VIII EL TRABAJO DE ENTENDER EL CONCEPTO DE TRABAJO

8 – 1. Trabajo

En el curso de Mecánica, al estudiar el movimiento de un punto material en un cierto campo de fuerzas, el lector ya se ha familiarizado con el término *trabajo mecánico*.

Si solicitado por una fuerza F un punto material recorre un trayecto infinitamente pequeño ds, la magnitud

$$\eth W = F\, ds \cos \theta \qquad (8-1)$$

donde θ es el ángulo que forman los vectores F y ds, se denomina *trabajo mecánico de la fuerza F a lo largo del desplazamiento ds*. Para una trayectoria finita entre dos puntos S_A y S_B el trabajo (W) realizado por la fuerza viene dado por

$$W = \int_{S_A}^{S_B} F \cos \theta\, ds \qquad (8-2)$$

y en el caso en que la fuerza F es constante,

$$W = F\,(S_B - S_A) \cos \theta \qquad (8-3)$$

En particular, si esa fuerza constante se ejerce en la dirección del desplazamiento, $\cos \theta = 1$ y

$$W = F\,(S_B - S_A) \qquad (8-4)$$

Debemos recordar que, aunque la fuerza y el desplazamiento son magnitudes vectoriales, el trabajo es una magnitud *escalar.*

Una propiedad importante de los campos de fuerzas estacionarios, como el gravitatorio, es que si en ellos se desplaza un punto material según una trayectoria cerrada, el trabajo realizado por las fuerzas del campo es nulo. De esto se desprende que el trabajo realizado por las fuerzas del campo al trasladar una partícula de un punto a otro no depende del camino sino de las posiciones inicial y final.

El Principio de la Conservación de la Energía Mecánica, nos dice que el trabajo es una de las manifestaciones de la energía. También sabemos que un cuerpo al dilatarse desplaza a los que lo rodean produciendo trabajo, que un generador de fuerza electromotriz produce *trabajo eléctrico*, etc. Estas consideraciones nos conducen a encarar una definición de trabajo que esté referida a los intercambios de energía entre un sistema y su medio exterior.

Un sistema no aislado puede producir trabajo sobre el medio exterior, por ejemplo, la expansión de un gas puede entregarle trabajo a su medio ambiente. Recíprocamente, un pistón al comprimirse absorbe trabajo de su medio ambiente. Notemos que al igual que el calor, el trabajo se manifiesta *durante* la transformación y en la frontera del sistema. Por otra parte, un sistema puede efectuar trabajo eléctrico, magnético, etc. que se evidencia siempre por algún efecto sobre el medio exterior. Cuando un sistema realiza un trabajo, ese trabajo puede incrementar la energía mecánica de un cuerpo en el medio exterior. Análogamente, el trabajo que un sistema *absorbe* puede resultar de la disminución de la energía mecánica de algún cuerpo en su entorno. Sobre estas bases, utilizaremos la siguiente definición:

Trabajo es aquella forma de energía[1] *que fluye a través de la frontera de un sistema, durante una transformación y que puede utilizarse por completo para modificar la energía mecánica de un cuerpo en el medio exterior.*

Se suelen distinguir dos clases de trabajo:

a) *Trabajo de expansión*. Es el trabajo producido o absorbido por el medio exterior que resulta de una variación en el volumen del sistema.

b) *Trabajo útil.* Es todo trabajo producido o absorbido por el medio exterior que no implica variación en el volumen del sistema. Entre ellos podemos mencio-

[1] Al igual que el calor, se suele considerar que el trabajo no es una "forma de energía" sino un "método de transferencia de energía", pero por consideraciones epistemológicas optamos por la primera acepción.

nar el producido por un aumento de superficie venciendo la tensión superficial, el desplazamiento de una carga eléctrica contra una diferencia de potencial, el trabajo al variar la imantación de un sólido magnético, etc. En nuestra exposición utilizaremos el símbolo W' para representar el trabajo útil que un sistema intercambia con el medio exterior en una transformación finita y $\eth W'$ para representar el trabajo útil en una transformación virtual.

Ejemplo 8.1.

El trabajo $W_{A,B}$ requerido para desplazar una carga eléctrica q en un campo eléctrico uniforme de módulo $\mathcal{E}$ desde un punto de coordenadas r_A hasta otro de coordenadas r_B viene dado por

$$W = \int_{r_A}^{r_B} \mathcal{E}\, q\, dr$$

Como el sistema no modifica su volumen con el desplazamiento, dicho trabajo es "trabajo útil"

Ejemplo 8.2.

Se puede demostrar que el trabajo que realiza la fuerza que el campo ejerce sobre la carga eléctrica en movimiento dado en el ejemplo anterior es independiente de la trayectoria de la partícula. Por lo tanto

$$W = \oint \mathcal{E}\, q\, dr = 0$$

Lo que indica que ese trabajo es *función de estado*

Ejemplo 8.3.

Si la diferencia de potencial entre los puntos A y B del Ejemplo 8.1. es de 10 V y la carga eléctrica de la partícula es de 4×10^{-4} C, el trabajo que efectúa la fuerza que el campo ejerce sobre la partícula en movimiento es

$$W = q \times \Delta V = 4 \times 10^{-4} \times 10 = 4 \times 10^{-3}\, J$$

Ejemplo 8.4.

Cuando una partícula de carga eléctrica q y rapidez v se mueve en la dirección perpendicular a un campo magnético de intensidad B la fuerza F que ejerce el campo sobre ella es $F = qvB$. Si la partícula sufre un desplazamiento infinitesimal dr en una dirección que forma un ángulo θ con la normal al vector campo magnético el trabajo virtual que realiza la fuerza que el campo efectúa es $dW = qvB\cos\theta dr$ y, para un desplazamiento finito entre dos puntos del campo de coordenadas r_A y r_B será

$$W_{A\to B} = \int_{r_A}^{r_B} qvB \cos\theta\, dr$$

Ejemplo 8.5.

El trabajo que efectúa una pila viene dado por la ecuación de Nernst

$$W = n\mathcal{F}E$$

en donde E es la fuerza electromotriz de la pila, $\mathcal{F}$ es la constante de Faraday (96484 $C\ mol^{-1}$) y n el número de moles de electrones que libera un mol de la especie reducida al oxidarse en la pila.

Si la temperatura de la pila permanece constante el volumen de la misma no se altera durante el funcionamiento, por lo que el trabajo que efectúa es íntegramente trabajo útil.

---

8 - 2. Trabajo de expansión

Para encontrar una relación entre las variables de estado de un sistema y el trabajo de expansión que ese sistema intercambia con el medio exterior, recurriremos a un sistema sencillo.

Sea ese sistema una masa de gas encerrada en un cilindro provisto de un émbolo de masa despreciable (Figura 8 - 1) sobre la que actúa una presión externa

p_e. Supongamos que la frontera original del sistema, representada por la línea continua se desplaza hacia afuera hasta alcanzar la posición indicada en la línea de puntos. Sea F la fuerza exterior ejercida sobre el émbolo de área A. Resulta evidente que si el émbolo sufre un desplazamiento infinitesimal dh hacia afuera, el trabajo $\eth W$ ejecutado contra la fuerza exterior es

$$\eth W = F\, dh$$

Dado que la fuerza F se puede expresar en términos de la presión exterior y el área de superficie del émbolo

$$F = p_e A$$

y

$$\eth W = p_e A.\, dh$$

Pero $A.dh$ es el incremento de volumen del sistema, llamémoslo dV, por lo tanto

$$\eth W = p_e\, dV$$

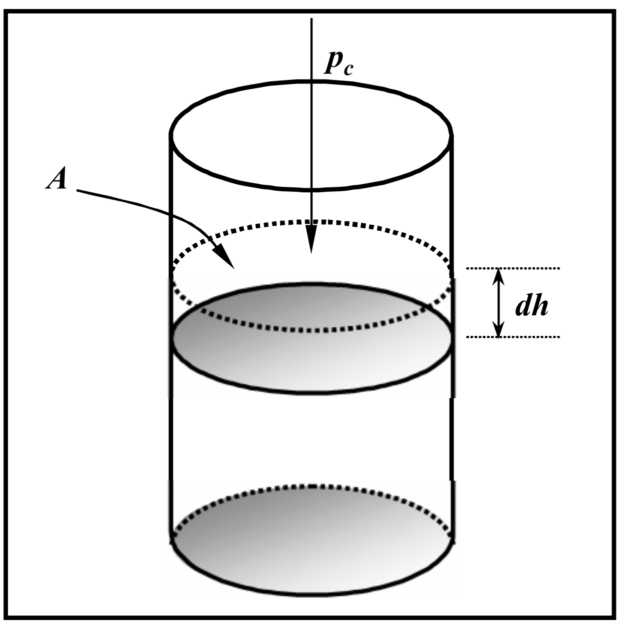


Figura 8 - 1. Trabajo de expansión de un gas encerrado en un pistón cuyo émbolo tiene masa despreciable.

Si, producida esa transformación, el sistema está en equilibrio mecánico con su medio exterior y la masa del émbolo es despreciable, se deduce que la presión externa p_e debe ser igual a la presión del sistema p. *Sólo en ese caso* podremos sustituir la presión exterior p_e por la presión del sistema p y escribir

$$\eth W = p\, .\, dV \qquad (8 - 5)$$

Notemos que $\eth W$ representa ahora el trabajo infinitesimal que realiza el *sistema* en función de sus *variables de estado*.

Para una transformación finita en la que el sistema pase de un volumen V_A a un volumen V_B, el trabajo W que el sistema intercambia con el medio exterior estará dado por

$$W = \int_{V_A}^{V_B} p dV \qquad (8 - 6)$$

Para el caso particular en el que la presión del sistema p permanece constante

$$W = p\,(V_B - V_A) \qquad (8 - 7)$$

En un diagrama de estado de Clapeyron (p - V), el trabajo que un sistema intercambia viene medido por el área encerrada por la curva de la transformación, el eje de abcisas y las ordenadas que corresponden a los volúmenes inicial y final. En la Figura 8 - 2 se representa una transformación isobárica y el trabajo intercambiado en esa transformación (superficie rayada).

Observamos que siendo V_B mayor que V_A, el sistema realiza trabajo contra el medio exterior. Observamos también que, de acuerdo con la ecuación (8 - 7), ese trabajo es positivo. Esto nos permite recurrir a la siguiente generalización:

Convenimos en adjudicarle signo positivo a todo trabajo realizado contra el medio exterior. En cambio le adjudicaremos signo negativo a todo trabajo que el sistema absorbe del medio exterior

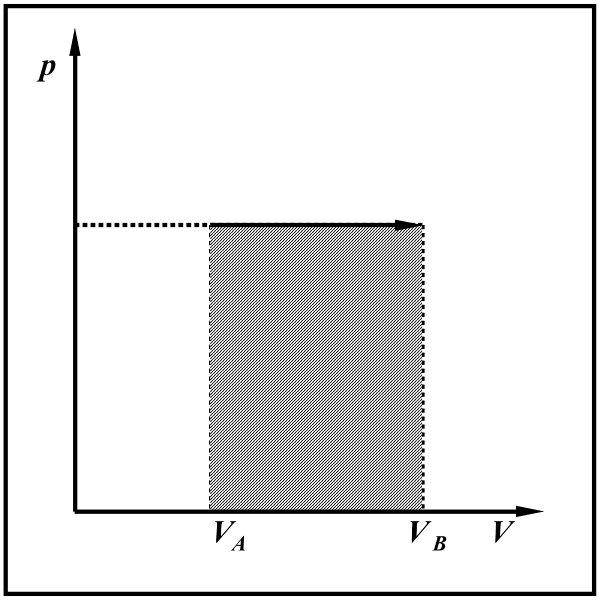


Figura 8 - 2 Representación gráfica del trabajo de expansión isobárico en un diagrama $p - V$

La Figura 8 – 3, representa una transformación equivalente a la representada en la 6 – 2. Obsérvese que el área bajo la curva, y por lo tanto el trabajo, es diferente.

En la Figura 8 - 4 se representa, mediante una superficie rayada, el trabajo realizado por el sistema en una transformación cíclica

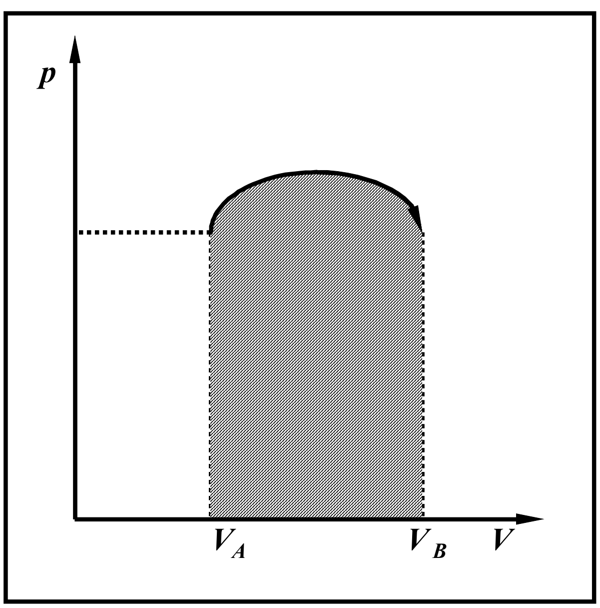


Figura 8 - 3 Representación gráfica del trabajo de expansión entre los mismos estados inicial y final que en el diagrama de la Figura 8 – 2

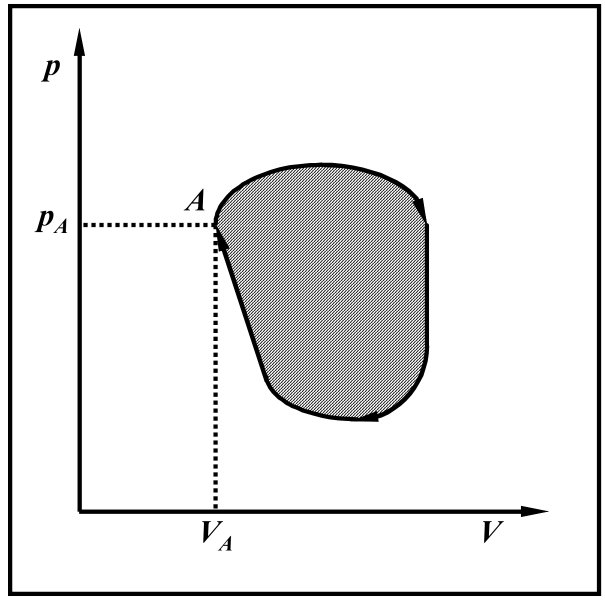


Figura 8 - 4. Representación gráfica del trabajo realizado en una transformación cíclica

Notemos que, a diferencia del trabajo en el campo gravitatorio, este trabajo no es nulo. De aquí se desprende que *el trabajo de expansión intercambiado por el sistema depende de la transformación*. La dependencia del trabajo con la trayectoria de la transformación que sufre el sistema, ratifica la necesidad de expresarlo como un efecto del (o sobre el) medio exterior.

8 - 3. Funciones de estado

Una coordenada de un sistema se dice *función de estado* si su variación depende de las *modificaciones* que sufre y no de sus *transformaciones*. Así, por ejemplo, el volumen de un sistema es función de estado, ya que su variación entre dos estados dados es independiente de la transformación realizada.

La variación de una función de estado al cabo de una transformación cíclica vale cero ya que el sistema no se modifica.

Aquellas propiedades cuyas variaciones dependen de la transformación se llaman *funciones de trayectoria*.

Los ejemplos dados en el punto anterior y los diagramas de estado de las Figuras 8 - 2 y 8 - 3, muestran que el trabajo de expansión que realiza un sistema es función de trayectoria.

8 - 4. Funciones de estado y diferenciales exactas

Si una magnitud cualquiera ζ, tal como una función de estado de un sistema, es una función uniforme de ciertas variables x, y, z, ..., que determinan completamente el valor de ζ, es decir

$$\zeta = f(x,y,z,...) \qquad (8 - 8)$$

La variación de ζ que resulta de modificar las variables desde el conjunto de valores x_1, y_1, z_1, ..., hasta el conjunto de valores x_2, y_2, z_2, ... , viene dada por

$$\Delta\zeta = \zeta_2 - \zeta_1$$

$$= f(x_2, y_2, z_2, ...) - f(x_1, y_1, z_1, ...) \qquad (8 - 9)$$

Las reglas del Cálculo Diferencial nos permiten establecer que para un incremento infinitesimal $d\zeta$ de la función ζ se verifica

$$d\zeta = \left(\frac{\partial\zeta}{\partial x}\right)_{y,z,...} dx + \left(\frac{\partial\zeta}{\partial y}\right)_{x,z,...} dy + \left(\frac{\partial\zeta}{\partial z}\right)_{x,y,...} dz + \ldots \qquad (8 - 10)$$

En esta expresión, cada símbolo entre paréntesis representa la velocidad de variación de la variable ζ con la variable que figura en el denominador mientras permanecen constantes las demás variables. Una diferencial $d\zeta$ definida por la (8 - 10) de una función ζ dada por la (8 - 8), se denomina *diferencial total o diferencial exacta* de dicha función.

Ejemplo 8.6.

El volumen específico de un sistema gaseoso queda completamente definido por los valores de la presión y temperaturas del mismo, es decir

$$v = f(p, t) \qquad (8 - 11)$$

y por lo tanto

$$dv = \left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_t dp + \left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)_p dt \qquad (8 - 12)$$

Analicemos el significado físico de esta expresión. Obviamente, si cuando los valores de la presión y la temperatura son p y t, el volumen específico del sistema es v, una modificación infinitesimal dt y dp de las variables provocará una variación infinitesimal del volumen específico dv. Como el valor del volumen específico viene dado por el estado del sistema, evolucionar de v a $v + dv$ es independiente de que primero se haya variado la temperatura en dt y luego la presión en dp o que primero se haya variado la presión en dp y luego la temperatura en dt, o que las variaciones hayan ocurrido simultáneamente. Dado que dv no depende de la transformación, para calcular su variación se podría elegir la vía más conveniente, por ejemplo calcular la variación isobárica de la temperatura y luego la variación isotérmica de la presión, aunque la modificación haya ocurrido por otro camino. Esta característica es de suma importancia práctica, ya que permite calcular variaciones de valores de funciones de estado utilizando ecuaciones conocidas aunque la modificación observada haya ocurrido por otro mecanismo.

Ejemplo 8.7.

Hemos visto que para un sistema hidrostático de composición y masa conocida las variables de estado son tres: el volumen V, la presión p y la temperatura T. Por lo tanto podemos escribir

$$dp = \left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T dV + \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V dT$$

y

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T dp + \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p dT$$

Reemplazando dp por su expresión en la primera ecuación

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \left[\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T dV + \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V dT\right] + \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p dT$$

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T dV +$$

$$+\left[\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V + \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p\right] dT$$

De las tres coordenadas, sólo dos pueden ser independientes. Eligiendo V o T como variables independientes, esta última ecuación debe ser válida para el conjunto de todos los valores de dV y dT. Luego, si $dT = 0$ y $dV \neq 0$ se tiene que

$$\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T = 1$$

o

$$\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T = \frac{1}{(\partial p / \partial V)_T} \qquad (8 - 13)$$

Si $dV = 0$ y $dT \neq 0$ resulta

$$\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V + \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = 0$$

y

$$\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

Aplicando la propiedad (8 – 13)

$(\partial V/\partial T)_p = 1/(\partial T/\partial V)_p$ y

$$\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p = -1 \qquad (8 - 14)$$

La expresión (8 – 14) se conoce como *regla cíclica de derivación* o *regla de la cadena*. Esta ecuación no necesita ser memorizada. Se escriben tres variables mutuamente relacionadas en cualquier orden y debajo de las escribe nuevamente en cualquier orden de manera que en las columnas no se repitan. Si las variables son x, y, z, una posibilidad es

$x \; y \; z$
$y \; z \; x$

La primera fila son los numeradores de las derivadas y la segunda fila son los denominadores. Esto es

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$$

Si se hubiese escrito

$x \; y \; z$
$z \; x \; y$

entonces

$$\left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_y \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_x = -1$$

La mera observación de las Figuras 8 - 2 y 8 - 3 nos muestra que el trabajo de expansión que un sistema realiza contra el medio exterior o absorbe del mismo depende de la trayectoria. Por lo tanto, una variación infinitesimal del trabajo no es una diferencial exacta.

En nuestra exposición, para distinguir las variaciones infinitesimales de cualquier función de estado ζ utilizaremos la notación $d\zeta$. En cambio para una variación infinitesimal de una función de trayectoria Z empleamos la expresión $\eth Z$.

Referencias Bibliográficas

Alonso, M. – Finn, E. J. *Física. Vol III.* Addison –Wesley Iberoamericana. Wilmington. 1986

Blinder, S. M. Mathematical methods in elementary thermodynamics, *J. Chem. Educ.***43,** 85 (1966)

Estévez, G.A. – Yang, K. – Das Gupta, B.B. Thermodinamic partial derivatives in thermodynamics. *J. Chem. Educ.***66,** 890 (1989)

Gislason, E. A. – Craig, N.C., General definitions of work and heat in thermodynamic processes. *J. Chem. Educ.***64,** 670 (1987)

Glasstone, S. *Termodinámica para Químicos.* Aguilar. Madrid. 1974

Hirst, D. M. *Mathematics for chemists.* MacMillan. Londres. 1983

Zemansky, M. W. - Dittman R.H. *Heat and Thermodynamics* 7th. edition McGraw Hill College Division. N.Y. 1996

AUTOEVALUACIÓN DE CONTENIDOS CONCEPTUALES

8 - 1. ¿Cual es la expresión del trabajo mecánico de una fuerza F a lo largo de un desplazamiento?
8 - 2. ¿El trabajo mecánico es una magnitud escalar o vectorial?
8 - 3. ¿El trabajo mecánico es una coordenada extensiva o intensiva?
8 - 4. ¿Qué entiende por *trabajo útil*?
8 - 5. ¿Cuándo se dice que una coordenada de un sistema es función de estado?
8 - 6. ¿Cuál será la expresión del trabajo de expansión para una transformación reversible e isotérmica de un mol de gas que cumpla con la ecuación de van der Waals?
8 - 7. Encontrar la expresión del trabajo requerido para estirar un resorte de constante elástica $\boldsymbol{k}$ y longitud $\boldsymbol{L_0}$ hasta una longitud $\boldsymbol{L}$ aplicando la fuerza en la dirección del eje del resorte.
8 - 8. Deducir la expresión del trabajo de expansión isotérmico que realiza un mol de gas que cumple con la ecuación de Berthelot suponiendo que puede reemplazarse la presión exterior por la presión del gas.

$$\left(p + \frac{a}{TV^{M^2}}\right)\left(V^M - b\right) = RT$$

8 - 9. Cuando un gas que se comporta idealmente se expande en forma adiabática, la relación entre la presión y el volumen del gas está dada por una expresión del tipo $pV^{\gamma}=K$, donde γ y K son constantes. Suponiendo que el gas se expande contra una presión exterior p_e que en todo momento difiere en un infinitésimo de la presión p del gas — de modo que se pueda sustituir p_e por p — demostrar que el trabajo en la expansión adiabática desde un estado $E_1(p_1, V_1)$ hasta un estado $E_2(p_2, V_2)$ está dado por

$$W = \frac{p_1V_1 - p_2V_2}{\gamma - 1}$$

8 - 10. Sabiendo que la definición de coeficiente de dilatación isobárica es $\alpha = (\partial V/\partial T)_p/V$ y que la definición del coeficiente de compresibilidad isométrica es $\beta = (\partial p/\partial T)_V/p$, aplicar la regla de la cadena (8 – 14) para demostrar que $(\partial p/\partial V)_T = \alpha/\beta$

La probabilidad de que las unidades de las magnitudes físicas utilizadas en la resolución de un problema sean correctas es inversamente proporcional al número de veces que ha intentado resolverse dicho problema.

AUTOEVALUACIÓN DE LOS CONTENIDOS PROCEDIMENTALES

8 - 1. El joule (J) es la unidad de energía en el Sistema Internacional (SI). Sin embargo, en la práctica se suelen utilizar otras unidades de energía, especialmente en la industria. Por ejemplo, en los países anglosajones se utilizan: las libra - pie (*lb-ft*) que viene medida por el trabajo realizado al desplazar un peso de una libra fuerza (*lbf*) a lo largo de una distancia de 1 pie (*ft*), aplicándose la fuerza en la misma dirección y sentido que el desplazamiento. También se suele utilizar la unidad térmica británica (*BTU*). Esta unidad viene medida por la energía que en forma de calor requiere absorber una libra avoirdupois (*lb*) de agua para elevar su temperatura de 63 º*F* a 64 º*F*. En la industria se suele utilizar el kilowatt - hora (*kW-h*) que representa la energía generada por un sistema cuya potencia media es de 1*kW* a lo largo de una hora. Sabiendo que 1*lb* = 0,45359237 *kg*; 1 *ft* = 0,3048 *m*; 1 *lbf* = 4,44822 *N*. Expresar el valor de la constante universal de los gases R en: a) $kw\text{-}h\ K^{-1}\ mol^{-1}$ b) $lb\text{-}ft\ K^{-1}\ mol^{-1}$ c) $BTU\ K^{-1}\ mol^{-1}$
8 - 2. La pila patrón que se utiliza con mayor frecuencia es una variante de la *pila de Weston* cuyas principales ventajas son que su F.E.M. permanece constante durante mucho tiempo y que su coeficiente térmico es muy bajo.

El electrodo “negativo” de una pila de Weston consiste en una solución saturada de sulfato de cadmio $3CdSO_4 .8\ H_2O$ que contiene un 12,5 % de amalgama de cadmio mientras que el electrodo “positivo” es mercurio, cubierto con sulfato mercurioso sólido (Hg_2SO_4) en la misma solución.

Convencionalmente las características de una pila galvánica se expresan de la siguiente manera: las fases o soluciones de diferentes composiciones concentraciones en contacto se separan mediante líneas verticales. Deben indicarse las concentraciones de las soluciones pues estas afectan la F.E.M. En este caso, la pila de Weston se representa

12,5% Cd en Hg | $3CdSO_4.8\,H_2O$ (s) | $CdSO_4$ (sol. sat) | Hg_2SO_4 (s) | Hg

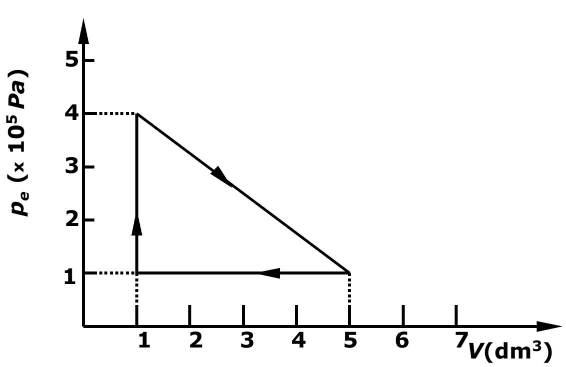
Las conexiones a la amalgama de cadmio y al electrodo de mercurio son de platino. Su F.E.M. es de 1,018636 *volt* absolutos a 0 ºC y varía unos 4×10^{-8} por cada grado de aumento de temperatura. Calcular el trabajo eléctrico que suministra una pila Weston al cabo de 10 minutos de funcionamiento a 0º C.

8 - 3. 6,4 *kg* de azufre α que se encuentran a 95,5 ºC se transforman isotérmica e isobáricamente (a 1 atm) en azufre β. En esas condiciones las respectivas densidades son 1,979 $g.cm^{-3}$ y 1,957 $g.cm^{-3}$. Calcular el trabajo de expansión asociado a ese proceso.

8 - 4. Se tiene un recinto de 20 dm^3 de capacidad con un tabique que divide el interior en dos partes iguales. En uno de los compartimientos está encerrado un gas ejerciendo una presión de 10^4 *Pa* mientras que en el otro se ha hecho el vacío. Mediante un dispositivo se abre el tabique permitiendo la expansión del gas contra el vacío ¿Qué valor tiene el trabajo de expansión de esa masa gaseosa?

8 - 5. Calcular el trabajo de expansión que realiza un mol de O_2 que cumple con la ecuación de van der Waals [ecuación (7 – 24)] al expandirse isotérmicamente a 300 *K* desde 0,03 m^3 hasta 0,06 m^3. a = 1,36 $Pa\ m^6\ mol^{-2}$ b = 0,0318 x 10^{-6} $m^3 mol^{-1}$. Suponer que puede reemplazarse la presión exterior por la presión del gas.

8 - 6. Un sistema evoluciona de acuerdo con la siguiente transformación cíclica



Calcular el trabajo (en *joules*) que realiza al cabo de 10 ciclos.

8 - 7. La ecuación de estado de un cuerpo elástico es $pV^{1,25} = 0{,}0036T$ con todas las coordenadas expresadas en unidades SI. El cuerpo se encuentra inicialmente a 298 *K* ocupando un volumen de 0,045 m^3 cuando la presión que soporta es 10^5 *Pa*. Calcular el trabajo que absorbe al ser comprimido isotérmicamente por una presión de 1,20 x 10^5 *Pa.*

8 - 8. Dada la función $z = xy^3$ calcular $(\partial y/\partial x)_z$ utilizando la regla de la cadena.

8 - 9. Determine si la función $z = x^2y^3 + 2x^3y^2 - 5x^5 + xy^4$ es función de estado