Los organismos de certificación, laboratorios de prueba, laboratorio de calibración y unidades de verificación, después de haber sido notificados, tendrán el término de cinco días para manifestar lo que a su derecho convenga a la entidad de acreditación que pretende imponer la medida. Concluido dicho término sin que se justifique su actuación, se procederá a la suspensión de los mismos.

La suspensión durará en tanto no se cumpla con los requisitos u obligaciones respectivas, pudiendo concretarse ésta, sólo al área de incumplimiento cuando sea posible.

ARTÍCULO 76. Las entidades de acreditación, previa opinión de las dependencias competentes, podrán cancelar la acreditación de los organismos de certificación, laboratorios de prueba, laboratorios de calibración o unidades de verificación, cuando:

I. Emitan documentos donde se hagan constar los resultados de la evaluación de la conformidad con información o datos erróneos o falsos;

II. Nieguen reiterada o injustificadamente el servicio que se les solicite;

III. Renuncien expresamente a la acreditación concedida para operar;

IV. Reincidan en las violaciones a que hacen referencia las fracciones I, II y III del artículo anterior, o

V. Se disminuyan los recursos o la capacidad para emitir certificados o dictámenes por más de tres meses consecutivos.

Los organismos de certificación, laboratorios de prueba, laboratorio de calibración y unidades de verificación, después de haber sido notificados, tendrán el término de cinco días para manifestar lo que a su derecho convenga a la entidad de acreditación que pretende imponer la medida. Concluido dicho término sin que se justifique su actuación, se procederá a la suspensión de los mismos.

La cancelación de la acreditación conllevará la prohibición de ejercer las actividades que se hubieren autorizado y de hacer cualquier alusión a la acreditación, así como la de utilizar cualquier tipo de información o símbolo referente a la misma.

Capítulo II

De los Procedimientos para la Evaluación de la Conformidad

ARTÍCULO 80. Los procedimientos para la evaluación de la conformidad podrán elaborarse en forma general o para cada norma oficial mexicana en particular y, cuando se requiera, para normas mexicanas y podrán incluir la descripción de los requisitos que deben cumplir los usuarios, los procedimientos aplicables, consideraciones técnicas y administrativas, tiempo de respuesta, así como los formatos de solicitud del documento donde consten los resultados de la evaluación de la conformidad que deban aplicarse.

Capítulo III

De las Contraseñas y Marcas Oficiales

Sección I

De las contraseñas oficiales

ARTÍCULO 83. Para los efectos del artículo 76 de la Ley, cuando las dependencias competentes pretendan establecer las características de las contraseñas oficiales deberán remitir a la Secretaría para su opinión el anteproyecto de norma oficial mexicana en el que se establezcan las características de las mismas.

El uso obligatorio de contraseñas oficiales podrá establecerse en las normas oficiales mexicanas, o en los procedimientos para la evaluación de la conformidad.

Sección II

De las marcas oficiales

ARTÍCULO 84. Para los efectos del Capítulo III del Título Cuarto de la Ley, se entiende por marca oficial, aquella cuyo registro ha sido otorgado por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial a la Secretaría en forma exclusiva o conjuntamente con otra dependencia o entidad de la administración pública federal, de conformidad con las disposiciones legales aplicables en materia de propiedad industrial y las cuales tengan por objeto evidenciar la evaluación de la conformidad de determinados bienes, servicios o sistemas, respecto de especificaciones previstas en un pliego de condiciones y que garanticen la calidad superior del producto respecto de sus cualidades, propiedades y naturaleza.

Capítulo IV

De los laboratorios de pruebas y de calibración, organismos de certificación y unidades de verificación

ARTÍCULO 87. Los interesados en acreditarse y aprobarse como laboratorios de pruebas y calibración, organismos de certificación y unidades de verificación, deberán formular su solicitud a la entidad de acreditación en términos de lo dispuesto en los artículos 68 y, en su caso, 79 de la Ley.

ARTÍCULO 88. Los laboratorios de pruebas y calibración, organismos de certificación y, en su caso, las unidades de verificación acreditados y aprobados deberán demostrar, en la forma que indique la entidad de acreditación, que operan bajo un procedimiento de aseguramiento de la calidad que se encuentre previsto en las normas oficiales mexicanas, normas mexicanas o normas o lineamientos internacionales, que actúan con imparcialidad, independencia e integridad, y que garantizan la confidencialidad y la solución a los posibles conflictos que puedan afectar la confianza que deben brindar.

Las personas a que se refiere este artículo deberán proporcionar a la entidad de acreditación y a la dependencia competente, toda la información que les soliciten a fin de que éstas vigilen su estricto apego con la Ley, el presente Reglamento, las normas oficiales mexicanas, normas mexicanas y normas o lineamientos internacionales aplicables y las condiciones y términos conforme a los cuales les fue otorgada la acreditación y la aprobación.

Título Quinto

De la Verificación

Capítulo Único

Verificación y Vigilancia

ARTÍCULO 96. Para los efectos del artículo 89 de la Ley, los sistemas de información que integren las dependencias, incluirán a las personas a las que se les otorgue, cancele o revoque un documento donde consten los resultados de la evaluación de la conformidad con las normas oficiales mexicanas y, en su caso, normas mexicanas, así como de las empresas a las cuales se les efectúen las verificaciones correspondientes y contarán al menos con la información siguiente:

- I. Nombre, denominación o razón social;
- II. Registro Federal de Contribuyentes;
- III. Domicilio;

IV. Poder o mandato del representante legal, en su caso;

V. Producto, método, proceso, sistema o práctica industrial, comercial o de servicio, y

VI. Número del certificado, aprobación o autorización, vigencia y alcance, así como en su caso, el número de la acreditación y aprobación del organismo que haya emitido el documento, la norma que se cumple, marca, tipo y características del producto, método, proceso, sistema o práctica industrial, comercial o de servicio.

Los sistemas de información deberán actualizarse periódicamente y estar a disposición de las dependencias y autoridades competentes para su consulta, sin perjuicio de que los particulares puedan consultar dichos sistemas cuando así lo autorice la dependencia competente.

ARTÍCULO 97. Las visitas de verificación para la evaluación de la conformidad respecto de normas oficiales mexicanas se efectuarán por el personal de la autoridad competente debidamente autorizado o mediante el auxilio de unidades de verificación acreditadas y aprobadas que sean comisionadas específicamente por la autoridad respectiva, conforme a un programa de verificaciones previamente elaborado por la misma.

Cuando no existan laboratorios acreditados para efectuar alguna calibración o prueba conforme a las especificaciones establecidas en las normas, las autoridades competentes podrán aceptar informes de resultados de laboratorios acreditados para otras normas, o en su defecto, de laboratorios no acreditados siempre que cuenten con la infraestructura necesaria. Los informes de resultados de calibración o pruebas deberán demostrar que se cumple con las normas oficiales mexicanas correspondientes.

ARTÍCULO 98. El personal de la autoridad competente o de la unidad de verificación acreditada y aprobada, comisionado para efectuar las visitas de verificación o comprobación deberá observar las reglas siguientes:

I. Se presentará en la empresa con una identificación vigente en la que conste que está adscrito a la autoridad competente, o bien, a la unidad de verificación acreditada y aprobada. Dicha identificación deberá contener por ambos lados la leyenda siguiente: "Esta credencial autoriza a su portador a realizar la verificación, solamente si exhibe el oficio de comisión correspondiente";

II. Entregará el original del oficio de comisión a fin de que la persona que atiende la visita tenga conocimiento del objeto de la misma y, en su caso, copia de la acreditación y aprobación correspondiente. Dicho oficio deberá indicar el domicilio y teléfono de la autoridad competente que ordena la visita con el fin de que los particulares que son visitados puedan verificar la procedencia de la misma;

III. Solicitará a la persona que atiende la visita, que nombre a dos personas que fungirán como testigos, en los términos del artículo 97 de la Ley;

IV. Realizará una constatación ocular de los productos, métodos, procesos, sistemas o prácticas industriales, comerciales o de servicios que se encuentren en el establecimiento y, en su caso, recabará muestras según sea el objeto de la visita;

V. Una vez realizada la verificación procederá a levantar el acta con letra legible, sin tachaduras y asentando con toda claridad los hechos encontrados;

VI. Antes de cerrar el acta dará vista a la empresa verificada a fin de que manifiesten lo que a su derecho convenga, y

VII. Una vez leída el acta, firmarán al margen y al calce los que deseen hacerlo, y la falta de alguno de ellos se hará constar en la misma, sin que esto invalide su contenido.

ARTÍCULO 99. Los productos y servicios que no cumplan con las normas oficiales mexicanas, quedarán inmovilizados en el lugar en donde se encuentren, mediante la adhesión o colocación de sellos o fajillas y, en el caso de servicios, se prohibirá su prestación.

Siempre con cargo al interesado y en los términos que determine la autoridad competente, dichos productos o servicios podrán:

6.- INSTALACIONES DE APROVECHAMIENTO PARA GAS NATURAL

**VER CAPITULO VII DEL LIBRO TOMO III
GAS NATURAL, COMBUSTIBLE ECOLOGICO
LA MEJOR ALTERNATIVA AMBIENTAL**

A	NOM-002-SECRE. INSTALACIONES CLASIFICACIÓN	VII(1)
B	REQUISITOS PARA EL DISEÑO. TUBERÍAS	VII(2) AL (5)
C	PRUEBA DE HERMETICIDAD, COMPONENTES	VII(5)(7)
D	TUBERÍAS Y CONEXIONES DE POLIETILENO	VII(7)(8)
E	EQUIPOS DE CONSUMO, REGULADORES	VII(8)(9)(10)

7.- ACCESORIOS Y EQUIPOS

VER CAPITULO VIII Y XII DEL LIBRO TOMO III

GAS NATURAL , COMBUSTIBLE ECOLOGICO

LA MEJOR ALTERNATIVA AMBIENTAL

A	REGULADORES DE PRESION, COMPONENTES	VIII(1) AL (7) XII(6) AL (8)
B	MEDIDORES VOLUMETRICOS PARA GAS EN ESTADO DE VAPOR	VIII(8) AL (10)
C	ESTACIONES DE REGULACION Y MEDICION	XII(1) AL (4)

8.- APARATOS DE CONSUMO

**VER CAPITULO XI DEL LIBRO TOMO III
GAS NATURAL, COMBUSTIBLE ECOLOGICO
LA MEJOR ALTERNATIVA AMBIENTAL**

A	CARACTERISTICAS DEL GAS QUE DEBER TOMARSE EN CUENTA, PARA AJUSTAR ADECUADAMENTE LOS QUEMADORES	XI(1) AL (6)
B	DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE CONSUMO MAS USUALES	XI(6)(7)
C	ESTUFAS DOMESTICAS, TERMOSTATO DE HORNOS DE ESTUFA	XI(8)
D	CALENTADORES DE ALMACENAMIENTO, TERMOSTATO	XI(9)(10)(11)
E	CALENTADORES TIPO INSTANTANEO	XI(12)(13)
F	CALENTADORES COMERCIALES	XI(14)

9.- PROYECTOS Y CALCULOS

**VER CAPITULO XII DEL LIBRO TOMO III
GAS NATURAL, COMBUSTIBLE ECOLOGICO
LA MEJOR ALTERNATIVA AMBIENTAL**

A	GENERALIDADES	XII(1)
B	PROYECTO DE UNA ESTACIÓN DE MEDICIÓN Y REGULACIÓN	XII(1)(2)(6) AL (8)
C	MEDIDORES	XII(3) AL (6)
D	EQUIPO AUXILIAR, CASITAS	XII(9)(10)
E	CALCULO DE LAS INSTALACIONES	XII(11)
F	DE CONSUMO RESIDENCIAL	XII(18)
G	INDUSTRIAL	XII(25) AL (30)

10.- PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

VER CAPITULO XIII DEL LIBRO TOMO III

GAS NATURAL, COMBUSTIBLE ECOLOGICO

LA MEJOR ALTERNATIVA AMBIENTAL

A	DE LA INSTALACIÓN DE APROVECHAMIENTO	XIII(7)
B	INSTALACIONES INDUSTRIALES:	
a)	PLAN INTEGRAL DE SEGURIDAD	VII(10)
b)	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	VII(10)(11)

11.- DISTRIBUCION DE GAS NATURAL REDES

**VER CAPITULO VI DEL LIBRO TOMO III
GAS NATURAL, COMBUSTIBLE ECOLOGICO
LA MEJOR ALTERNATIVA AMBIENTAL**

A	INTRODUCCIÓN, CAMPO DE APLICACIÓN	VI(1)
B	MATERIALES Y EQUIPO	VI(2) AL ((6)
C	CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	VI(7) AL (12)
D	INSPECCIÓN, PRUEBAS Y OPERACIÓN DEL SISTEMA	VI(13)(14)
E	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	VI(15) AL (18)
F	RECLASIFICACION DE TUBERÍAS	VI(19)
G	PLAN INTEGRAL DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CIVIL	VI(20)(21)(22)



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

GAS NATURAL COMBUSTIBLE ECOLOGICO

TEMA

TERMODINAMICA

**EXPOSITOR: ING FERNANDO F. BLUMENKROM
PALACIO DE MINERIA
ABRIL 2001**

1 Termodinámica

OBJETIVOS : DESPUES DE ESTUDIAR A FONDO ESTE TEMA SE DEBERA SER CAPAZ DE:

1. Demostrar por definición y ejemplo la comprensión sobre la *primera y segunda ley de la termodinámica*.
2. Definir y dar ejemplos ilustrados de los procesos *adiabáticos, isocóricos e isotérmicos*.
3. Escribir y aplicar la relación para determinar la *eficiencia ideal* de una máquina térmica.

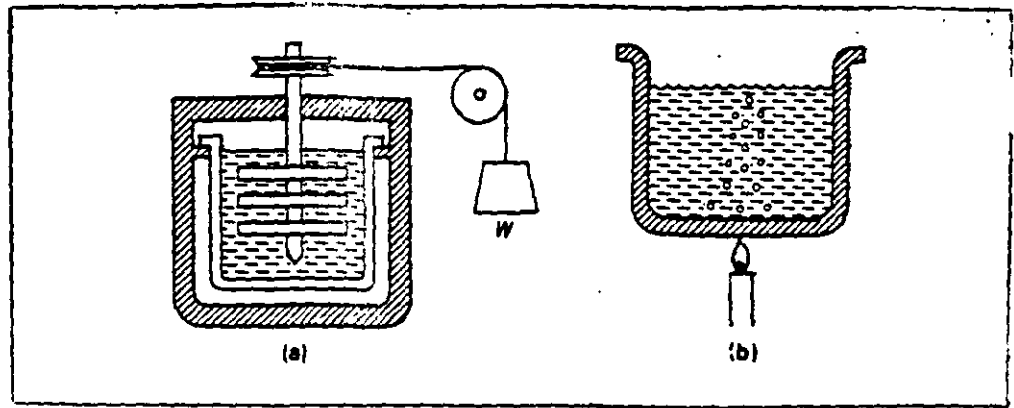
La termodinámica trata acerca de la transformación de energía térmica en energía mecánica y el proceso inverso, la conversión de trabajo en calor. Puesto que casi toda la energía disponible de la máquina prima se libera en forma de calor, resulta fácil advertir por que la termodinámica juega un papel tan importante en la ciencia y la tecnología.

En este capítulo se estudiarán dos leyes básicas que deben obedecerse cuando se utiliza energía térmica para realizar trabajo. La primera ley es simplemente volver a postular el principio de la conservación de la energía. La segunda ley impone restricciones sobre el uso eficiente de la energía disponible.

1-1 CALOR Y TRABAJO

- Se ha establecido con claridad la equivalencia del calor y el trabajo como dos formas de energía. La teoría del calórico fue desechada por Rumford al demostrar que es posible obtener calor indefinidamente de un sistema en tanto se suministre

Figura 1-1
Incremento de la energía interna de un sistema por medio de
a) trabajo mecánico efectuado sobre el sistema; b) suministrando calor al sistema.



trabajo externo. Joule cerró el caso al demostrar experimentalmente el equivalente mecánico del calor.

El trabajo, al igual que el calor, implica una transferencia de energía; empero, hay una distinción muy importante entre ambos términos. En mecánica se define el trabajo como una cantidad escalar, igual en magnitud al producto de la fuerza por el desplazamiento. La temperatura no juega ningún papel en esta definición. El calor, por otro lado, es la energía que fluye desde un cuerpo hasta otro debido a una diferencia en temperatura. Esta última es una condición necesaria para que se lleve a cabo la transferencia de calor, de la misma forma que el desplazamiento es la condición necesaria para que se realice trabajo.

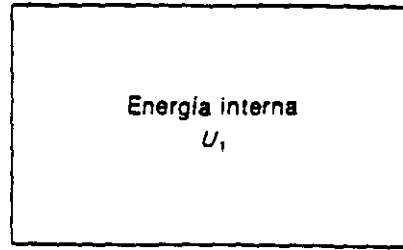
El punto principal en este estudio es reconocer que tanto el calor como el trabajo representan cambios, los cuales ocurren en un proceso dado y generalmente acompañados de un cambio en la energía interna. Considerense las dos situaciones que se muestran en la figura 1-1. En la figura 1-1a la energía interna del agua aumenta al efectuar un trabajo mecánico. En la figura 1-1b la energía interna del agua aumenta debido a un flujo de calor.

1-2 FUNCIÓN DE LA ENERGÍA INTERNA

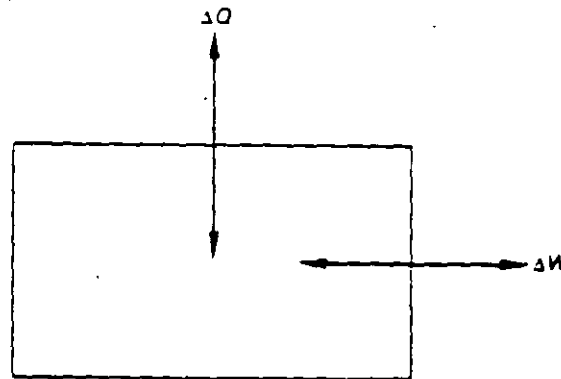
Se dice que un sistema está en *equilibrio termodinámico* si no hay una fuerza resultante que actúe sobre el sistema y si la temperatura de éste es la misma de sus alrededores. Esta condición requiere que no se realice trabajo sobre o por el sistema y que no haya un intercambio de calor entre éste y sus alrededores. En esas condiciones, el sistema tiene una energía interna definida U . Su *estado termodinámico* puede describirse con tres coordenadas: 1) su presión P , 2) su volumen V , y 3) su temperatura T . Siempre que el sistema absorba o libere energía, ya sea en forma de calor o trabajo, se alcanzará un nuevo estado de equilibrio, de modo que la energía se conserva.

Considérese un proceso termodinámico general en el cual un sistema cambia de un estado de equilibrio 1 a un estado de equilibrio 2. Véase la figura 1-2. En la figura 1-2a el sistema se encuentra en equilibrio termodinámico, con una energía interna inicial U_1 y coordenadas termodinámicas (P_1, V_1, T_1) . En la figura 1-2b

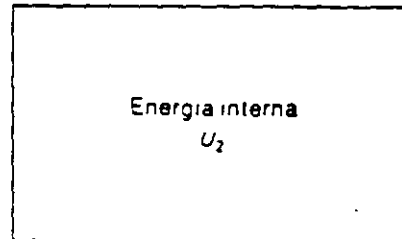
Figura 1-2
Diagrama
esquemático de un
proceso
termodinámico.



(a) Estado inicial del sistema (P_1, V_1, T_1)



(b) Sistema sometido a un proceso termodinámico



(c) Estado final del sistema (P_2, V_2, T_2)

el sistema reacciona con sus alrededores. El calor Q puede absorberse por el sistema y/o liberarse de su medio ambiente. La transferencia de calor se considera positiva para entrada de calor y negativa para salida de calor. El calor neto que absorbe el sistema se representa por ΔQ . El trabajo W puede realizarse por y/o sobre el sistema. La salida de trabajo se considera positivo, y la entrada, negativo. Es decir, ΔW representa el trabajo neto efectuado por el sistema (salida de trabajo). En la figura 1-1c se muestra al sistema cuando ha alcanzado su estado

final 2 y está de nuevo en equilibrio, con una energía interna final U_2 . Sus nuevas coordenadas termodinámicas son (P_2, V_2, T_2) .

Si ha de conservarse la energía, el cambio en energía interna

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

debe representar la diferencia entre el calor ΔQ neto absorbido por el sistema y el trabajo neto ΔW realizado por el mismo sobre sus alrededores.

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W \quad (1-1)$$

Por lo tanto, el cambio de energía interna se define únicamente en términos de cantidades mensurables de calor y trabajo. La ecuación (21-1) establece la existencia de una *función de energía interna* que se determina por las coordenadas termodinámicas de un sistema. Su valor en el estado final menos su valor en el estado inicial representa el cambio de energía del sistema.

1-3 PRIMERA LEY DE LA TERMODI- NÁMICA

La *primera ley de la termodinámica* es simplemente repostular el principio de la *conservación de la energía*:

La energía no puede crearse ni destruirse, sólo transformarse de una forma a otra.

Al aplicar esta ley a un proceso termodinámico, de la ecuación (21-1) se nota que

$$\Delta Q = \Delta W + \Delta U \quad (1-2)$$

Esta ecuación representa el postulado matemático de la *primera ley de la termodinámica* que puede enunciarse como sigue:

En cualquier proceso termodinámico, el calor neto absorbido por un sistema es igual a la suma del equivalente térmico del trabajo realizado por él y el cambio en su energía interna.

EJEMPLO 1-1

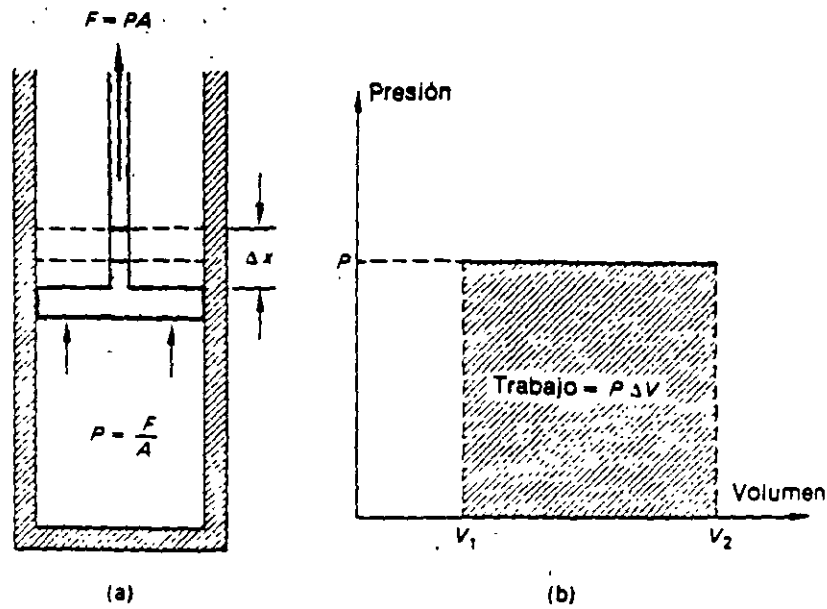
En cierto proceso, un sistema absorbe 400 cal de calor y al mismo tiempo efectúa un trabajo de 80 J sobre sus alrededores. ¿Cuál es el aumento de la energía interna del sistema?

Solución

Aplicando la primera ley se obtiene

$$\begin{aligned} \Delta U &= \Delta Q - \Delta W \\ &= 400 \text{ cal} - 80 \text{ J} \frac{1 \text{ cal}}{4.186 \text{ J}} \\ &= 400 \text{ cal} - 19.1 \text{ cal} = 380.9 \text{ cal} \end{aligned}$$

Figura 1-3
 a) Cálculo del trabajo realizado por un gas al expandirse a presión constante.
 b) El trabajo es igual al área bajo la curva de un diagrama P - V .



Por tanto, las 400 cal de energía térmica de entrada se emplean para realizar 19.1 cal de trabajo, en tanto que la energía interna del sistema se incrementa en 380.9 cal. La energía se conserva.

1-4 DIAGRAMA P-V

Muchos procesos termodinámicos incluyen cambios de energía que le ocurren a gases encerrados en cilindros. Aquí será de utilidad deducir una expresión para calcular un trabajo efectuado por un gas que se expande. Considérese un sistema que consiste en un cilindro de gas y émbolo móvil, como se muestra en la figura 1-3a. El émbolo tiene un área de sección transversal A y descansa sobre una columna de gas a una presión P . Puede fluir calor hacia dentro o hacia afuera del gas a través de las paredes del cilindro. Puede realizarse trabajo sobre o por el gas al empujar el émbolo hacia abajo o al permitir que se expanda hacia arriba.

Considérese primero el trabajo hecho por el gas cuando se expande a presión constante P . La fuerza que ejerce el gas sobre el émbolo será igual a PA . Si el émbolo se desplaza hacia arriba una distancia Δx , el trabajo ΔW de esta fuerza será

$$\Delta W = F \Delta x = PA \Delta x$$

Pero $A \Delta x = \Delta V$, donde ΔV representa el cambio en volumen del gas. Por lo tanto,

$$\Delta W = P \Delta V$$

(1-3)

En otras palabras, el trabajo realizado por un gas al expandirse a presión constante es igual al producto de la presión por el cambio en volumen del gas.

El proceso puede demostrarse gráficamente al trazar el incremento del volumen como función de la presión (Fig. 1-3b). A esta representación se le llamará *diagrama P-V*, y es extremadamente útil en termodinámica. En el ejemplo anterior, la presión era constante, así que la gráfica es una línea recta. Obsérvese que el área debajo de la línea, indicada por la porción sombreada en la figura es

$$\text{Área} = P(V_2 - V_1) = P \Delta V$$

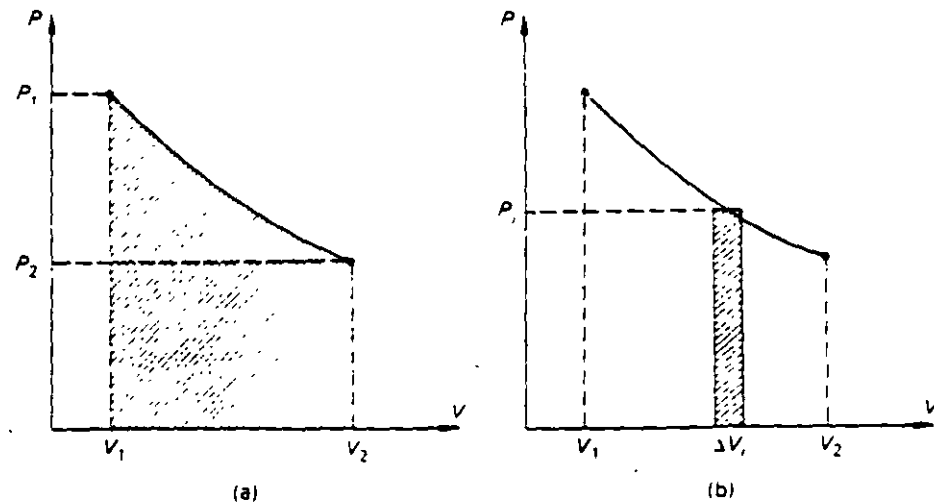
que es igual al trabajo ΔW , de la ecuación (1-3). De aquí se deduce un principio muy importante:

Cuando un proceso termodinámico implica cambios en volumen y/o presión, el trabajo realizado por el sistema es igual al área bajo la curva en un diagrama PV.

En general, la presión no será constante durante el desplazamiento del émbolo. Por ejemplo, en la carrera del émbolo de un motor de gasolina, el fluido se enciende a alta presión, la que decrece a medida que el pistón se desplaza hacia abajo. El diagrama *P-V*, en este caso, es una curva en declive, como se muestra en la figura 1-4a. El volumen se incrementa desde V_1 hasta V_2 mientras que la presión *desciende desde* P_1 hasta P_2 . Para calcular el trabajo en un proceso como éste, debe apoyarse en un análisis gráfico y medir el área bajo la curva *P-V*.

El hecho de que el área bajo la curva sea igual al trabajo cuando la presión no es constante, puede demostrarse de la figura 1-4. El área del rectángulo sombreado angosto representa el trabajo efectuado por el gas que se expande debido al incremento ΔV , bajo presión constante P . Si el área bajo toda la curva se divide en muchos de esos rectángulos, es posible sumar todos los productos $P, \Delta V$, a fin de obtener el trabajo total. Por lo tanto, se puede ver que este último es simplemente el área bajo el diagrama *P-V* entre los puntos V_1 y V_2 sobre el eje del volumen.

Figura 1-4 Trabajo realizado por un gas al expandirse bajo una presión variable.



**1-5
CASO
GENERAL
PARA LA
PRIMERA LEY**

La primera ley de la termodinámica estipula que la energía debe conservarse en cualquier proceso termodinámico. En la formulación matemática

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

hay tres cantidades que pueden sufrir cambios. El proceso más general es aquel en el que intervienen las tres cantidades. Por ejemplo, el fluido de la figura 1-5 se expande mientras está en contacto con una llama. Si se considera al gas como un sistema habrá una transferencia de calor neta ΔQ impartida al gas. Esta energía se emplea en dos formas: 1) la energía interna ΔU del gas se incrementa por una porción de la energía térmica de entrada, y 2) el gas efectúa una cantidad de trabajo ΔW sobre el émbolo que es equivalente al resto de la energía disponible.

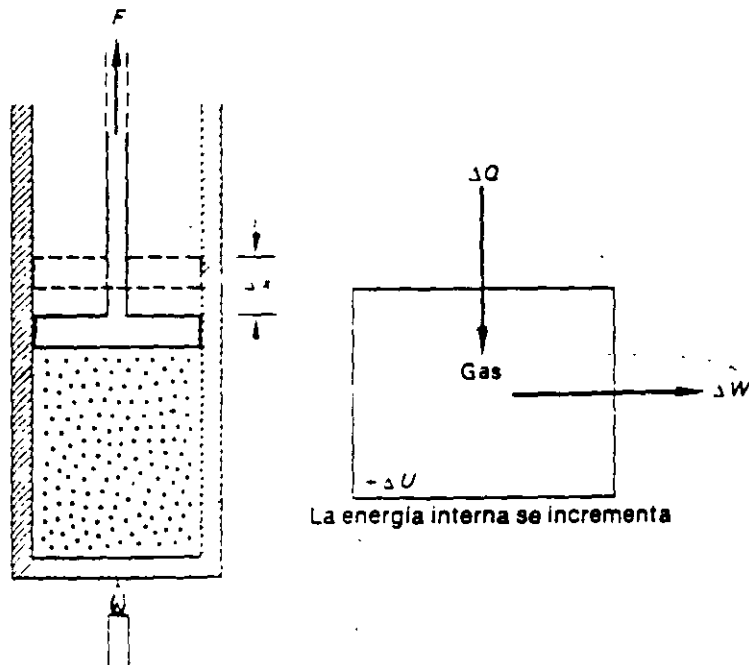
Se originan casos especiales de la primera ley cuando una o más de las tres cantidades — ΔQ , ΔW , o ΔU — no sufre cambio. En estos ejemplos la primera ley se simplifica considerablemente. En las secciones siguientes se considerarán varios de estos procesos especiales.

**1-6
PROCESOS
ADIABÁTICOS**

Supóngase que un sistema se encuentra completamente aislado de sus alrededores de modo que no pueda haber un intercambio de energía térmica Q . Cualquier proceso que ocurra por completo dentro de una cámara aislada se llama proceso *adiabático*, y se dice que el sistema está rodeado por paredes *adiabáticas*.

Un proceso adiabático es aquel en el que no hay intercambio de energía térmica ΔQ entre un sistema y sus alrededores.

Figura 1-5 La fracción de la energía ΔQ suministrada al gas por la llama se transforma en un trabajo externo ΔW . El resto incrementa la energía interna ΔU del gas.



Aplicando la primera ley a un proceso en el cual $\Delta Q = 0$, se obtiene

$$\Delta W = -\Delta U \quad \text{Adiabático (1-4)}$$

La ecuación (1-4) dice que en un proceso adiabático el trabajo se realiza a expensas de la energía interna. La disminución de la energía térmica suele estar acompañada por un decremento en la temperatura.

Como ejemplo de un proceso adiabático considérese la figura 1-6, en la cual un émbolo se levanta por un gas que se expande. Si las paredes del cilindro están aisladas y la expansión ocurre con rapidez, el proceso será aproximadamente adiabático. A medida que el gas se expande, realiza trabajo sobre el émbolo pero pierde energía interna y experimenta una caída en la temperatura. Si se invierte el proceso forzando al émbolo de regreso hacia abajo, se hace trabajo sobre el gas ($-\Delta W$) y habrá un incremento en la energía interna (ΔU) tal que

$$-\Delta W = +\Delta U$$

En este ejemplo la temperatura se elevará.

Otro ejemplo de un proceso adiabático que permite aplicaciones muy útiles en la refrigeración industrial se conoce con el nombre de proceso de estrangulación.

Un proceso de estrangulación es aquel en el que el fluido a alta presión se filtra adiabáticamente a través de una pared porosa o abertura estrecha en una región de baja presión.

Considérese un gas forzado por una bomba para que circule a través del aparato en la figura 1-7. El gas del lado de alta presión de la bomba se fuerza a tra-

Figura 1-6 En un proceso adiabático no hay transferencia de calor, y el trabajo se realiza a expensas de la energía interna.

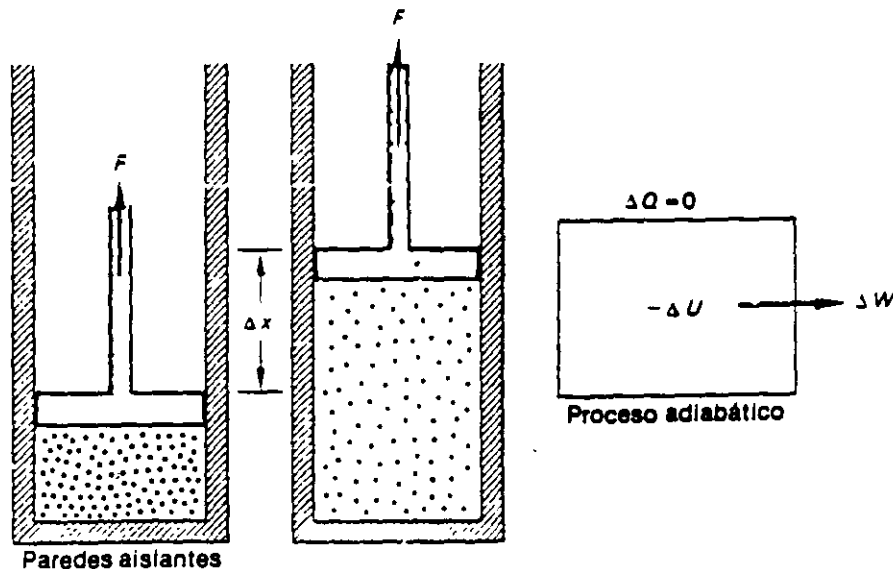
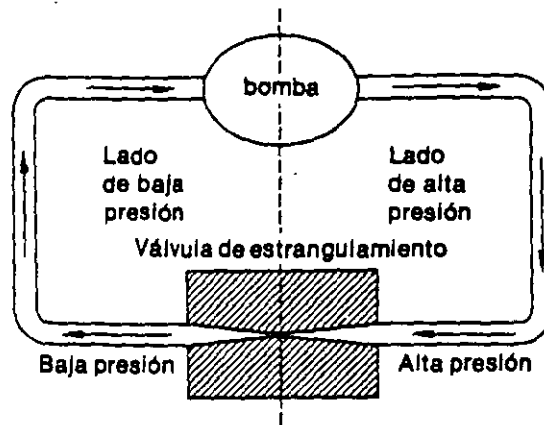


Figura 1-7 Proceso de estrangulamiento.



vés de la constricción estrecha, llamada **válvula de estrangulación**, hacia el lado de baja presión. La válvula se aísla muy bien, de tal forma que el proceso sea adiabático y $\Delta Q = 0$. De acuerdo con la primera ley, $\Delta W = \Delta U$, el trabajo neto realizado por el gas al pasar a través de la válvula se efectúa a expensas de la energía interna. En refrigeración, un líquido refrigerante sufre una caída de temperatura y una vaporización parcial como resultado del proceso de estrangulación.

1-7 PROCESOS ISOCÓRICOS

Otro proceso especial para la primera ley ocurre cuando no se realiza trabajo, ya sea *por* o *sobre* el sistema. A este tipo de proceso se le conoce con el nombre de *proceso isocórico*; también se le llama *proceso isovolumétrico* ya que no hay un cambio en el volumen sin que se efectúe trabajo.

Un **proceso isocórico** es aquel en el cual el volumen del sistema permanece constante.

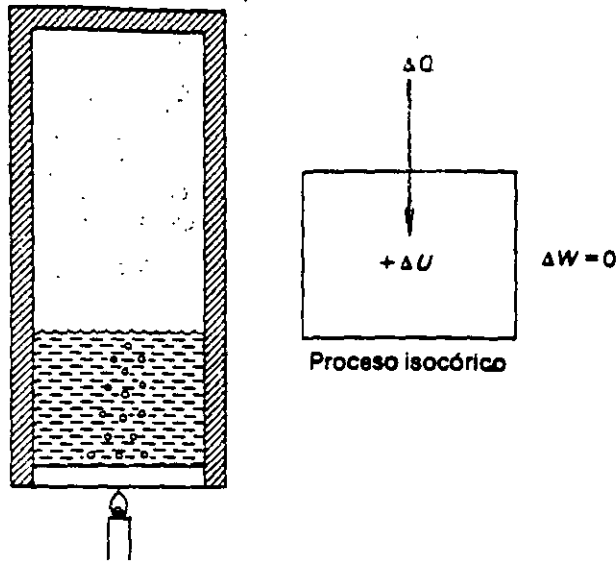
Si se aplica la primera ley a una proceso en donde $\Delta W = 0$, se obtiene

$$\Delta Q = \Delta U \quad \text{Isocórico (1-5)}$$

O sea, que en un proceso isocórico toda la energía térmica que el sistema absorbe hace que se incremente su energía interna. En este ejemplo puede haber un incremento de la temperatura del sistema.

Ocurre un proceso isocórico cuando se calienta agua en un recipiente de volumen fijo, como se muestra en la figura 1-8. A medida que se suministra calor al sistema, el incremento de energía interna da por resultado una elevación de la temperatura del agua hasta que comienza a hervir. Incrementando aún más la energía interna, se produce el proceso de vaporización. No obstante, el volumen del sistema, que consta de agua y vapor, permanece constante y no se realiza trabajo.

Figura 1-8 En un proceso isocórico, el volumen del sistema (agua y vapor) permanece constante.



Cuando se retira la llama, se invierte el proceso y el calor abandona el sistema a través del fondo del cilindro. El vapor de agua se condensará, y la temperatura resultante del agua descenderá a la temperatura ambiente. Este proceso representa una pérdida de calor y un correspondiente decremento de energía térmica, pero tampoco se efectúa trabajo.

1-8 PROCESOS ISOTÉRMICOS

Es posible que tanto la presión y el volumen de un gas varíen sin que lo haga la temperatura. En el capítulo 20 se introdujo la ley de Boyle para describir un proceso de este tipo. Un gas puede comprimirse tan lentamente que en principio puede considerarse en equilibrio térmico con sus alrededores. La presión aumenta a medida que el volumen decrece; empero, la temperatura permanece básicamente constante.

Un proceso isotérmico es aquel en el cual la temperatura del sistema permanece constante.

Si no hay cambio de fase, una temperatura constante indica que no hay un cambio en la energía interna del sistema. Aplicando la primera ley a un proceso en el cual $\Delta U = 0$, se obtiene

$$\Delta Q = \Delta W \quad \text{Isotérmico (1-6)}$$

Por lo tanto, en un proceso isotérmico toda la energía absorbida por el sistema se convierte en salida de trabajo.

1-9
**SEGUNDA LEY
DE LA
TERMODINÁMICA**

Cuando se frotran las manos vigorosamente, el trabajo de rozamiento que se realiza tendrá como consecuencia un incremento en la energía interna, ocasionando que la temperatura se eleve. El aire circundante forma un gran reservorio a una temperatura menor, y la energía térmica se transfiere al aire sin que la temperatura cambie apreciablemente. Cuando se deja de frotar las manos se regresa al estado anterior. De acuerdo con la primera ley, la energía mecánica se ha transformado en calor con una eficiencia del 100%.

$$\Delta W = \Delta Q$$

Tal transformación puede continuarse indefinidamente en tanto se suministre trabajo.

Considérese el proceso inverso. ¿Será posible transformar energía térmica en trabajo mecánico con una eficiencia del 100%? En el ejemplo anterior, ¿es posible todo el calor transferido al aire y regresarlo a las manos, ocasionando que ellas se froten indefinidamente en forma espontánea? En un día frío de invierno, este proceso sería beneficioso para los cazadores que tengan las manos frías. Desafortunadamente, tal proceso no puede ocurrir aun cuando no se viola la primera ley. Tampoco es posible recuperar el calor perdido al frenar un automóvil a fin de que las ruedas comiencen a rodar nuevamente.

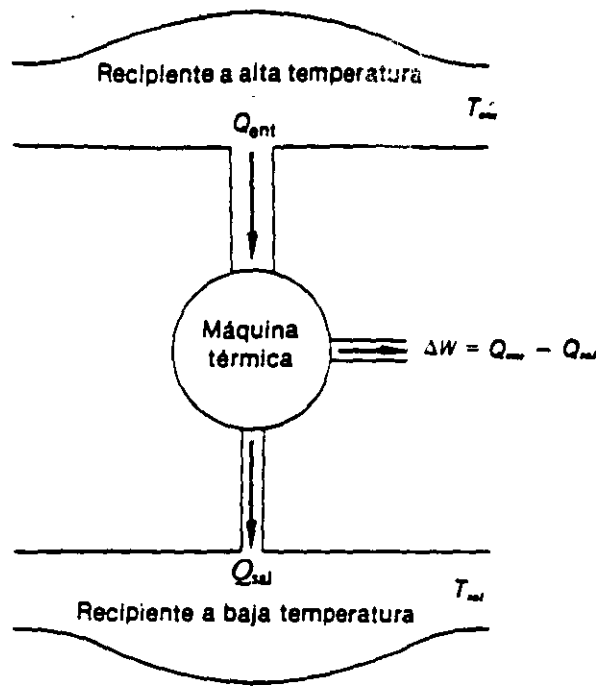
Se verá que la conversión de energía térmica en trabajo mecánico es un proceso con pérdidas. La primera ley de la termodinámica dice que no puede ganarse en un experimento tal. En otras palabras, es imposible obtener más trabajo de un sistema que el calor que se pone en el mismo. Empero, esto no excluye la posibilidad de continuar frenando. Debido a lo anterior, es evidente que se necesita otra regla que establezca que no es posible la conversión del 100% de energía térmica en trabajo útil. Esta regla es la base de la *segunda ley de la termodinámica*.

Segunda ley de la termodinámica: *Es imposible construir una máquina que, si opera continuamente, no produzca otro efecto que la extracción de calor de una fuente y la realización de una cantidad equivalente de trabajo.*

Para darle más profundidad y aplicación a este principio, supóngase que se estudia la operación y eficiencia de las máquinas térmicas. Un sistema particular puede ser un motor de gasolina, uno de propulsión, una máquina de vapor e incluso el cuerpo humano. La operación de una máquina térmica se puede describir mejor por medio de un diagrama similar al que se muestra en la figura 1-9. Durante la operación de una de estas máquinas se llevan a cabo tres procesos:

1. Se suministra una cantidad de calor Q_{ent} a la máquina desde un recipiente a alta temperatura T_{ent} .
2. La máquina efectúa un trabajo mecánico W_{sal} producido por una parte del calor de entrada.
3. Cierta cantidad de calor Q_{sal} se libera al recipiente a baja temperatura T_{sal} .

Figura 1-9
Diagrama
esquemático de una
máquina térmica.



Considerando que el sistema vuelve periódicamente a su estado inicial, el cambio neto de energía interna es cero. Por tanto, la primera ley nos dice que

$$\text{Trabajo de salida} = \text{calor de entrada} - \text{calor de salida}$$

$$W_{\text{sal}} = Q_{\text{ent}} - Q_{\text{sal}}$$

La eficiencia de una máquina térmica se define como la razón del trabajo de salida al calor de entrada, y es comúnmente expresada como un porcentaje.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{trabajo de salida}}{\text{calor de entrada}}$$

$$E = \frac{Q_{\text{ent}} - Q_{\text{sal}}}{Q_{\text{ent}}}$$

(21-8)

Por ejemplo, una máquina con una eficiencia de 25% ($E = 0.25$) debería absorber 1000 Btu, realizar 250 Btu de trabajo y desechar 750 Btu como pérdida de calor. Una máquina 100% eficiente es aquella en la cual todo el calor aplicado es transformado en trabajo útil. En este caso no hay pérdidas de calor hacia el medio ambiente ($Q_{\text{sal}} = 0$). Aunque dicho proceso conservará energía, viola la segunda ley de la termodinámica. La máquina más eficiente es aquella que libera la menor cantidad de calor posible al medio ambiente.

1-10 CICLO DE CARNOT

Todas las máquinas térmicas están sujetas a muchas dificultades prácticas. Debido al rozamiento y a la pérdida de calor por conducción y radiación, se limita la posibilidad de que las máquinas reales obtengan su máxima eficiencia. Sadi Carnot, en 1824, ideó una máquina térmica ideal sin tales problemas.

La *máquina de Carnot* tiene la máxima eficiencia posible para una máquina que absorbe calor de una fuente a alta temperatura, realiza trabajo externo y deposita calor en un recipiente a baja temperatura. La eficiencia de una máquina dada puede por lo tanto determinarse al compararla con una máquina de Carnot que trabaje entre las mismas temperaturas.

En la figura 1-10 se muestra el *ciclo de Carnot*. Un gas contenido en un cilindro equipado con un émbolo móvil se coloca en contacto con una fuente a alta temperatura T_{ent} . El gas absorbe una cantidad de calor Q_{ent} y se expande isotérmicamente a medida que la presión decrece. La primera etapa de un ciclo de Carnot se muestra gráficamente como la curva AB en el diagrama $P-V$ (Fig. 1-11). A continuación el cilindro se coloca sobre un aislante térmico, en donde continúa expandiéndose adiabáticamente en tanto la presión cae a su valor más bajo. Esta etapa se representa gráficamente por la curva BC . En la tercera etapa se retira el cilindro de la base aislante y se coloca en una fuente con una temperatura baja T_{sal} . Una cantidad de calor Q_{sal} se absorbe del gas a medida que se comprime isotérmicamente desde el punto C al punto D del diagrama $P-V$. Finalmente, el cilindro se coloca otra vez sobre la base aislante, en donde se comprime adiabáticamente a su estado original a lo largo de la trayectoria DA . La máquina realiza trabajo externo durante los procesos de expansión y regresa a su estado inicial durante los procesos de compresión.

1-11 LA EFICIENCIA DE UNA MÁQUINA IDEAL

La eficiencia de una máquina real es difícil de predecir a partir de la ecuación (1-8), porque es difícil calcular las cantidades Q_{ent} y Q_{sal} . Las pérdidas por fricción y calor a través de las paredes del cilindro y alrededor del pistón, la combustión incompleta del combustible y aun las propiedades físicas de los distintos combus-

Figura 21-10 Ciclo de Carnot:
a) expansión isotérmica,
b) expansión adiabática,
c) compresión isotérmica, y
d) compresión adiabática.

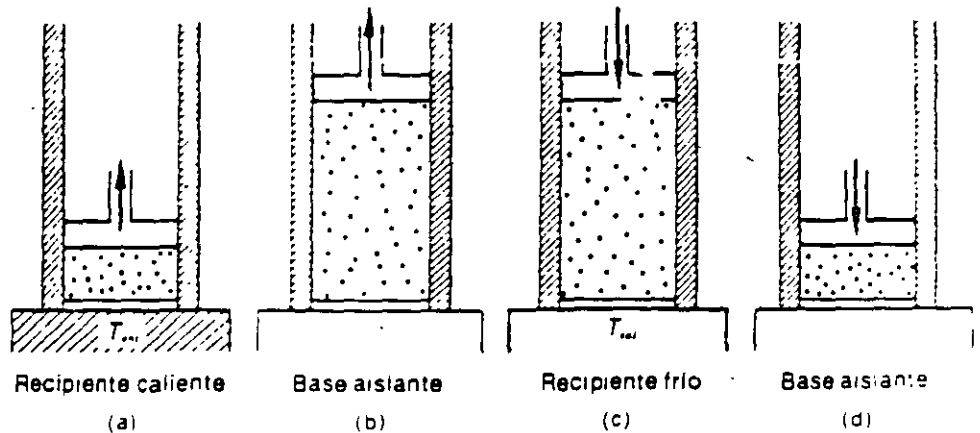
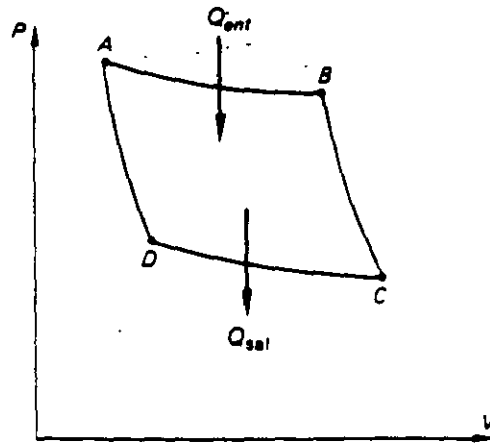


Figura 1-11
Diagrama P - V de un
ciclo de Carnot
ideal.



tibles impiden que se mida la eficiencia de dichas máquinas. No obstante, se puede imaginar una *máquina ideal* que no tenga obstáculos en lo que se refiere a dificultades prácticas. La eficiencia de dicha máquina dependerá sólo de las cantidades de calor absorbido y liberado entre dos fuentes de calor bien definidas, y no de las propiedades térmicas del combustible utilizado; en otras palabras, independientemente de los cambios internos de presión, volumen, longitud u otros factores, toda máquina ideal tiene la misma eficiencia cuando opera entre dos temperaturas iguales (T_{ent} y T_{sal}).

Una máquina ideal es la que tiene la máxima eficiencia posible para los límites de temperatura dentro de los que opera.

Si se puede definir la eficiencia de una máquina en términos de entrada y salida de temperaturas, en lugar de entrada y salida de calor, se obtendrá una fórmula más útil. Para una máquina ideal es posible demostrar que la razón Q_{ent}/Q_{sal} es la misma que la razón T_{ent}/T_{sal} . Esta prueba no está dentro de los objetivos de este texto. La eficiencia de una máquina ideal, por lo tanto, se puede expresar como una función de las temperaturas absolutas de los depósitos de entrada y salida. La ecuación (1-8) para una máquina ideal se convierte en

$$\epsilon = \frac{T_{ent} - T_{sal}}{T_{ent}} \quad (1-9)$$

Se puede demostrar que ninguna máquina que opere entre dos temperaturas iguales puede ser más eficiente de lo que se indicaría en la ecuación (1-9). Por lo tanto, esta eficiencia ideal representa un límite superior a la eficiencia de cualquier máquina práctica. Cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas entre dos depósitos, mayor será la eficiencia de cualquier máquina.

EJEMPLO 1-2

a) ¿Cuál es la eficiencia de una máquina ideal que opera entre dos depósitos de calor a 400 y 300 K? b) ¿Cuánto trabajo efectúa la máquina en un ciclo completo si absorbe 800 cal del depósito a alta temperatura? c) ¿Cuánto calor se entrega al depósito de baja temperatura?

Solución a)

La eficiencia ideal se encuentra a partir de la ecuación (21-9).

$$E = \frac{T_{\text{ent}} - T_{\text{sal}}}{T_{\text{ent}}} = \frac{400 \text{ K} - 300 \text{ K}}{300 \text{ K}} = 0.25$$

Así, la eficiencia ideal es 25%.

Solución b)

La eficiencia es el cociente de $W_{\text{sal}}/Q_{\text{ent}}$, así que

$$\frac{W_{\text{sal}}}{Q_{\text{ent}}} = 0.25 \quad \text{o} \quad W_{\text{sal}} = (0.25)Q_{\text{ent}}$$

$$W_{\text{sal}} = (0.25)(800 \text{ cal}) = 200 \text{ cal}$$

Una máquina con un 25% de eficiencia entrega una cuarta parte de calor de entrada al trabajo útil; el resto debe perderse (Q_{sal}).

Solución c)

La primera ley de la termodinámica requiere que

$$W_{\text{sal}} = Q_{\text{ent}} - Q_{\text{sal}}$$

Al resolver para Q_{sal} se obtiene

$$W_{\text{sal}} = Q_{\text{ent}} - W_{\text{sal}} = 800 \text{ cal} - 200 \text{ cal} = 600 \text{ cal}$$

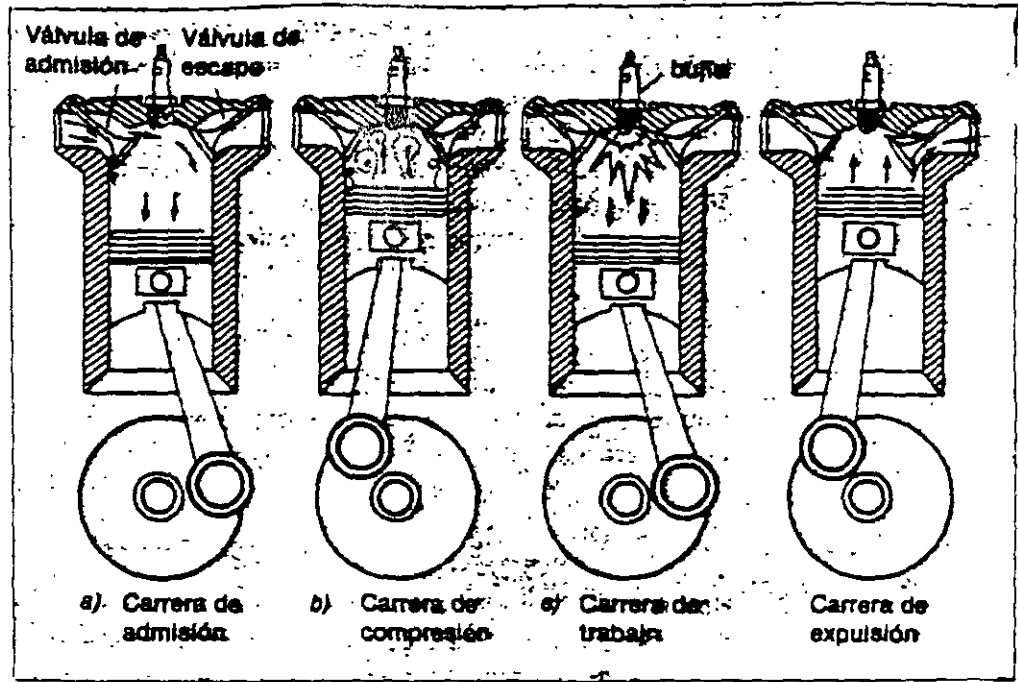
El trabajo de salida se expresa usualmente en joules. La conversión a estas unidades da

$$W_{\text{sal}} = (200 \text{ cal})(4.186 \text{ J/cal}) = 837 \text{ J}$$

1-12 MÁQUINAS DE COMBUSTIÓN INTERNA

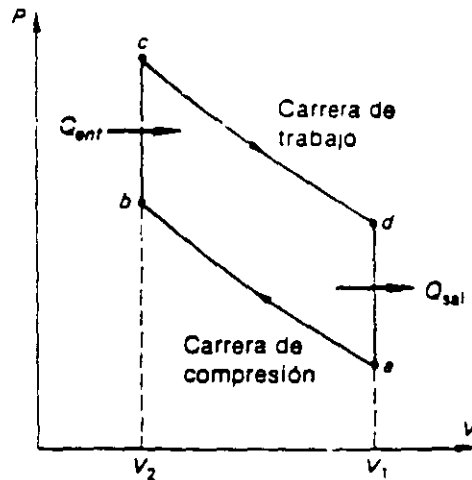
Una máquina de combustión interna genera el calor de entrada dentro de ella misma. La más común de este tipo es el motor de gasolina de cuatro tiempos, en el cual una mezcla de gasolina y aire se inflama mediante una bujía en cada cilindro. La energía térmica liberada se convierte en trabajo útil por la presión que ejercen sobre el émbolo los gases en expansión. En la figura 1-12 se muestra el proceso de cuatro tiempos. Durante la *carrera de admisión* (Fig. 1-12a) entra una mezcla de aire y vapor de gasolina al cilindro a través de la válvula de admisión. Ambas válvulas se cierran durante la *carrera de compresión* (Fig. 1-12b) y el pistón se mueve hacia arriba, causando una elevación de la presión. Justo antes de que el pistón llegue al extremo superior, se efectúa el encendido de la mezcla, ocasionando un cambio abrupto tanto en la temperatura como en la presión. En la *carrera de trabajo* (Fig. 1-12c) la fuerza de los gases en expansión impulsan al pistón hacia abajo, efectuando trabajo externo. En la *carrera de expulsión* (Fig. 1-12d), se expulsan los gases quemados fuera del cilindro a través de la válvula de escape. A continuación se repite todo el ciclo nuevamente, en tanto se suministre combustible al cilindro.

Figura 1-12
Máquina de gasolina de cuatro tiempos:
a) admisión,
b) compresión,
c) trabajo,
d) expulsión.



El ciclo ideal que utiliza el ingeniero para una máquina de gasolina perfecta se muestra en la figura 1-13, y se llama *ciclo de Otto* debido a su inventor. La carrera de compresión se representa por la curva *ab*. La presión se incrementa adiabáticamente a medida que el volumen se reduce. En el punto *b* se enciende, suministrando una cantidad de calor Q_{ent} al sistema. Esto ocasiona una elevación pronunciada en la presión, como lo indica la línea *bc*. En la carrera de trabajo (*cd*) los gases se expanden adiabáticamente efectuando trabajo externo. Después, el sistema se enfría a volumen constante hasta el punto *a*, liberando una

Figura 1-13 El ciclo de Otto para un motor de gasolina de cuatro tiempos.



cantidad de calor Q_{cal} . En la siguiente carrera los gases son expulsados cuando el émbolo se desplaza hacia arriba suministrándose más combustible en la siguiente carrera cuando el émbolo se mueve hacia abajo. Luego todo el ciclo se repite nuevamente. La razón de volúmenes V_1/V_2 , como se indica en el diagrama $P-V$, se llama razón de *compresión* y es aproximadamente igual a 8 para la mayor parte de los motores de automóvil.

Puede demostrarse que el rendimiento de un ciclo de Otto ideal es

$$E = 1 - \frac{1}{(V_1/V_2)^{\gamma-1}} \quad (1-10)$$

donde γ es constante adiabática para la sustancia de trabajo. La constante adiabática se define como

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

donde c_p es el calor específico del gas a presión constante y c_v el calor específico a volumen constante. Para gases monoatómicos $\gamma = 1.67$, y para gases diatómicos $\gamma = 1.4$. En un motor a gasolina la sustancia de trabajo es principalmente aire, para el cual $\gamma = 1.4$. En el caso ideal, la ecuación (1-10) muestra que las razones de compresión más altas producen rendimientos mayores ya que siempre son mayores que 1.

EJEMPLO 1-3

Calcúlese el rendimiento de un motor de gasolina para el que la razón de compresión es 8 y $\gamma = 1.4$.

Solución

De la información dada se observa que

$$\frac{V_1}{V_2} = 8 \quad \text{y} \quad \gamma - 1 = 1.4 - 1 = 0.4$$

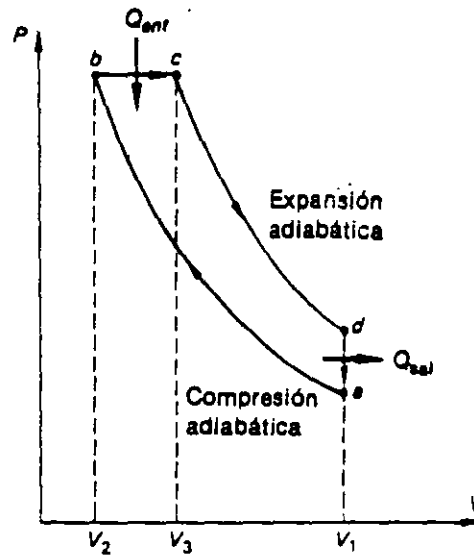
Por lo tanto, de la ecuación (1-3)

$$E = 1 - \frac{1}{8^{0.4}} = 1 - \frac{1}{2.3} = 57\%$$

En el ejemplo anterior, el 57% representa el rendimiento máximo posible de un motor de gasolina para el parámetro dado. Realmente el rendimiento de una máquina de este tipo es normalmente alrededor del 30% debido a pérdidas de calor no controladas.

Un segundo tipo de máquina de combustión interna es la diesel. En esta máquina el aire se comprime a alta temperatura y presión hasta cerca del extremo superior del cilindro. El combustible diesel, que se inyecta en el cilindro en este punto, se enciende y empuja al émbolo hacia abajo. El ciclo diesel idealizado se muestra mediante el diagrama $P-V$ en la figura 1-14. Comenzando en a el aire se compri-

Figura 1-14 Ciclo diesel ideal.



se comprime adiabáticamente hasta el punto *b* donde se inyecta el combustible diesel, que se enciende por el aire caliente, liberando una cantidad de calor Q_{ent} a una presión aproximadamente constante (línea *bc*). El resto de la carrera de trabajo consiste en una expansión adiabática hasta el punto *d*, realizando trabajo externo. Durante las carreras de admisión y expulsión, el gas se enfría a volumen constante al punto *e*, perdiéndose una cantidad de calor, Q_{sal} . El rendimiento de una máquina diesel es función de la razón de compresión (V_1/V_2) y de la razón de expansión (V_1/V_3).