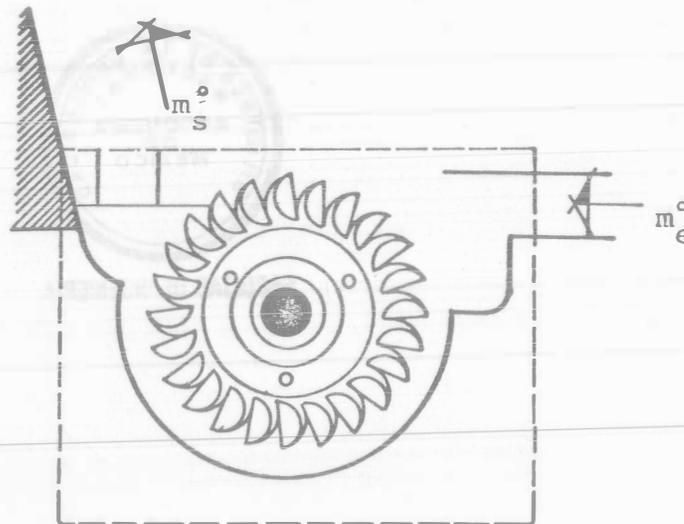


CUADERNO DE EJERCICIOS DE  
PRINCIPIOS DE ENERGETICA



DONACION



G-

612351

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE CIENCIAS BASICAS

DEPARTAMENTO DE FISICA

## P\_R\_O\_L\_O\_G\_O

En la actualidad, el campo de acción del ingeniero es tan extenso que difícilmente puede plantear soluciones a problemas propios de su área sin necesidad de consultar manuales, textos, notas, etc. Es decir, el ingeniero en base a su experiencia tendrá que elegir la bibliografía adecuada, organizarla y aplicarla a los diferentes tipos de problemas que se le presenten para obtener una solución -  
Óptima.

Este cuaderno de ejercicios pretende que el alumno en sus inicios pueda familiarizarse con la metodología para llegar a la solución de un problema, misma que desarrollará posteriormente como profesionista.

La presentación del cuaderno de ejercicios viene dada de la siguiente manera:

Una parte, con problemas resueltos, otra con problemas propuestos la solución final, y una tercera, de problemas propuestos sin solución ni resultado final.

Con lo anterior se pretende que el alumno al consultar los problemas resueltos, analice una de tantas formas que pueden existir para resolver un problema, haciendo énfasis en el manejo de unidades y la secuencia que puede seguir.

Los problemas propuestos con solución, servirán para que el alumno corrobore los resultados que ha obtenido y así, determine si el planteamiento es o no el adecuado.

Por último, los problemas propuestos sin solución servirán para que el alumno presente sus soluciones con la certeza de que están correctas, ya que en el desarrollo profesional difícilmente encontrarán una so-

ción pre-establecida con la cual pueda compararla.

La colaboración de profesores y alumnos ayudará notablemente al mejoramiento de éste cuaderno de ejercicios.

Sus comentarios y observaciones los pueden hacer llegar a los autores:

ROGELIO GONZALEZ OROPEZA

EMILIO NAVARRO JARDON

FELIX NUÑEZ OROZCO

A través de la Coordinación de Termodinámica cubículo D-17, Edif. Anexo de la Facultad de Ingeniería.

Mayo de 1983.

NOTA:

Todos los problemas se encuentran perfectamente determinados. Sin embargo, en un gran número de ellos se requiere que el lector consulte la bibliografía adecuada para encontrar el valor de constantes o propiedades físicas que le permitan calcular la respuesta numérica.

**DONACION**

CAPITULO I

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.1 Una fuerza de 1 N. se aplica a una masa de 3 lb<sub>m</sub>. Calcule la aceleración de la masa, en ft/s<sup>2</sup>. Determine también el valor de g<sub>c</sub> aplicable a este conjunto particular de unidades.

1.2 La ecuación que indica la caída en la presión de un flujo debido a la fricción del fluido que circula por una tubería es:

$$\Delta p = \frac{2 f L \rho \bar{V}^2}{D}$$

donde  $\Delta p$  = la caída en la presión

$\bar{V}$  = velocidad

L = longitud de la tubería

$\rho$  = densidad del fluido

D = diámetro de la tubería

- ¿La ecuación es consistente en cuanto a las dimensiones?
- ¿Cuáles son las dimensiones del factor de fricción f?
- Escriba las unidades que correspondan a cada propiedad en el S. I. ¿La ecuación es consistente en cuanto a las unidades?

Solución: 
$$\Delta p = \frac{2 f L \rho \bar{V}^2}{D}$$

a)  $p = M L T^{-2} \cdot L^{-2} = M L^{-1} T^{-2} = L \cdot M L^{-3} \cdot L^2 T^{-2} L^{-1} = M L^{-1} T^{-2}$

Sí es consistente en cuanto a las dimensiones

b) El factor de fricción f es adimensional

c)  $\Delta p = \frac{N}{m^2} = kg \frac{m}{s^2 m^2} = \frac{kg}{ms^2}$ ;  $\frac{2f L \rho \bar{V}^2}{D} = \frac{m \cdot kg \cdot m^2}{m \cdot s^2 m} = \frac{kg}{ms^2}$

1.3 Algunas de las dimensiones fundamentales que emplea el "S.I" (Sistema Internacional de Unidades) son:

- M(Masa)                      t(tiempo)  
L(Longitud)                    T(Temperatura)

Indique las unidades de medición y las dimensiones correspondientes a las siguientes magnitudes en el S. I.

- a) Aceleración b) Fuerza c) Energía d) Potencia e) Presión f) Calor  
g) Densidad h) Peso específico i) Trabajo

1.4 (a) ¿Cuál es la presión absoluta a la que debe estar sometido el aire de las llantas delanteras de un automóvil Volkswagen (Sedán)? Exprese su respuesta en bares y pascales.

(b) ¿Coincide la respuesta de usted con la que proporciona un empleado de gasolinera?

- Justifique sus respuestas.

1.5 Un submarino se hunde y queda inmóvil en el fondo del océano, a una profundidad de 3340 (ft). Se pretende enviar una campana de rescate para penetrar al submarino a través de la torreta. ¿Cuál debe ser la presión del aire en el interior de la campana de rescate para que el agua no penetre a su interior cuando se abra la escotilla durante la operación de salvamento? Considere que la densidad del agua marina tiene la densidad constante de 63.9 lb<sub>m</sub>/ft<sup>3</sup>.

Solución:

$$P_c \geq P_m$$

$$P_c \geq 14.696 \frac{lb}{in^2} + 63.9 \frac{lb}{ft^3} \times 32.174 \frac{ft}{s^2} \times 3340(ft) \times \frac{1 lb s}{lb ft} \frac{1 ft^2}{144 in^2}$$

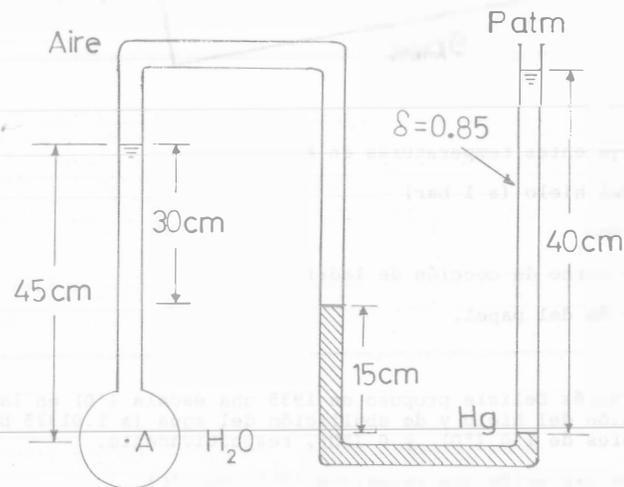
$$P_c \geq 14.696 \frac{lb}{in^2} + 1482.1250 \frac{lb}{in^2} = 1496.8210 \text{ (psia)} = 103.2018 \text{ bares}$$

1.6 Se tiene un manómetro diferencial de mercurio con una rama abierta a la atmósfera y la otra conectada a un tanque que contiene agua. En el tanque se mantiene una presión elevada gracias al empleo de aire comprimido. La lectura del manómetro es de 40 cm., y se puede considerar que a las condiciones dadas la densidad del agua es 62.3 lb/ft<sup>3</sup> y la del mercurio 13.59 g/cm<sup>3</sup>; la aceleración gravitacional es la estándar

(9.80665 m/s<sup>2</sup>). (a) ¿Cuál es la presión dentro del tanque en un punto situado 3.5 m por debajo del nivel del agua? La rama del manómetro que se conecta al tanque se encuentra por encima del nivel del agua.

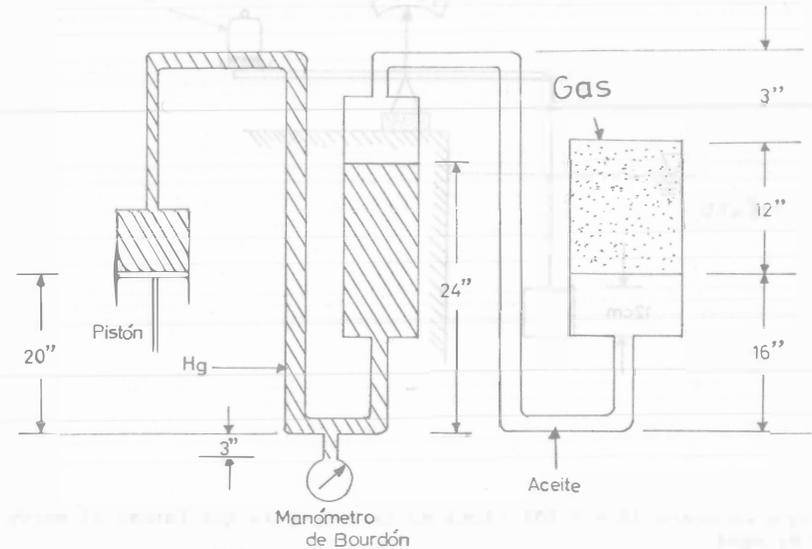
1.7 En el condensador de una turbina de vapor se mantiene la presión absoluta de  $4 \times 10^{-2}$  (kgf/cm<sup>2</sup>). ¿Cuál será la lectura de unos vacuómetros - graduados en kN/m<sup>2</sup> y en milímetros de mercurio, cuando la lectura del barómetro es: (a) 735 mm.Hg. y (b) 764 mm.Hg.?

1.8 Calcule la presión manométrica en el punto A.



1.9 El punto marino más profundo del que se tiene noticia se encuentra en - la fosa Mariana, en el Océano Pacífico y tiene una profundidad de 11034m. Si el agua de mar tiene un peso específico constante igual a 10050 (N/m<sup>3</sup>) ¿Cuál es la presión absoluta en ese punto? Expresé su respuesta en bares y en pascales.

1.10 La presión barométrica es 720 mm de Hg, la densidad del aceite es 0.80 (g/cm<sup>3</sup>). La lectura del manómetro de Bourdon es 33.1 (psig) ¿Cuál es la presión absoluta del gas?



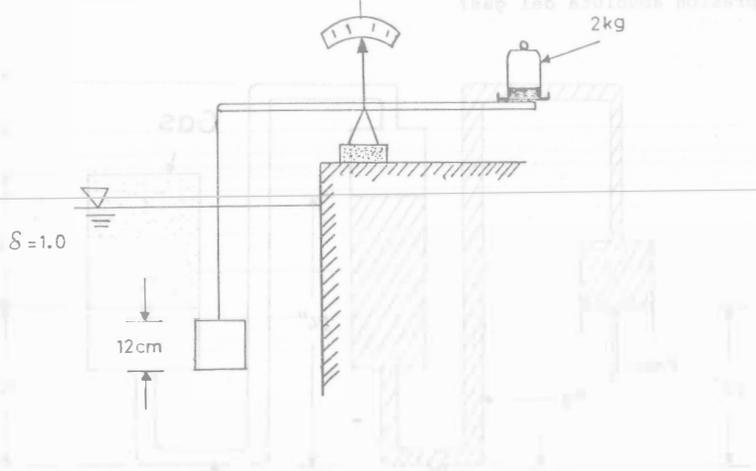
1.11 Una tabla de madera de 30 (g) de peso se encuentra flotando en el agua. Al colocarse sobre la tabla un objeto de 10 (g) de peso, ésta se sumerge hasta un punto "X"; Cuando la misma tabla se encuentra flotando sobre una solución salina requiere la colocación de un cuerpo de 15 (g) de peso para sumergirse hasta el mismo punto "X".  
- Encuentra la densidad relativa de la solución salina.

1.12 Una esfera de bronce de 1 radio de 1 (cm) y una densidad de 8.4 (g/cm<sup>3</sup>) se deja caer desde la superficie del agua en un tanque de 8 m de profundidad. ¿Cuánto tiempo le toma alcanzar el fondo? Desprecie la fricción.

Respuesta:

1.3609 (s)

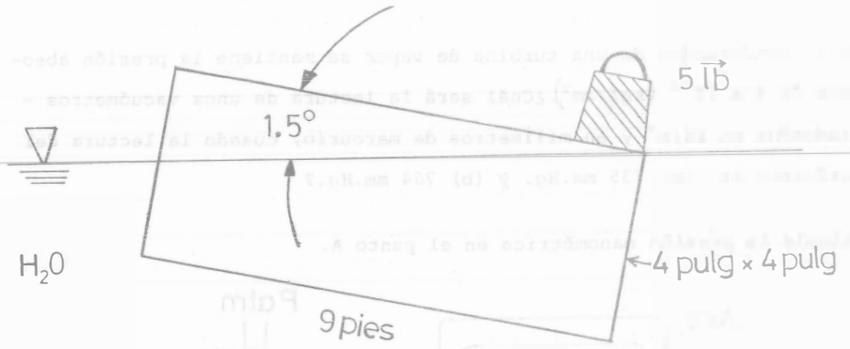
1.13 Se balancea al cubo sólido de 12(cm) de lado con una masa de 2(kg). El fluido es agua. ( $\delta=1.0$ ) ¿Cuál es el peso específico del material con que se fabrica el cubo?



1.14 Un bloque de acero ( $\delta = 7.85$ ) flota en la intercara que forman el mercurio y el agua. ¿Cuál es la razón entre a y b para esta situación?



1.15 ¿Cuál es el peso específico ( $\gamma$ ) de la madera con que está construida la tabla?



1.16 Exprese las siguientes temperaturas en K

- a) De fusión del hielo (a 1 bar)
- b) Del ser humano
- c) Usual en un horno de cocción de ladrillos
- d) De inflamación del papel.

1.17 El astrónomo francés Delisle propuso en 1935 una escala ( $^{\circ}D$ ) en la cual el punto de fusión del hielo y de ebullición del agua (a 1.01325 bares) tenían los valores de 150 ( $^{\circ}D$ ) y 0 ( $^{\circ}D$ ), respectivamente.

- a) Encuentre una expresión que relacione ( $^{\circ}D$ ) con ( $^{\circ}C$ )
- b) Encuentre una expresión que relacione ( $^{\circ}D$ ) con ( $^{\circ}F$ )

Soln:  $L(^{\circ}D) = \{100(^{\circ}C) - L(^{\circ}C)\} \frac{150(^{\circ}D)}{100(^{\circ}C)}$   $L(^{\circ}D) = \{212(^{\circ}F) - L(^{\circ}F)\} \frac{150(^{\circ}D)}{180(^{\circ}F)}$

$L(^{\circ}C) = - \frac{100(^{\circ}C)}{150(^{\circ}D)} L(^{\circ}D) + 100(^{\circ}C)$   $L(^{\circ}F) = 212(^{\circ}F) - \left\{ L(^{\circ}D) \times \frac{180(^{\circ}F)}{150(^{\circ}D)} \right\}$

- 1.18 En Betelguese, en la constelación de Orión, los habitantes tienen su propia escala para medir la temperatura. Su unidad es el °B. El cero de esta escala es el punto de fusión del metano (-182.5°C) mientras que el 100°B está dado por el punto de inflamación del papel (451°F).
- a) Deduzca la ecuación que relacione a los °B con los °C.
- b) ¿A cuánto equivalen 45°F en °B?

- 1.19 a) ¿A cuánto corresponde una temperatura de 500 (K) en °R y en °C?
- b) Si una sustancia aumenta su temperatura en  $\Delta T = 20$  K ¿A cuánto corresponde este aumento de temperatura en °R( $\Delta^\circ R$ ), °C( $\Delta^\circ C$ ) y en °F( $\Delta^\circ F$ )?

- 1.20 Calcule las temperatura a partir del único valor que se indica, llenando la tabla siguiente:

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
°F	140				1000			
°R			500			1000		
K		298					1000	
°C				-40				1000

- 1.21 Un termómetro defectuoso indica una lectura de 102 (°C) cuando se le sitúa en agua en ebullición (a 1.01325 bares) y -1 (°C) cuando se le sitúa en una mezcla de agua y hielo (a 1.01325 bar). ¿Qué lectura indicará cuando se le sitúe en azufre hirviente? (A esto le corresponde un valor verdadero de 444.6°C).

Respuesta:

$$L(^\circ C)' = 456.9380(^\circ C)'$$

- 1.22 Se van a comparar dos termómetros con un termómetro patrón. Uno de los termómetros está graduado en (°C) mientras que el otro lo está en (K). El termómetro patrón (importado) indica una lectura de -22 (°F) ¿Cuánto deben marcar los otros termómetros?

- 1.23 ¿Cuál es la cantidad de energía en forma de calor que se requiere para preparar 7 tazas de café a 85°C? Se dispone de agua a 18°C. Se sabe que para elevar la temperatura de 1 cm<sup>3</sup> de agua en un 1°C se necesitan 4.1868 J. Considere que el volumen de cada taza es 230 mL.

- 1.24 Un caballo remolca una barca a lo largo de un canal; la cuerda de remolque forma un ángulo de 10(°) con la trayectoria de la barca. Si la tensión de la cuerda es 400(N), ¿Cuánto trabajo realiza el caballo cuando arrastra la barca 30(m)?
- Respuesta:  $W = 14\,476.6740$  (J)

- 1.25 Un aprendiz de brujo tiene como obligación subir diariamente una cubeta con agua (que chorrea) de un galón, desde el pozo del patio hasta lo alto de una torre de 50 m de altura. El agua se escapa con una rapidez tal que la cubeta llega solamente con la mitad del contenido.

Suponga que tanto la rapidez de la fuga de agua como la velocidad con que sube el aprendiz son constantes y que la cubeta tiene una masa despreciable.

¿Cuánto trabajo realiza el aprendiz? (Un galón de agua tiene 3785 (g)).

Soln:

$$\text{En } y = 0 \quad m = 3.785(\text{kg}) \quad \text{en } y = 50(\text{m}) \quad m = 1.8925(\text{kg})$$

$$W = \int_{y=0}^{50\text{m}} F \cdot dy = \int_{y=0}^{50\text{m}} m_{\text{ag}} g dy \quad \frac{dm}{dt} = K_1 \quad \frac{dy}{dt} = K_2$$

$$\frac{dm}{dt} \cdot \frac{dt}{dy} = \frac{K_1}{K_2} = K \quad \int_{m_{\text{min}}}^{m_{\text{fin}}} dm = K \cdot \int_{y=0}^{y=50} dy$$

$$+ 1.8925(\text{kg}) - 3.785(\text{kg}) = K(50\text{m}) \quad K = -\frac{1.8925(\text{kg})}{50\text{m}} = -3.785 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$m - m_{\text{in}} = (-3.785 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{m}}) (y - 0) \therefore m = m_{\text{in}} - 3.785 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{m}} y$$

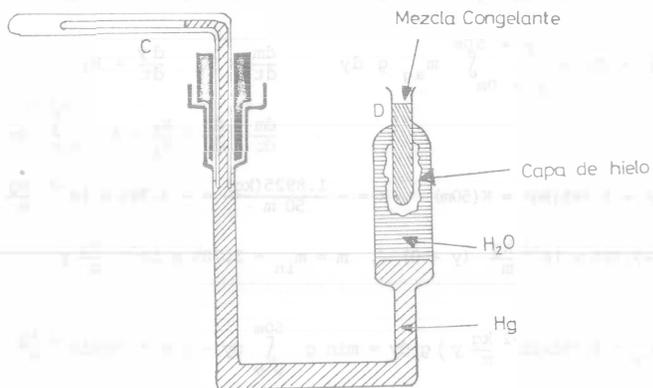
$$W = \int_0^{50\text{m}} (m_{\text{in}} - 3.785 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{m}} y) g dy = m_{\text{in}} g \int_0^{50\text{m}} dy - g \times 3.785 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{m}} \int_0^{50\text{m}} y dy$$

$$W = 3.785(\text{kg}) \times 9.80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 50\text{m} - 3.785 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 9.80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \frac{(50)^2}{2} \text{m}^2$$

$$W = 1855.9085 \text{ (J)} - 463.9771 \text{ (J)} = 1391.9314 \text{ (J)}$$

1.26 Qué cantidad de trabajo se requiere para llevar un cubo de madera de 50 kg de peso y un volumen de 1 m<sup>3</sup> hasta el fondo de una alberca de 2 m de profundidad? Considere que la densidad de el agua es de 1000 kg/m<sup>3</sup> y que la aceleración gravitacional es de 9.78(m/s<sup>2</sup>).

1.27 El calorímetro de hielo de Bunsen depende del hecho que cuando se funde el hielo se tiene un cambio de volumen. Cuando se introduce el tubo (D) en el depósito con agua se forma una capa de hielo, debido a que en (D) se tiene una mezcla frigorífica. Cuando se establece el equilibrio, se señala la posición del mercurio en el tubo capilar (C). Entonces se introduce el cuerpo que se desea estudiar en el tubo (D), lo que provoca que se funda algo de hielo. Esto hace que el mercurio del capilar se desplace hacia la derecha, ya que la disminución de volumen es proporcional a la cantidad de hielo que se funde. Cuando se introducen a (D) 5.0 (g) de una sustancia a 100(°C) se nota que el mercurio del capilar se mueve 18.5 (mm). ¿Cuál es el calor específico de la sustancia? Se sabe que el diámetro interior del capilar es 1.1 (mm) y que la reducción en volumen cuando se funde el hielo es 0.0905(cm<sup>3</sup>/g).



Calorímetro de hielo de Bunsen

Solución:

$$m = 5.0 \text{ (g)} \quad t = 100 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad d = 18.5 \text{ (mm)} \quad \phi = 1.1 \text{ (mm)}$$

$$\Delta V = 0.0905 \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \quad \lambda_{\text{fus}} = 333.6 \frac{\text{J}}{\text{g}}$$

$$\text{El volumen que se desplaza es: } \frac{\pi \phi^2}{4} \times d = \frac{\pi}{4} \times (1.1 \times 10^{-1})^2 \text{cm}^2 \times 1.85 \text{(cm)} = 0.01758 \text{ cm}^3.$$

$$\text{La masa de hielo que se funde es: } m = \frac{V}{\Delta V} = 0.017581 \text{ cm}^3 \times \frac{\text{g}}{0.0905 \text{ cm}^3}$$

$$m = 0.194267 \text{ (g)}$$

$$\text{La cantidad de calor necesaria es: } 0.194267 \text{(g)} \times 333.6 \frac{\text{J}}{\text{g}} = 64.807377 \text{ (J)}$$

$$\therefore m_2 C_2 \times 100 \text{ }^\circ\text{C} = 64.807377 \text{ (J)} \quad C_2 = 0.129615 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

1.28 Un bloque de hielo de 50 kg que está a 0(°C) se deja caer 3m en el D. F. Suponga que la transformación de la energía mecánica en calor es completa ¿Qué cantidad de hielo se funde gracias al calor que se genera en el impacto con el suelo?

$$\text{Respuesta: } 4.3975 \text{ (g)}$$

1.29 Si en un recipiente adiabático se mezclan 100 (g) de hielo a -5(°C) con 40 (g) de agua a 30 (°C) y 10 (g) de vapor a 100 (°C) ¿Cuál es la temperatura final de la mezcla? El experimento se realiza a p = 1.01325 (bar). Los calores específicos del hielo y del agua son 2.0934 (J/gK) y 4.1868 (J/gK) respectivamente. Los calores de fusión y de evaporización son 333.6 (J/g) y 2257 (J/g).

Respuesta: al final el sistema está compuesto por:

$$7.870923 \text{ (g) de hielo a } 0^\circ\text{C} \text{ y } (92.129077 \text{ (g)} + 40 \text{ (g)} + 10 \text{ (g)}) = 142.129077 \text{ (g) de agua a } 0^\circ\text{C}$$

1.30 Como parte del proceso de fabricación de tubos, se hace pasar plomo a través de un dado anular, usando una presión de  $1.38 \times 10^8$  (p<sub>a</sub>). El calor específico del plomo en el intervalo de temperaturas durante la operación es  $131 \times 10^{-2}$  (J/g k) y su densidad es 11.4 (g/cm<sup>3</sup>) ¿Qué aumento de temperatura experimenta el plomo a su paso por el dado?

1.31 Mediante una serie de experimentos, Joule logró demostrar que  $W = JQ$  - donde J es el equivalente entre el calor y el trabajo.

En uno de sus experimentos Joule hacía trabajo dejando caer pesas desde una cierta altura, y empleaba este trabajo para agitar agua. Luego de tomar en cuenta las fuerzas de fricción, obtuvo los datos siguientes:

La masa total de las pesas = 57.8 (lbm)

La altura desde donde se les deja caer = 5.00 (ft)

El número de veces que se han dejado caer las pesas = 21

El aumento en la temperatura del agua y del tanque = 0.563 ( $^{\circ}$ F)

La capacidad calorífica del agua y del tanque = 13.9 (BTU/ $^{\circ}$ F)

Calcule el valor del equivalente de Joule según estos datos

1.32 Un carro que pesa 1364 (kgf) y que inicialmente está en reposo, se empuja hacia lo alto de una colina a lo largo de 16 m., luego de lo cuál se encuentra a una altura de 1.55 m., con respecto a la posición inicial, y moviéndose a una velocidad de 16 (km/h). La fuerza promedio ejercida - ha sido 2676 N. (a) ¿Cuál es el trabajo total efectuado sobre el vehículo? (b) ¿Cuál es la energía potencial, la cinética y la total mecánica adquiridas por el carro? (c) ¿Por qué son diferentes los valores calculados en (a) y (b)?

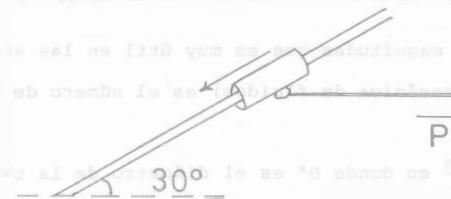
1.33 En una carretera chocan de frente un automóvil (de 22,240 N) y una camioneta de (12,700 kg). En el momento del impacto ambos vehículos circulaban a una velocidad de 95 km/h

- ¿Cuál es la energía cinética del automóvil antes del choque?
- ¿Cuál es la energía cinética de la camioneta antes del choque?
- Para cuando los vehículos alcanzan el reposo, ¿Cuánta energía cinética se transforma en otras formas de energía debido a la colisión?

1.34 Una piedra que pesa 35.6 N se deja caer desde una cierta altura Z; la piedra llega al suelo con una velocidad de 23(m/s).

- Calcule la energía cinética de la piedra en el momento de llegar al suelo y la altura Z desde la cual se dejó caer.
- Resuelva el problema suponiendo que el proceso se efectúa en la luna, en donde la aceleración gravitacional es de 1/6 del valor terrestre.

1.35 En la figura se observa que el collarín de 2 kg de peso se mueve sobre la varilla con una velocidad de 3 (m/s) cuando se le aplica una fuerza P en el cable horizontal. El collarín se detiene luego de recorrer 1.2m (con la fuerza P aplicada). Suponga que no hay fricción entre el collarín y la varilla. Determine la magnitud de la fuerza P.



1.36 Si una cubeta que pesa 300 (gf) se deja caer a un pozo cuya profundidad es de 16(m) ¿Cuál será la energía cinética y la energía potencial de la cubeta (a) justamente antes de tocar el agua del pozo? (b) después de chocar con ella, cuando flota sobre su superficie?

1.37 Un ascensor, con su carga, pesa 11770 (N). El ascensor parte del reposo en primer piso y luego de 5(s) pasa al 5° piso, situado 18(m) más arriba con una velocidad de 9(m/s) Encuentre: (a) La energía potencial del ascensor y su energía cinética cuando pasa por el 5° piso (b) el trabajo desarrollado para mover el ascensor durante los 5(s) (c) La potencia media que se emplea.

1.38 Un hombre cuya masa es 70 kg sube hasta el tercer piso de un edificio, a una altura de 12 m por encima del nivel de la calle: (a) ¿Cuánto trabajo ha realizado? (b) ¿Cuánto ha aumentado su energía potencial? (c) Si sube las escaleras en 20 s, ¿Cuál es su potencia media?

1.39 Un caballo jala una carreta con una fuerza de 178 N (La cuál hace un ángulo de 30° con la horizontal) y la arrastra horizontalmente con una velocidad de 10 km/h.

a) ¿Qué cantidad de trabajo hace el caballo en 10 minutos?

b) ¿Cuál es la potencia del caballo?

1.40 El motor fuera de borda de una lancha proporciona a la hélice una potencia de 40 CV cuando la canoa se mueve con la velocidad constante de 30 (km/h) Si en vez de usar el motor se jalara esta lancha con un cable, ¿Cuál sería la tensión en el cable cuando la lancha se movera a la misma velocidad?

1.41 Un conjunto de magnitudes que es muy útil en las aplicaciones (en particular en la mecánica de fluidos) es el número de Reynolds.

$$Re = \frac{D \cdot \bar{V} \cdot \rho}{\mu}$$

en donde  $D^*$  es el diámetro de la tubería,  $\bar{V}^\phi$  es la velocidad,  $\rho$  es la densidad y  $\mu$  es la viscosidad del fluido.

Calcule el número de Reynolds para los casos siguientes:

$D^*$	2 (in)	20 (ft)	1 (ft)	2 (mm)
$\bar{V}^\phi$	10 (ft/s)	10 (mi/h)	1 (m/s)	3 (cm/s)
$\rho$	62.4 (lb/ft <sup>3</sup> )	1 (lbm/ft <sup>3</sup> )	12.5 (kg/m)	25 (lb/ft <sup>3</sup> )
$\mu$	0.3 (lb m/h ft)	$0.14 \times 10^{-4}$ (lbm/sft)	$2 \times 10^{-6}$ (cp)	$1 \times 10^{-6}$ (cp)

Un centipoise = 1 (cp) =  $10^{-2}$  (g/(cm s))

\* o una longitud característica

$\phi$  o alguna velocidad característica

1.42 Seleccione las tres presiones que son equivalentes: (a) 10 psi, 23.1 ft. de agua, 4.91 in. de Hg, (b) 10 psi., 4.33 ft. agua, 20.3 in. Hg. (c) 10 psi, 20.3 ft. agua, 23.1 in.Hg. (d) 4.33 psi, 10 ft. agua, 20.3 in.Hg. (e) 4.33 psi., 10 ft. agua, 8.83 in.Hg.

1.43 (a) Expresar la presión de 121 bar en : N/m<sup>2</sup>, lbf/in<sup>2</sup>, kgf/m<sup>2</sup>, kgf/cm<sup>2</sup>.

(b) Expresar la energía de 362 J/kg en unidades: lbf x ft/lb, kcal/kg, ft<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, kgf x m/kg. (c) Expresar la entropía de 0.5475 kcal/(kg K) en: BTU/(lb°R), kJ/(kg K), cm<sup>3</sup> x atm/(kg K), kW x h/(kg K).

612851

NOTA:

Todos los problemas se encuentran perfectamente determinados. Sin embargo, en un gran número - de ellos se requiere que el lector consulte la bibliografía adecuada para encontrar el valor - de constantes o propiedades físicas que le permitan calcular la respuesta numérica.



FACULTAD DE INGENIERIA



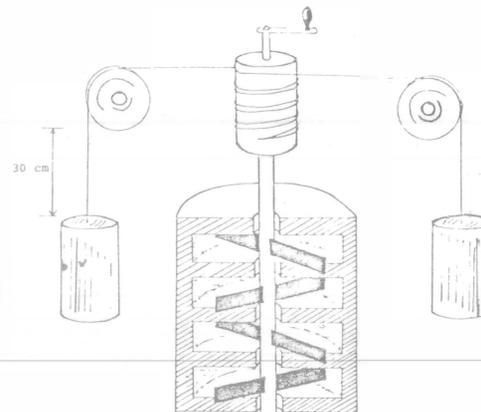
CAPITULO II

PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA

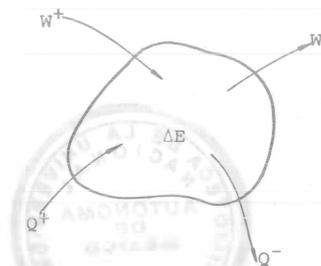
2.1 Dado que para abarcar los conceptos manejados en este capítulo es necesario formular varias preguntas, se ha tomado la opción de proponer al lector ejemplos o definiciones muy breves de cada tópico y que a su vez, éste los amplie y aclare mediante la respectiva redacción o discusión con los compañeros de clase.

- a) Termodinámica. Estudia la energía y la dirección de los flujos energéticos.
- b) Sistema Termodinámico. Una turbina Pelton, Francis o Kaplan
- c) Estado. Conjunto de características.
- d) Proceso. Conjunto de estados...
- e) Ciclo. El ciclo de Diesel.
- f) Fase. Agua líquida.
- g) Sustancia Pura. Freón-12
- h) Sustancia Simple Compresible. Aire
- i) Postulado de Estado.  $N_O = N_R + 1$  (ver apuntes de Principios de Energética, capítulo II)
- j) Propiedades Extensivas. Masa, peso, volumen.
- k) Propiedades Intensivas. Densidad, peso específico, volumen específico.

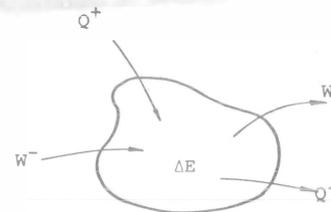
2.2 Joule comprobó el Principio de Conservación de la Energía mediante un dispositivo como se muestra en la figura. Calcúlese el incremento de temperatura que tendría 1 dm<sup>3</sup> de agua (que se encuentra dentro del recipiente aislado) cuando se dejan caer las 2 masas de 3 kg cada una. La temperatura inicial del agua es de 20°C. Despreciéense los efectos de fricción en poleas y cilindro.



2.3 Algunos autores coinciden en utilizar la convención de signos:



otros en:



Indique que convención corresponde a cada una de las siguientes expresiones, argumentando su respuesta:

- a)  $\Delta E = Q + W$   
 b)  $\Delta E = Q - W$

2.4 Un objeto de cobre de 300 g se coloca dentro de un calorímetro de cobre de 150 g que se encuentra a 1.0135 bar y que a su vez, contiene 220 g de agua a 20°C. Esto hace que el agua hierva, convirtiéndose 5 g de agua en vapor. La entalpía de vaporización del agua en estas condiciones es de 2257.0 J/g. ¿Cuál era la temperatura inicial del objeto de cobre?

SOLUCION:

Consideramos que el calorímetro está aislado perfectamente y por lo tanto:

$$\Delta U = \overset{0}{Q} + \overset{0}{W}$$

$$(\Delta U)_{\text{sistema}} = 0 ; \quad (\Delta U)_{\text{Cu}} + (\Delta U)_{\text{agua}} = 0$$

$$(\Delta U)_{\text{Cu}} = (\Delta U)_{\text{objeto}} + (\Delta U)_{\text{calorímetro}}$$

$$(\Delta U)_{\text{objeto}} = m C_{\text{Cu}} \Delta T = 0.3 \times C_{\text{Cu}} \times (T_f - T_i)$$

$$(\Delta U)_{\text{calorímetro}} = m C_e \Delta T = 0.15 \times C_e \times (T_f - 20)$$

$$(\Delta U)_{\text{Cu}} = C_{\text{Cu}} \left[ 0.3 (T_f - T_i) + 0.15 (T_f - 20) \right]$$

La temperatura final de equilibrio de todo el sistema será de 100°C ya que el agua hierve a esa temperatura, (a nivel del mar,  $P = 1.0135$  bar)

$$(\Delta U)_{\text{Cu}} = C_{\text{Cu}} \left[ 0.3 (100 - T_i) + 0.15 (100 - 20) \right]$$

$$(\Delta U)_{\text{H}_2\text{O}} = m C_{\text{H}_2\text{O}} \Delta T + m h_{fg}$$

$$= 0.22 \times C_{\text{H}_2\text{O}} \times (100 - 20) + 5 \times 2257.0$$

$$C_{\text{Cu}} \left[ 0.3 (100 - T_i) + 0.15 (100 - 20) \right] + \left[ 0.22 \times C_{\text{H}_2\text{O}} \times (100 - 20) + 5 \times 2257 \right] = 0$$

$$\frac{\text{J}}{\text{kg K}} \times \text{kg } ^\circ\text{C} + \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \times \text{kg } ^\circ\text{C} + \frac{\text{J}}{\text{g}} = (\text{J})$$

$$C_{\text{Cu}} = 0.3864 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$C_{\text{H}_2\text{O}} = 4.186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$100 - T_i = \frac{-0.22 \times 4186 \times 80 - 5 \times 2257 - 0.15 \times 386.4 \times 80}{0.3 \times 386.4}$$

$$100 - T_i = -772.9$$

$$T_i = 772.9 + 100$$

$$T_i = 882.9^\circ\text{C}$$

$$T_i = 883^\circ\text{C}$$

2.5 Una cierta sustancia tiene un peso molecular de 50 g/gmol; a una muestra de 30 g de dicho material, se añaden 314 Joules de calor y su temperatura aumenta de 25 a 45°C.

- a) ¿Cuál es el calor específico de dicha sustancia?  
 b) ¿Cuál es el calor específico molar de dicha sustancia?

2.6 Un cubo de hielo tiene atrapado un balón de acero, dicho cubo está suspendido en un vaso con agua. ¿Aumentará el nivel del agua cuando se funda? Explíquelo. ¿En dónde se localizaría el cubo de hielo si no tubiese el balón?

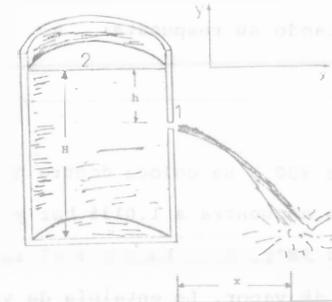


- 2.7 En las instalaciones de una planta hidroeléctrica, el agua cae desde una altura de 60 pies con un ritmo de 500 pies<sup>3</sup>/min. ¿Cuál es la máxima potencia que puede desarrollar la turbina en: a) HP, b) CV, c) BTU/hr, d) kw?

SOLUCION:

- a) 56.756 H.P.  
 b) 56.832 C.V.  
 c) 144472.5 BTU/hr  
 d) 42.34 Kw

- 2.8 Un depósito está lleno con agua hasta una altura H; se practica un orificio en una de las paredes a una profundidad h por debajo de la superficie del agua (ver figura). Demostrar que la distancia x desde el pie de la pared hasta el punto en el cual el chorro choca contra el suelo está dado por la expresión  $x = 2 \sqrt{h(H-h)}$



SOLUCION:

De las ecuaciones de movimiento para tiro parabólico en un plano se tiene

$$y = (\bar{v} \sin \theta_0)t - \frac{1}{2} g t^2 \dots (a)$$

$$x = (\bar{v}_0 \cos \theta_0)t \dots (b)$$

donde:

$\bar{v}_0$ , es la velocidad inicial

t, es la variable tiempo

y  $\theta_0$ , es el ángulo formado por el chorro de agua al salir del depósito y la horizontal.

De la expresión (a):

$$y = -(H-h) \quad \theta_0 = 0^\circ$$

$$\therefore t = \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}} \dots (c)$$

Por otra parte, si aplicamos la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 (orificio) y 2 (un punto en la superficie libre del agua)

$$\frac{\bar{v}_1^2}{2} + g Y_1 + v_1 P_1 = \frac{\bar{v}_2^2}{2} + g Y_2 + v_2 P_2$$

se tiene que:

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= \bar{V}_0 & v_1 &= v_2 \\ \bar{V}_2 &= 0 & P_1 &= P_2 = P_{atm} \\ Y_1 &= -h & & \\ Y_2 &= 0 & & \end{aligned}$$

por lo que:

$$\begin{aligned} \frac{\bar{V}_0^2}{2} - g h &= 0 \\ \bar{V}_0 &= (2 g h)^{1/2} \quad \dots (d) \end{aligned}$$

sustituyendo (c) y (d) en (b)

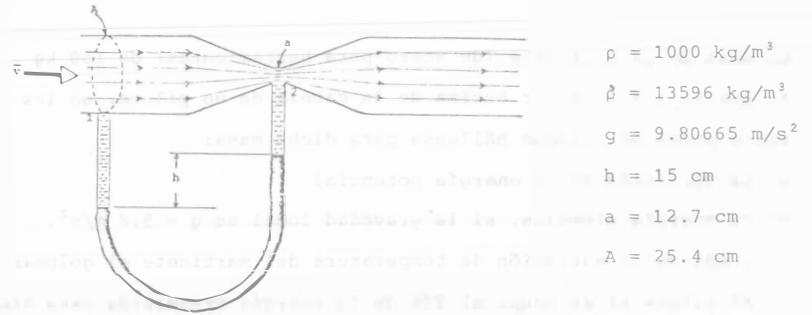
$$\begin{aligned} x &= (\bar{V}_0 \cos 0^\circ) t = \bar{V}_0 t = (2 g h)^{1/2} \left[ \frac{2(H-h)}{g} \right]^{1/2} \\ x &= [4 h (H-h)]^{1/2} = 2 [h(H-h)]^{1/2} \end{aligned}$$

2.9 Para medir el gasto en una tubería que conduce agua, se ha instalado un venturi con un manómetro diferencial, con mercurio como fluido manométrico (véase figura). Utilizando las ecuaciones de Bernoulli y de Continuidad demuestre que:

a) La velocidad del agua está dada por la expresión:

$$\bar{V} = a \left[ \frac{2(\rho - \rho') g h}{\rho (a^2 - A^2)} \right]^{1/2}$$

b) De acuerdo con los datos anexos calcule el gasto que circula por la tubería.

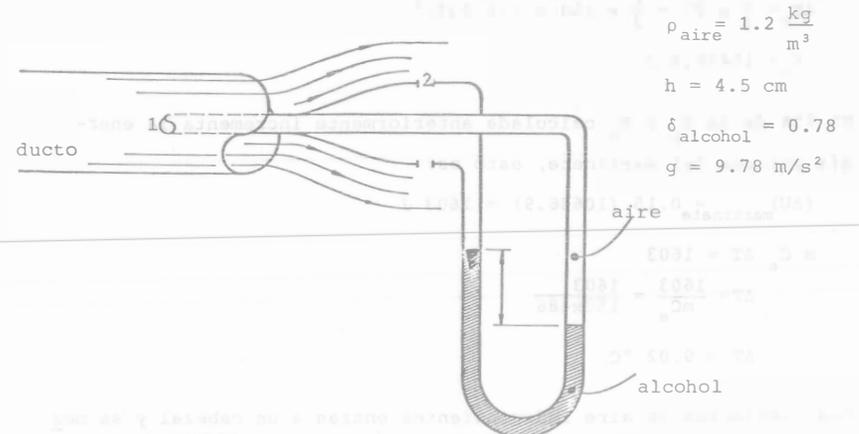


$$\begin{aligned} \rho &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ \rho' &= 13596 \text{ kg/m}^3 \\ g &= 9.80665 \text{ m/s}^2 \\ h &= 15 \text{ cm} \\ a &= 12.7 \text{ cm} \\ A &= 25.4 \text{ cm} \end{aligned}$$

2.10 a) Haga una descripción detallada del funcionamiento de un tubo de Pitot.

b) Demuestre que la diferencia de presiones que marca el manómetro del mismo, es  $\Delta P = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^2$ , donde  $\rho$  es la densidad del fluido del cual se quiere medir su velocidad

c) Calcule la velocidad del aire que circula por un ducto, cuya figura y datos aparecen a continuación:



$$\begin{aligned} \rho_{\text{aire}} &= 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ h &= 4.5 \text{ cm} \\ \delta_{\text{alcohol}} &= 0.78 \\ g &= 9.78 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

SOLUCION:

c)  $\bar{V} = 9.86 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

- 2.11 La masa de un martinete (de acero para herramientas) de 150 kg se suelta a 7.27 m por encima de la cabeza de un pilote, un instante antes del choque hállense para dicha masa:
- La variación de su energía potencial
  - Su energía cinética, si la gravedad local es  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .
  - ¿Cuál es la variación de temperatura del martinete al golpear el pilote si se ocupa el 80% de la energía transmitida para hinchar el pilote y hay un 5% de pérdidas al medio ambiente?

**SOLUCION**

a)  $\Delta E_p = mg \Delta h = 150 \times 9.8 \times 7.27 = 10686.9 \text{ J}$

b)  $y = \bar{v}_o t - \frac{1}{2} g t^2$

$\bar{v}_o = 0$  ;  $y = -7.27 \text{ m}$

$t = \frac{-2y}{g} = \frac{-2(-7.27)}{9.8} = 1.218 \text{ s}$

$\bar{v} = v_o + at$

$\bar{v} = at = 9.8 \times 1.218 = 11.937 \text{ m/s}$

$\Delta E_c = \frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{1}{2} \times 150 \times (11.937)^2$

$\Delta E_c = 10686.9 \text{ J}$

El 15% de la  $E_c$  o  $E_p$  calculada anteriormente incrementa la energía interna del martinete, esto es:

$(\Delta U)_{\text{martinete}} = 0.15 (10686.9) = 1603 \text{ J}$

$m C_e \Delta T = 1603$

$\Delta T = \frac{1603}{m C_e} = \frac{1603}{150 \times 486}$

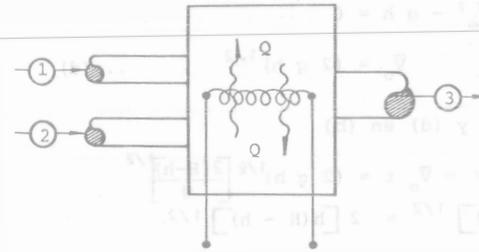
$\Delta T = 0.02 \text{ } ^\circ\text{C}$

- 2.12 Dos corrientes de aire independientes entran a un cabezal y se mezclan en una sola corriente de salida. La corriente 1 entra con  $\bar{v}_1 = 30 \text{ m/s}$ ,  $T_1 = 32^\circ\text{C}$  y  $\dot{m}_1 = 2.5 \text{ kg/s}$ ; la otra con  $\bar{v}_2 = 60 \text{ m/s}$ ,  $T_2 =$

$49^\circ\text{C}$  y  $\dot{m}_2 = 3.6 \text{ kg/s}$ .

La mezcla sale con  $\bar{v}_3 = 15 \text{ m/s}$  y se le trasmite calor a razón de  $20.5 \text{ K J}$  por cada kg de aire.

Determine la temperatura de la corriente de aire a la salida considerando que las caídas de presión son despreciables.



**SOLUCION:**

De la expresión de la 1a. ley abajo régimen estable,  $\dot{Q} + \dot{w} = \dot{m}_s(e_c + e_p + h) - \dot{m}_e(e_c + e_p + h)$

$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = 2.5 + 3.6 = 6.1 \text{ kg/s}$

$(e_p)_e = (e_p)_s$

$\dot{w} = 0$

$\dot{Q} \dot{m}_3 = \dot{m}_3 \left( \frac{1}{2} \bar{v}_3^2 + h_3 \right) - \dot{m}_1 \left( \frac{1}{2} \bar{v}_1^2 + h_1 \right) - \dot{m}_2 \left( \frac{1}{2} \bar{v}_2^2 + h_2 \right)$

$h = C_p T$  ;  $C_{p\text{aire}} = \frac{1.004 \text{ kJ}}{\text{kg K}}$

$(20.5) 6.1 = 6.1 \left[ \frac{1}{2} (15)^2 + 1.004 (T_3) \right] - 2.5 \left[ \frac{1}{2} (30)^2 + 1.004 (305) \right]$

$- 3.6 \left[ \frac{1}{2} (60)^2 + 1.004 (322) \right]$

$\dot{Q} = q \dot{m}_3 = (20.5) 6.1 = 125.05 \text{ Kw}$

$$\dot{m}_3 \left( \frac{1}{2} \bar{V}_3^2 + h_3 \right) = 6.1 \left[ \frac{1}{2} (15)^2 + 1004 T_3 \right] = (686.25 + 6124.4 T_3) \text{ w}$$

$$\dot{m}_1 \left( \frac{1}{2} \bar{V}_1^2 + h_1 \right) = 2.5 \left[ \frac{1}{2} (30)^2 + 1004 (305) \right] = 766675 \text{ w}$$

$$\dot{m}_2 \left( \frac{1}{2} \bar{V}_2^2 + h_2 \right) = 3.6 \left[ \frac{1}{2} (60)^2 + 1004 (322) \right] = 1170316.8 \text{ w}$$

$$\left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \frac{\text{kg}}{\text{kg}} + \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) = \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \left( \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \frac{\text{m}}{\text{kg}} + \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) = (\text{w})$$

$$125050 = 686.25 + 6124.4 T_3 - 766675 - 1170316.8$$

$$T_3 = \frac{125050 + 766675 + 1170316.8 - 686.25}{6124.4}$$

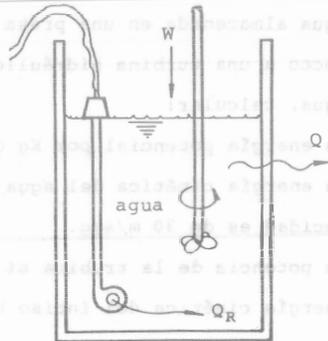
$$T_3 = 336.58 \text{ K}$$

$$(T) = \left( \frac{\text{J}}{\text{s}} \frac{\text{s}}{\text{kg}} \frac{\text{kg K}}{\text{J}} \right) = (\text{K})$$

$$T_3 = 63.58^\circ\text{C}$$

2.13 Un tanque abierto a la atmósfera contiene agua, mediante una resistencia eléctrica se le transmiten 1500 k J, provocando un cierto aumento de temperatura al agua después de 20 minutos, como consecuencia, su energía interna aumenta 1300 K J. Se usa un agitador de 0.5 kw para mover el agua.

Si no hay evaporación, determine el calor transmitido del tanque al aire que lo rodea



SOLUCION:

$$Q = 600 \text{ k J}$$

2.14 Se desean bombear 20 000 dm<sup>3</sup>/hr de aceite combustible a una caldera. La densidad relativa del aceite es 0.8 y la presión de succión es de 0.15 bar (man), mientras que en la descarga es de 2.0 bar (man). La descarga del aceite se encuentra a 10 m por encima de succión. El diámetro del tubo de succión es de 0.25 m y el de la descarga 0.15 m. La presión barométrica del lugar de instalación es de 0.95 bar. Estime la potencia requerida por la bomba.

SOLUCION:

$$\dot{Q} + \dot{w} = \dot{m} \left[ \Delta e_c + \Delta e_p + \Delta u + \Delta (Pv) \right]$$

Consideraciones debidas a las características del problema, como

$$T \doteq \text{cte} \Rightarrow \dot{Q} \doteq 0$$

$$\Delta u = 0$$

$$\dot{m} = 20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1}{3600} \frac{\text{h}}{\text{s}} \times 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 4.44 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\bar{V}_1 = \frac{\dot{m}}{A_1 \rho} = \frac{4.44 \times 4}{(0.25)^2 \pi \times 800} = 0.113 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\bar{V}_2 = \frac{\dot{m}}{A_2 \rho} = \frac{4.44 \times 4}{(0.15)^2 \pi \times 800} = 0.314 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\left( \frac{\text{kg m}^3}{\text{s m}^3 \text{ kg}} \right) = \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$\Delta e_c = \frac{1}{2} (\bar{V}_2^2 - \bar{V}_1^2) = \frac{1}{2} (0.314^2 - 0.113^2) = 0.043 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\left( \frac{\text{m}^2 \text{ kg}}{\text{s}^2 \text{ kg}} \right) = \left( \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} \frac{\text{m}}{\text{kg}} \right) = \left( \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$$

$$\Delta e_p = g(z_2 - z_1) = 9.8 \times 10 = 98 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

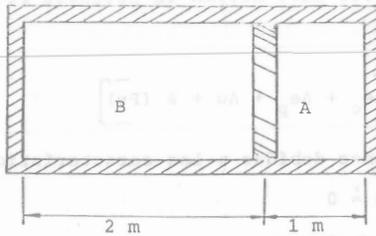
$$\Delta (Pv) = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{(2-0.5) \times 10^5}{800} = 187.5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Finalmente:

$$\dot{w} = 4.44 (0.043 + 98 + 187.5) = 1267.8 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

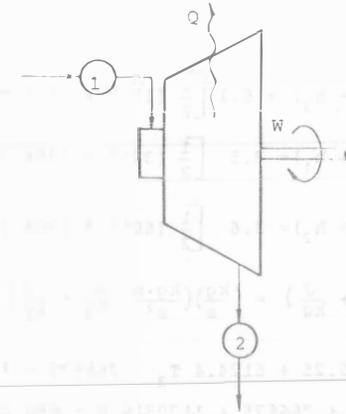
$$\dot{w} = 1.267 \text{ Kw}$$

- 2.15 En un cilindro hay dos gases (A y B) separados por una pared adiabática de espesor despreciable. Inicialmente se tienen las siguientes propiedades  $T_{A1} = 300 \text{ K}$ ,  $P_{A1} = 1 \text{ bar}$ ,  $T_{B1} = 320 \text{ K}$ , cuando el émbolo se encuentra como en la figura. Cuál será la posición final del émbolo y la presión final de los dos gases.

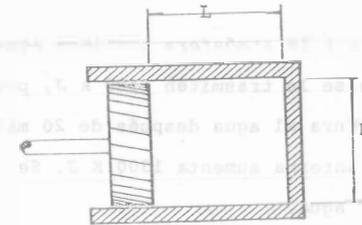


- 2.16 Una llanta de automóvil se infla a una presión de 2 bar manométrica y a una temperatura de 279 K. Después de rodar, la temperatura de la llanta sube a 310 K. Si el volumen de la llanta no cambia:
- ¿Cuál será la presión que alcance el aire en su interior?
  - Si se extrae el 10% de aire, ¿Cuál será la presión que tendrá en estas condiciones?

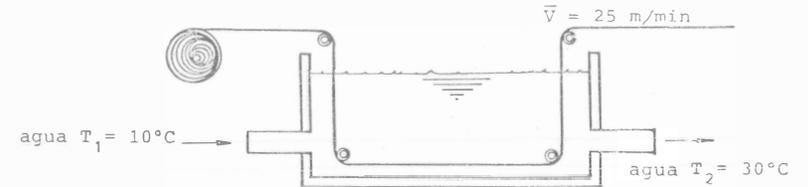
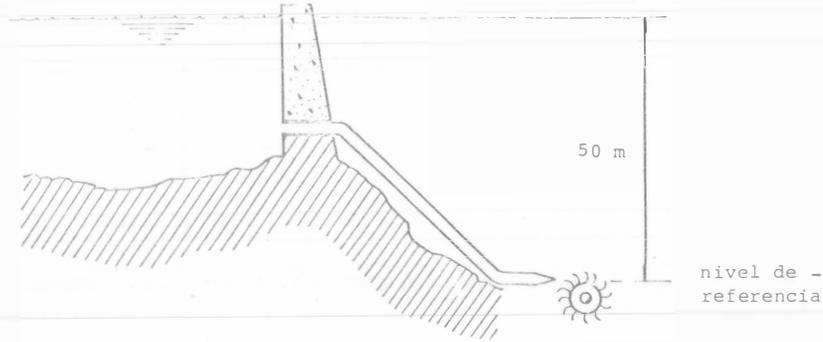
- 2.17 Se suministra vapor a 13.79 bars a una turbina de 76.4 KW que opera a carga completa con  $U_1 = 2711 \text{ KJ/kg}$ ,  $v_1 = 0.1659 \text{ m}^3/\text{kg}_m$ ,  $\bar{V}_1 = 121 \text{ m/s}$ . El escape está a 0.069 bars con  $u_2 = 2155 \text{ KJ/kg}_m$ ,  $v_2 = 18.36 \text{ m}^3/\text{kg}_m$  y  $\bar{V}_2 = 335 \text{ m/s}$ . La pérdida de calor en la turbina es de  $23.3 \text{ KJ/kg}_m$ . Determinar:
- El trabajo por  $\text{kg}_m$  de vapor
  - El flujo en  $\text{kg/hr}$



- 2.18 Un cilindro de una máquina de combustión interna de  $D = 10 \text{ cm}$  y  $L = 15 \text{ cm}$ , admite aire a 303 K y 1.01 bar abs y lo comprime hasta que  $L = 3 \text{ cm}$  llegando la temperatura a 577 K.
- ¿Qué cantidad de aire se admite en  $\text{kgmol}$ ?
  - ¿Qué presión alcanzará cuando  $L = 3 \text{ cm}$ ?



- 2.19 El agua almacenada en una presa tiene un desnivel de 50 m con respecto a una turbina hidráulica que maneja 500 kg por segundo de agua, calcular:
- La energía potencial por  $\text{kg}$  del agua en la presa.
  - La energía cinética del agua en el punto más bajo, si su velocidad es de 30 m/seg.
  - La potencia de la turbina si solo se aprovecha el 70% de la energía cinética del inciso b).



SOLUCION:

a)  $e_p = 490 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

b)  $e_c = 450 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

c)  $\dot{w} = 157.7 \text{ Kw}$

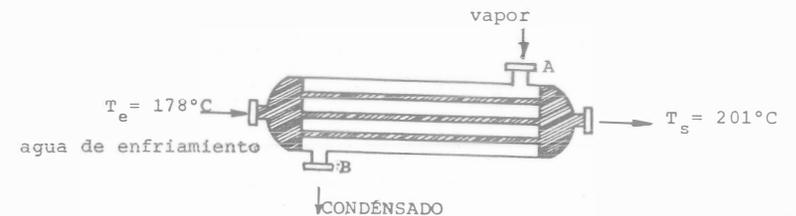
2.20 Un recipiente de vidrio cuya masa es 0.3 Kg, contiene 1 Kg de agua y, ambos se encuentran en equilibrio térmico a 10°C. Al agregar al recipiente 4 Kg de agua a 50°C, el equilibrio térmico del sistema agua-recipiente se restablece a 41.62°C. Despreciando las pérdidas de calor, calcular el calor específico del vidrio.

2.21 Un rollo de lámina de acero se pasa por un tanque de enfriamiento entrando a 90°C y saliendo a 50°C. La lámina pesa 4 Kg por metro lineal y pasa por el tanque con velocidad de 25 m/min. El agua fluye constantemente, entrando a 10°C y saliendo a 30°C.

¿Qué cantidad de agua se requiere para mantener estas condiciones; expresándola en Kg/min?

Calor específico del acero  $C_{ac} = 460.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

2.22 En un cambiador de calor, que consiste en un haz de tubos, circulan 160,000 Kg/hr de agua de enfriamiento que entran a 178°C y salen a 201°C. Por parte externa de los tubos circula vapor el cuál se condensa en el interior del cambiador. La energía cedida por el vapor entre la entrada (A) y la salida (B) del cambiador es 2 294.36 KJ/Kg.



2.23 ¿Cuánta energía se requiere para convertir 1 kg de hielo a -10°C en vapor saturado, a 0.1013 MPa de presión?



CAPITULO III

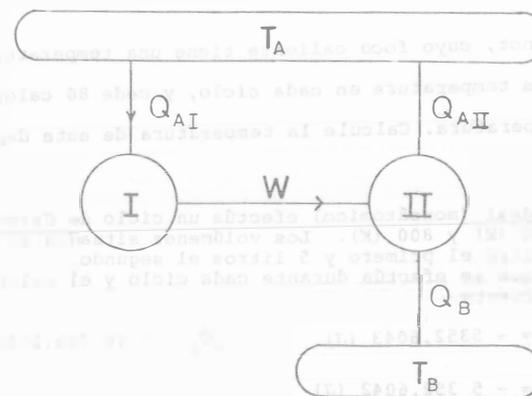
SEGUNDA LEY DE LA TERMODINAMICA

3.1 Una turbina de vapor gasta  $1.1 \times 10^{-3}$  kg de vapor en producir 1 kJ de energía eléctrica. En la caldera, para producir 1 kg de vapor con los parámetros necesarios, se consumen 3300 kJ. Encuentre el rendimiento de la instalación.

3.2 Determine el gasto diario de combustible de una planta generadora de energía que produce  $10^5$  kW, si su rendimiento es del 35% y el poder calorífico del combustible es de  $30 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \frac{\text{kJ}}{\text{combustible}}$

3.3 Suponga que es posible construir una máquina que opera cíclicamente (I) tal que transforma en trabajo (W) todo el calor que acepta de un depósito térmico a  $T_A$ . El trabajo que produce se emplea en el accionamiento de una bomba de calor (II), la cual toma  $Q_B$  de un depósito térmico a  $T_B$  y cede calor al depósito térmico a temperatura  $T_A$ .

- ¿Cuál es el postulado que viola la máquina I?
- ¿Cómo es  $|Q_{AI}|$  comparado con  $|Q_{AII}|$ ?
- El depósito térmico a  $T_A$ . ¿gana o pierde calor en el proceso?
- El depósito térmico a  $T_B$ . ¿gana o pierde calor en el proceso?
- ¿Cuál es el resultado neto del acoplamiento de las máquinas I y II?
- ¿Es posible el proceso propuesto según los postulados de la 2a. Ley de la Termodinámica? (Si su respuesta es no, indique cuál postulado se opone).



3.4 La Segunda Ley de la Termodinámica se establece en un libro de texto como sigue: "Es imposible que una máquina que actúa por sí misma y que no recibe ayuda de ningún agente externo pueda llevar calor desde un cuerpo hasta otro cuerpo que esté a una temperatura mayor".

- Idee una máquina que incluya a un refrigerador ordinario que pueda transgredir la ley según se ha establecido.
- Modifique la definición para que la ley sea correcta.

3.5 ¿Cuál es la eficiencia máxima que puede tener una máquina térmica que trabaja entre una temperatura superior de  $400$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) y una temperatura inferior de  $18$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).

3.6 Se propone la construcción de una máquina térmica (que opere en forma cíclica) para hacerla trabajar en el océano en un sitio en que la temperatura cerca de la superficie sea  $20$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) y a gran profundidad la temperatura sea de  $5$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). ¿Cuál es la máxima eficiencia térmica que pueda alcanzar esta máquina?

7 Una máquina de Carnot, cuyo foco caliente tiene una temperatura de 127°C toma 100 cal a esta temperatura en cada ciclo, y cede 80 calorías al depósito de baja temperatura. Calcule la temperatura de este depósito.

Una mol. de un gas ideal (monoatómico) efectúa un ciclo de Carnot entre las temperaturas 400 (K) y 800 (K). Los volúmenes situados en la isoterma superior son 1 litro el primero y 5 litros el segundo. Calcule el trabajo que se efectúa durante cada ciclo y el calor que se intercambia con cada fuente.

Respuesta:  $W_{\text{Ciclo}} = - 5352.6043 \text{ (J)}$        ${}_aQ_b = 10\,705.2085 \text{ (J)}$   
 ${}_cQ_d = - 5\,352.6042 \text{ (J)}$

9 Una máquina frigorífica de Carnot toma calor de un depósito con agua a 0°C y lo cede a una habitación que está a 27°C. Han de transformarse 100 (kg) de agua a 0°C en hielo a 0°C. (a) ¿Cuántas calorías son cedidas a la habitación? (b) ¿Qué trabajo se requiere, expresado en (J)?

10 Encuentre la mínima cantidad de trabajo que se requiere para extraer una caloría de un cuerpo a la temperatura (constante) de 0°F cuando la temperatura del medio ambiente es 100°F.

Calcule la cantidad de trabajo mínima que se requiere para extraer 5 (J) de calor de un cuerpo que está a la temperatura de -18°C, cuando la temperatura del ambiente es 18 (°C).

2 El elemento que tiene el mínimo punto de ebullición normal (cuando  $P = 1.013$  bares) es el helio (He), con 4.2 (K). En estas condiciones posee una entalpía de vaporización de 83.3 (J/gmol).

Se va a emplear un refrigerador de Carnot para producir 1 (gmol) de helio líquido a 4.2 (K) partiendo de vapor saturado (de He) a la misma temperatura. ¿Cuál es el trabajo que requiere el refrigerador? ¿Cuál es el coeficiente de operación del refrigerador? Se puede suponer que la temperatura del ambiente es 27 (°C).

Solución:

Se desea 1 (gmol) de helio líquido a partir de helio en forma de vapor saturado.

$$Q_B = \eta \cdot \Delta h_{fg} = 1 \text{ (gmol)} \times 83.3 \left( \frac{\text{J}}{\text{gmol}} \right) = 83.3 \text{ (J)}$$

El coeficiente de operación de un refrigerador de Carnot que opera entre las temperaturas del problema es:

$$\beta = \frac{T_B}{T_A - T_B} = \frac{4.2 \text{ (K)}}{300.15 \text{ (K)} - 4.2 \text{ (K)}} = 1.4192 \times 10^{-2}$$

El trabajo que se necesita es:

$$W = \frac{Q_B}{\beta} = \frac{83.3 \text{ (J)}}{1.4192 \times 10^{-2}} = 5869.6750 \text{ (J)}$$

$$W = 5.8697 \text{ (kJ)}$$

3.13 Indique cuál de las dos opciones siguientes es más efectiva para aumentar la eficiencia de una máquina de Carnot.

- a) Aumentar  $T_{\text{ALTA}}$  conservando  $T_{\text{BAJA}}$  constante.
- b) Disminuir  $T_{\text{BAJA}}$  conservando  $T_{\text{ALTA}}$  constante.

Si se le ocurre otra alternativa, indíquela.

3.14 Un inventor afirma haber desarrollado una máquina que admite 25000 J/s a una temperatura de 400 K, expulsa 12 k J/s a una temperatura de 200 K y entrega 13 kW de potencia mecánica. ¿Invertiría usted dinero para lanzar esta máquina al mercado?

Como la máquina es reversible internamente y trabaja en forma cíclica,  $\Delta S = 0$  ∴

$$\left\{ \frac{Q_A}{T_A} \right\} + \left\{ \frac{Q_B}{T_B} \right\} = 0$$

$$T_A = \frac{T_B \{Q_A\}}{-\{Q_B\}} = 300.15(K) \times \frac{1000(kJ)}{-310(kJ)} = 968.2258(K)$$

El cambio de entropía del foco es:

$$\Delta S_A = - \frac{1000(kJ)}{1200(K)} = -0.8333 \left( \frac{kJ}{K} \right)$$

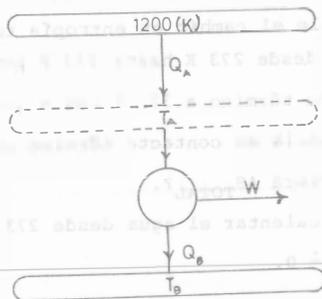
El cambio de entropía del sumidero es:

$$\Delta S_B = \frac{310(kJ)}{300.15(K)} = 1.0328 \left( \frac{kJ}{K} \right)$$

El cambio de entropía total es:  $\Delta S_A + \Delta S_B = 0.1995 \left( \frac{kJ}{K} \right)$

3.15 Considérese una máquina térmica que recibe 1000 (kJ) de una fuente térmica que está a 1200 (K). La máquina es reversible internamente, produce 690 (kJ) de trabajo y rechaza calor reversiblemente a un sumidero que está a 27 (°C). ¿Cuál es la temperatura a la que la máquina recibe isotérmicamente el calor proveniente de la fuente térmica? ¿Cuál es el cambio total de entropía para el proceso que se describe?

Solución:



$$\left\{ Q_A \right\} + \left\{ Q_B \right\} = - \left\{ W \right\}$$

$$\left\{ Q_B \right\} = \left\{ W \right\} - \left\{ Q_A \right\} = - \left\{ -690(kJ) \right\} - 1000(kJ) = -310(kJ)$$

3.16 Se tiene un par de bloques del mismo metal y del mismo tamaño, pero a temperatura distintas,  $T_1$  y  $T_2$ . Se ponen en contacto hasta que se iguala el valor de su temperatura. Compruebe que el cambio de entropía se puede conocer según:

$$\Delta S = C_p \ln \left\{ \frac{(T_1 + T_2)^2}{4 T_1 T_2} \right\}$$

si se supone que el  $C_p$  se mantiene constante. Con la información que representa la expresión precedente ¿Se puede afirmar que el proceso es espontáneo?

3.17 Un matraz que contiene benceno ( $C_6H_6$ ) en su punto de fusión (a 5.5(°C)) se pone en contacto con un baño térmico compuesto por una mezcla de hielo y agua. El contacto se mantiene hasta que se congela una mol de benceno. El cambio de entalpía de fusión para el benceno es 126.86 (J/g). Calcule el cambio en la entropía del benceno y el cambio neto de la entropía del universo.

3.18 En un experimento de calor específico se mezclan 100(g) de plomo ( $C_p = 0.0345 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ ) a  $100^\circ\text{C}$  con 200 (g) de agua a  $20^\circ\text{C}$ . Suponga que no hay transferencia de calor a los alrededores y encuentre la diferencia en la entropía del sistema entre los estados final e inicial.

3.19 ¿Cuál es la cantidad de energía que usted recomendaría a una planta productora de energía: 1000 (kJ) de trabajo de flecha ó 3000 (kJ) de calor a 500 (K)? La temperatura del ambiente es  $20^\circ\text{C}$ .

Solución:

Se desea tener la mayor cantidad de energía "mecánica" que sea posible. Se tienen ya 1000 (kJ) de energía en forma mecánica: trabajo de flecha.

Para hacer la selección se debe saber cuánta energía mecánica se puede obtener de los 3000 (kJ) que se encuentran asequibles a 500 (K). Supóngase que se alimentan a una máquina de Carnot que opere entre 500 (K) y  $20^\circ\text{C}$ : su eficiencia es:

$$\eta = \frac{T_A - T_B}{T_A} = \frac{500 \text{ (K)} - 293.15 \text{ (K)}}{500 \text{ (K)}} = 0.4137$$

El trabajo que se puede conseguir es:

$$W = Q_A \eta$$

$$W = 3000 \text{ (kJ)} \times 0.4137$$

$$W = 1241.1 \text{ (kJ)}$$

La conclusión es que es preferible contar con 3000 (kJ) de calor a 500 (K) que con 1000 (kJ) de trabajo de flecha.

3.20 ¿Cuál es la cantidad de calor que usted, como ingeniero, prefiere tener a su disposición: 2000 (kJ) a 1100 (K) ó 5000 (kJ) a 530 (K)? La temperatura del ambiente es  $22^\circ\text{C}$ .

3.21 Una barra de latón está en contacto directo con un depósito térmico a  $127^\circ\text{C}$  por uno de sus extremos y con un depósito térmico a  $27^\circ\text{C}$  por el otro extremo. Calcule el cambio total de entropía que resulta del proceso de conducción de 1200 cal a través de la barra ¿Cuál es la variación en la entropía de la barra durante el proceso?

3.22 Un kg de agua a 273 K se pone en contacto con un depósito térmico que está a 373 K. Cuando el agua alcanza la temperatura de 373 K, ¿cuál es el cambio en la entropía del agua? ¿cuál es el cambio en la entropía del depósito térmico? ¿Cuánto vale el cambio en entropía total?

b) Si el agua se calienta desde 273 K hasta 373 K poniéndola primero en contacto con un depósito térmico a 323 K hasta que alcanza esta temperatura y luego poniéndola en contacto térmico con otro depósito térmico a 373 K. ¿Cuál será  $\Delta S_{\text{TOTAL}}$ ?

c) Indique como se podría calentar el agua desde 273 K hasta 373 K de tal manera que  $\Delta S_{\text{TOTAL}} = 0$ .

3.23 Una libra mol de un gas ideal con calores específicos constantes ( $C_p = 5 \frac{\text{BTU}}{\text{lb mol}^\circ\text{F}}$ ) se comprime adiabáticamente en un pistón con émbolo, desde una atmósfera y  $40^\circ\text{F}$  hasta una presión de 5 atm. El proceso es irreversible y requiere un 25% más de trabajo que la compresión reversible y adiabática desde el mismo estado inicial hasta la misma presión final. ¿Cuánto trabajo se requiere?. ¿Cuál es el cambio entropía del gas para este proceso?

Solución:

$$n = 1 \text{ (lb mol)}$$

$$C_p = 5 \frac{\text{Btu}}{\text{lbmol} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$P_1 = 1 \text{ (atm)} = 14.696 \left( \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right)$$

$$P_2 = 5 \text{ atm}$$

$$T_1 = 40 (^\circ\text{F}) = 499.67 (^\circ\text{R})$$

$$W_{\text{real}} = 1.25 W_{\text{reversible}}$$

$$C_p - C_v = R \therefore k = \frac{C_p}{C_p - R} = \frac{5 \frac{\text{Btu}}{\text{lbmol} \cdot ^\circ\text{R}}}{5 \frac{\text{Btu}}{\text{lbmol} \cdot ^\circ\text{R}} - 1.9867 \frac{\text{Btu}}{\text{lbmol} \cdot ^\circ\text{R}}}$$

$$k = 1.6593$$

El conocimiento de la presión final y de la trayectoria (adiabática) permite calcular el estado final "reversible"

$$T_{2,\text{Rev}} = \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-k}{k}} \cdot T_1 = \left( \frac{1 \text{ atm}}{5 \text{ (atm)}} \right)^{\frac{1-1.6593}{1.6593}} \cdot (499.67) (^\circ\text{R}) = 947.1353 (^\circ\text{R})$$

$$W_{\text{Rev}} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{k - 1} = \frac{n R (T_2 - T_1)}{k - 1} = \frac{1 (\text{lbmol}) \times 1.9867 \left( \frac{\text{Btu}}{\text{lbmol} \cdot ^\circ\text{R}} \right) (947.1353 - 499.67) \text{R}}{1.6593 - 1}$$

$$W_{\text{Rev}} = 1348.3471 \text{ (Btu)}$$

El trabajo real es

$$W_{\text{Real}} = 1.25 W_{\text{ideal}} = 1.25 \times 1348.3471 \text{ (Btu)}$$

$$W_{\text{Real}} = 1685.4339 \text{ (Btu)}$$

Como el proceso es adiabático, el trabajo equivale al cambio de energía interna:

$$W_{\text{real}} = \Delta U_{\text{Real}} = n C_v (T_{2,\text{Real}} - T_1)$$

El estado final queda perfectamente determinado al conocerse  $T_{2,\text{Real}}$  pues se conoce  $P_2$ :

$$T_{2,\text{Real}} = \frac{\Delta U_{\text{Real}}}{n C_v} + T_1 = 1685.4339 \frac{\text{Btu}}{\text{lbmol} \cdot ^\circ\text{R}} \times \left( \text{lbmol} \times \frac{1}{3.0133} \frac{\text{lbmol} \cdot ^\circ\text{R}}{\text{Btu}} \right) + 499.67 (^\circ\text{R})$$

$$T_{2,\text{Real}} = 1059.0016 (^\circ\text{R})$$

$$\Delta S = n C_p \ln \left( \frac{T_{2,\text{Real}}}{T_1} \right) - n R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad \dots (Z)$$

$$\begin{aligned} \Delta S &= 1 (\text{lbmol}) \times 5 \left( \frac{\text{Btu}}{\text{lbmol} \cdot ^\circ\text{R}} \right) \ln \left( \frac{1059.0016 (^\circ\text{R})}{499.67 (^\circ\text{R})} \right) - 1 (\text{lbmol}) \times 1.9867 \frac{\text{Btu}}{\text{lbmol} \cdot ^\circ\text{R}} \ln \frac{5 (\text{atm})}{1 (\text{atm})} \\ &= 3.7557 \left( \frac{\text{Btu}}{^\circ\text{R}} \right) - 3.1975 \left( \frac{\text{Btu}}{^\circ\text{R}} \right) = 0.5582 \frac{\text{Btu}}{^\circ\text{R}} \end{aligned}$$

Debe observarse que la ecuación (Z) se emplea en este proceso irreversible porque conecta a dos estados de equilibrio. Su aplicación depende solamente del conocimiento de las propiedades en estos estados ( $T_1$ ,  $T_{2,\text{Real}}$ ,  $P_1$  y  $P_2$ ).

La validez de esta aseveración se basa en el hecho que la entropía es una propiedad de estado, independiente de la trayectoria que une dos estados de equilibrio cualesquiera y función únicamente de estos últimos.

Se comprueba que el proceso es irreversible porque  $\Delta S_{\text{universo}} > 0$ .

3.24 Se sabe que a 298 (K) la entropía para el oxígeno es 205.029 (J/(gmol·K))\* si la presión es 1 bar. ¿Cuál es el valor de la entropía para el oxígeno a 100 bares, suponiendo que se comporta como un gas ideal?

\* Este valor está referido a un valor de 0(J/gmol K) para un cristal perfecto a 0(K).

3.25 Demuestre que para un gas ideal con  $C_p$  y  $C_v$  constantes que sufre un proceso politrópico ( $p v^n = K$ ) entre  $T_1$  y  $T_2$ , el cambio de entropía es

$$s_2 - s_1 = \frac{C_p - n C_v}{n - 1} \ln \left( \frac{T_1}{T_2} \right)$$

3.26 Un cilindro vertical que posee un émbolo contiene nitrógeno gaseoso a la presión constante de 1 bar. Todo el equipo se enfría desde 150 (°C) hasta 40 (°C) ¿Cuánto calor se retira del nitrógeno? ¿Cuánto trabajo se hace sobre él? ¿Cuál es su cambio de entropía?

3.27 Un gas ideal experimenta una expansión reversible y a la temperatura constante de 300 (K) desde 1 (l) hasta 10 (l). Si la presión al principio era de 20 bares calcule (a)  $\Delta S$  para el gas (b)  $\Delta S$  para todos los sistemas involucrados con la expansión.

3.28 Un tanque rígido y adiabático contiene aire a 0.95 bares y 27 (°C). Se tiene un motor exterior que mueve una hélice ubicada en el interior del tanque, agitando al aire hasta que su presión llega a 1.4 bares ¿Cuánto trabajo entrega el motor? ¿Cuál es el cambio en la entropía del aire?

$$\Delta u = 2.9553 \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kgmol}} \right) = \left\{ W \right\} \text{ motor} \quad \Delta s = 8060.0943 \left( \frac{\text{J}}{\text{kgmol K}} \right)$$

3.29 Una mezcla de gases (con  $k = 1.4$ ) ocupa inicialmente un volumen de 100 (ft<sup>3</sup>) a 10 (lb/in<sup>2</sup>) y 100 (°F). Durante un proceso reversible a presión constante la temperatura aumenta hasta 200 (°F). Encuentre el trabajo realizado, el calor intercambiado, los cambios en volumen, energía interna, entalpía y entropía.

Respuesta:

$${}_1W_2 = -p_1 \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) v_1 = -10 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times \frac{(12 \text{ in})^2}{1 \text{ ft}^2} \left\{ \frac{659.67 (^\circ\text{R})}{559.67 (^\circ\text{R})} - 1 \right\} 100 \text{ ft}^3 = -25729.4477 (\text{lbft})$$

$${}_1Q_2 = n C_p (T_2 - T_1) = n \frac{Rk}{(k-1)} (T_2 - T_1) = \frac{k}{(k-1)} p (v_2 - v_1) = \frac{k}{k-1} \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) p_1 v_1$$

$${}_1Q_2 = \frac{1.4}{1.4-1} \left( \frac{659.67 (^\circ\text{R})}{559.67 (^\circ\text{R})} - 1 \right) \times 10 \left( \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right) \times \frac{144 (\text{in}^2)}{1 (\text{ft}^2)} \times 100 (\text{ft}^3) = 90053.0669 (\text{lb ft})$$

$$v_2 - v_1 = \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) v_1 = \left( \frac{659.67 (^\circ\text{R})}{559.67 (^\circ\text{R})} - 1 \right) 100 (\text{ft}^3) = 17.8677 (\text{ft}^3)$$

$${}_1\Delta U_2 = {}_1Q_2 + {}_1W_2 = 90053.0669 (\text{lbft}) - 25729.4477 (\text{lbft}) = 64323.6192 (\text{lbft})$$

$${}_1\Delta H_2 = {}_1Q_2 = 90053.0669 (\text{lbft})$$

$${}_1\Delta S_2 = n C_p \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) - n R \ln \left( \frac{p_2}{p_1} \right) = n \frac{k R}{k-1} \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{k}{k-1} \frac{p_1 v_1}{T_1} \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$$

$${}_1\Delta S_2 = \frac{1.4}{1.4-1} \times 10 \left( \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right) \times \frac{144 (\text{in}^2)}{1 (\text{ft}^2)} \times 100 (\text{ft}^3) \times \frac{1}{559.67 (^\circ\text{R})} \ln \left( \frac{659.67 (^\circ\text{R})}{559.67 (^\circ\text{R})} \right) = 148.0404 \frac{\text{lb ft}}{^\circ\text{R}}$$

3.30 Un cilindro como el de la figura contiene un émbolo adiabático que se desliza sin fricción y cuya área transversal es  $1 \text{ in}^2$ . En cada lado del pistón hay  $1 \text{ ft}^3$  de aire a  $20 \text{ (lb/in}^2 \text{ abs)}$  y  $40 \text{ (}^\circ\text{F)}$ . Por la tapa izquierda se proporciona calor muy lentamente hasta que la presión en el lado derecho del pistón se eleva a  $100 \text{ (lb/in}^2 \text{ abs)}$ .

- ¿Cuánto trabajo se hace sobre el aire del lado derecho?
- ¿Cuánto calor se suministra al aire del lado izquierdo?



CAPITULO IV

Ciclos Termodinámicos

- 4.1 Indique el equipo en el que se lleva a cabo c/u de los procesos que componen un ciclo de Brayton (o de Joule).
- Haga un diagrama de bloques del ciclo, donde se señale el flujo de la sustancia de trabajo y el equipo que la maneja.
  - Dibuje la secuencia de procesos que compone al ciclo de Brayton (o de Joule).
    - En un diagrama de  $(v, P)$
    - En un diagrama  $(s, T)$
- 4.2 En un ciclo de Brayton que maneja un gas ideal con calores específicos constantes ( $k = 1.39$ ) se tiene a la entrada del compresor 1 bar y  $15(^{\circ}\text{C})$ , y a la salida  $152(^{\circ}\text{C})$ .
- ¿Cuál es la presión a la que se lleva a cabo la transmisión de calor isobárica?
  - ¿Cuál es la razón de presiones?
  - ¿Cuál es la eficiencia del ciclo?
- 4.3 Un ciclo de Otto que maneja un gas ideal con calores específicos constantes ( $k = 1.42$ ), tiene las características siguientes: Entrada al principio de la compresión: 0.78 bares,  $19(^{\circ}\text{C})$ . Salida del compresor: 18 bares.
- ¿Cuál es la temperatura a la salida del compresor?
  - ¿Cuál es la razón de compresión?
  - ¿Cuál es la eficiencia del ciclo?
  - Dibuje al ciclo de Otto:
    - En un diagrama  $(v, p)$
    - En un diagrama  $(s, T)$

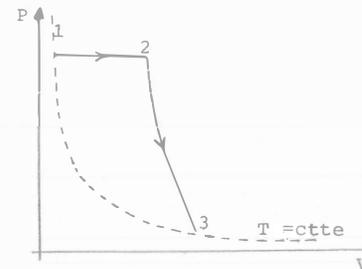
- 4.4 Dos Kg-mol de oxígeno se encuentran inicialmente a la temperatura de  $27^{\circ}\text{C}$  y ocupan un volumen de  $20 \text{ dm}^3$ . Se expande el gas primero a presión constante hasta duplicar su volumen y después adiabáticamente hasta recobrar su temperatura inicial.

$$\hat{C}_p = 29.00 \text{ KJ/Kg mol } ^{\circ}\text{K}$$

$$K = 1.4$$

$$\bar{R} = 8.314 \text{ KJ/Kg mol } ^{\circ}\text{K}$$

- ¿Cuál es el volumen final?
- ¿Cuál es el incremento de energía interna total?
- ¿Cuál es el calor suministrado?
- ¿Cuál es el trabajo total realizado por el gas?



- 4.5 Un motor de combustión interna funciona con un ciclo Otto reversible, como se muestra en la figura. Trabaja con 8 gr de una mezcla de aire combustible, (se le suministran 1900 Joules en cada ciclo) con una relación de compresión

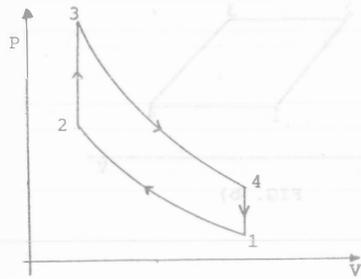
$$r_c = V_1/V_2 = 8. \text{ La mezcla tiene en la entrada una}$$

$$P_1 = 1 \text{ bar y } T_1 = 27^{\circ}\text{C}$$

$$C_{v \text{ mezcla}} = 718.15 \text{ J/Kg } ^{\circ}\text{K}$$

$$r_{\text{mezcla}} = 286.45 \text{ J/Kg } ^{\circ}\text{K}$$

- a) Calcule P, V y T en cada estado (1, 2, 3 y 4) y llene la tabla correspondiente.
- b) Calcule el calor, trabajo y cambio de energía interna en cada proceso, llene la otra tabla.
- c) Calcule la eficiencia del ciclo.
- d) Si el motor trabaja a 3600 RPM y efectúa dos revoluciones cada ciclo, ¿Cuál será la potencia del motor?



Edo	P	V	T
1			
2			
3			
4			

Pro-ceso	Q	W	ΔU
1-2			
2-3			
3-4			
4-1			

4.6 Un ciclo de Diesel usa aire, el cuál se comporta como un gas ideal con  $k = 1.4$ . Durante el ciclo la razón de compresión es 15/1, las temperaturas máxima y mínima de la máquina son 1650 (°C) y 15(°C), respectivamente y la presión máxima que se tiene es 45 bares.

- a) ¿Cuál es la temperatura del aire luego de la compresión?
- b) ¿Cuál es la eficiencia del ciclo?
- c) Dibuje el ciclo de Diesel:
- En un diagrama (v, p)
  - En un diagrama (s, T)
  - Explique como ocurre cada uno de los procesos.

4.7 La figura representa un ciclo de Otto que funciona con un gas cuya masa es de 0.0023 kg.

- a) Diga de que gas se trata.
- b) Calcule Q en cada proceso.
- c) Calcule el trabajo neto.
- d) La eficiencia del ciclo en %.

Estado	V(m³)	P(bar)	T(K)
1	0.002	1	300
2	0.00025	18.5	690
3		37	1380
4		2	600

Gas	K	M
aire	1.4	28.97
O <sub>2</sub>	1.395	32.0
H <sub>e</sub>	1.665	4.003

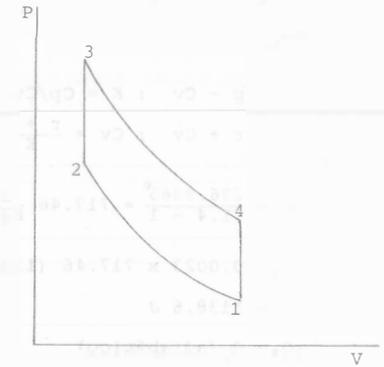


FIG. 4.7

$$a) P_1 V_1^K = P_2 V_2^K$$

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^K = \frac{P_2}{P_1}$$

$$K \ln \frac{V_1}{V_2} = \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$K = \frac{\ln \frac{P_2}{P_1}}{\ln \frac{V_1}{V_2}} = \frac{\ln \frac{18.5}{1}}{\ln \frac{0.002}{0.00025}} = \frac{2.9178}{2.0794} = 1.4$$

gas .- aire

$$b) {}_1Q_2 = 0 \text{ (adiabático)}$$

$${}_2Q_3 = m C_v (T_3 - T_2)$$

$$r = \frac{\bar{R}}{\bar{M}} = \frac{8.314}{28.97} = 286.9865 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$\frac{\frac{\text{J}}{\text{kg mol} \cdot \text{K}}}{\frac{\text{kg}}{\text{mol}}} = \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$r = C_p - C_v ; K = C_p/C_v$$

$$C_p = r + C_v ; C_v = \frac{r + C_v}{K} \Rightarrow C_v = \frac{r}{K-1}$$

$$C_v = \frac{286.9865}{1.4 - 1} = 717.46 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$${}_2Q_3 = 0.0023 \times 717.46 (1380 - 690) = 1138.6 \text{ J}$$

$${}_3Q_4 = 0 \text{ (adiabático)}$$

$${}_4Q_1 = m C_v (T_1 - T_4) = 0.0023 \times 717.46 (300 - 600) = -495 \text{ J}$$

$$c) \int \delta Q = - \int \delta W$$

$$\int \delta Q = Q_{\text{ciclo}} = 1138.6 - 495 = 643.6 \text{ J}$$

$$\therefore W_{\text{ciclo}} = W_{\text{neto}} = -643.6 \text{ J}$$

$$d) \eta_{\text{ciclo}} = \frac{W_{\text{neto}}}{Q_{\text{sum}}} = \frac{643.6}{1138.6} = 0.5653$$

$$= 56.53\%$$

4.8 El motor de un automóvil opera con un ciclo como el que se muestra en la fig. a), y se puede aproximar por el trapecio de la fig. b).

Si el motor tiene 6 cilindros y trabaja a 3600 rpm (efectuando un ciclo en cada revolución), ¿Cuál será su potencia?

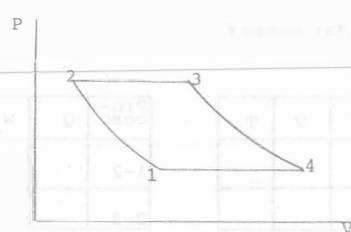


FIG. a)

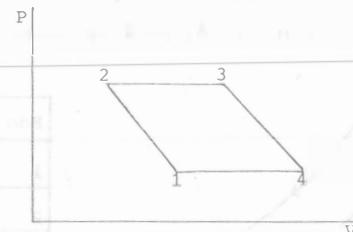


FIG. b)

$$1 (0.01 \text{ MPa}, 0.001 \text{ m}^3)$$

$$2 (0.3 \text{ MPa}, 0.0005 \text{ m}^3)$$

$$3 (0.3 \text{ MPa}, 0.0015 \text{ m}^3)$$

$$4 (0.01 \text{ MPa}, 0.002 \text{ m}^3)$$

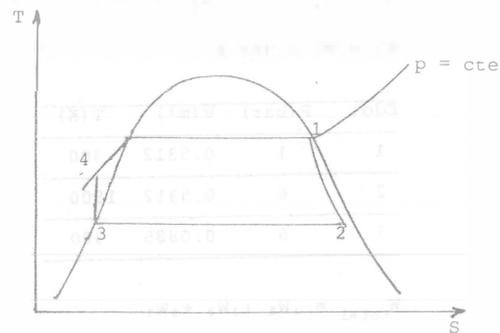
SOLUCION:

$$\dot{W} = 5.22 \times 10^4 \text{ W}$$

- 4.9 Un ciclo Rankine normal, maneja vapor saturado de la caldera a la turbina, ésta entrega al condensador una mezcla de líquido y vapor. La bomba, que está después del condensador, recibe agua líquida saturada, dicha bomba eleva la presión del agua y así la suministra a la caldera.

Con los datos que aparecen a continuación, resuelva el cuestionario siguiente:

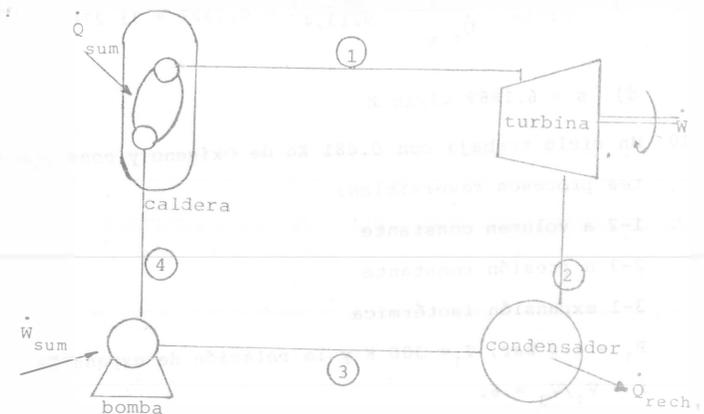
- $h_1 = 2804.2 \text{ kJ/kg}$   
 $S_1 = 6.1869 \text{ kJ/kg K}$   
 $h_2 = 1925.17 \text{ kJ/kg}$   
 $S_2 = 6.257 \text{ kJ/kg K}$   
 $h_3 = 168.78 \text{ kJ/kg}$   
 $h_4 = 171.8 \text{ kJ/kg}$



- a) Haga un diagrama de bloques donde se vea con claridad por que equipos pasa la sustancia de trabajo.  
 b) Calcule la potencia neta que entrega el ciclo, si por éste circula un gasto de  $3.5 \text{ kg/s}$ .  
 c) ¿Qué eficiencia térmica tiene el ciclo?  
 d) Si la expansión del vapor en la turbina, fuese reversible, que valor tendría la entropía de la mezcla en el estado 2.

SOLUCION:

a)



- b) Como se puede observar del inciso anterior, la potencia neta que entrega el ciclo es:

$$\dot{W}_{\text{neto}} = \dot{W}_{\text{turb}} - \dot{W}_{\text{bomba}}$$

Ahora bien, haciendo un balance de energía en cada uno de esos equipos, encontramos que son despreciables los cambios de energía cinética y potencial, así:

$$\dot{Q}_{\text{cald}} = \dot{m} (h_1 - h_4) = 3.5 (2804.2 - 171.8) = 9\,213.4 \text{ kw}$$

$$\dot{W}_{\text{turb}} = \dot{m} (h_2 - h_1) = 3.5 (1925.17 - 2804.2) = -3076.6 \text{ kw}$$

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \dot{m} (h_3 - h_2) = 3.5 (168.78 - 1925.17) = -6147.36 \text{ kw}$$

$$\dot{W}_{\text{bomba}} = \dot{m} (h_4 - h_3) = 3.5 (171.8 - 168.78) = 10.57 \text{ kw}$$

$$\dot{W}_{\text{neto}} = -3066.03 \text{ kw}$$

$$c) \eta_{\text{ciclo}} = \frac{\dot{W}_{\text{neto}}}{\dot{Q}_{\text{sum}}} = \frac{3066.03}{9213.4} = 0.3327 = 33.27\%$$

$$d) s = 6.1869 \text{ kJ/kg K}$$

4.10 Un ciclo trabaja con 0.681 Kg de Oxígeno y consiste de los siguientes procesos reversibles:

1-2 a volumen constante

2-3 a presión constante

3-1 expansión isotérmica

$P_1 = 1.0 \text{ bar}$ ,  $T_1 = 300 \text{ K}$  y la relación de expansión isotérmica es

$$r = V_1/V_3 = 6.$$

a) Trace esquemáticamente el ciclo en el plano V-P.

b) Determine  $P_2$ ,  $V_2$  y  $T_2$

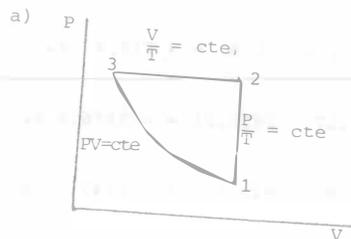
$$P_3, V_3 \text{ y } T_3$$

c) Determine el trabajo realizado en el ciclo y el calor total transmitido.

$$C_v = 0.65 \text{ kJ/Kg K}$$

$$r = 0.26 \text{ kJ/Kg K}$$

SOLUCION:



$$b) P_1 = 1 \text{ bar}$$

$$V_1/V_3 = 6 ; m = 0.681 \text{ kg de } O_2$$

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$V_1 = \frac{m r T_1}{P_1} = \frac{0.681 \times 260 \times 300}{1 \times 10^5} = 0.5312 \text{ m}^3$$

$$V_3 = \frac{V_1}{6} = 0.08853 \text{ m}^3$$

$$V_2 = V_1 = 0.5312 \text{ m}^3$$

$$P_1 V_1 = P_3 V_3 \Rightarrow P_3 = \frac{P_1 V_1}{V_3} = 6 \times 1 = 6 \text{ bar}$$

$$P_3 = P_2 = 6 \text{ bar}$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{P_2}{P_1} T_1 = \frac{6}{1} \times 300 = 1800 \text{ K}$$

$$T_1 = T_3 = 300 \text{ K}$$

Edo.	P (bar)	V (m <sup>3</sup> )	T (K)
1	1	0.5312	300
2	6	0.5312	1800
3	6	0.0885	300

$$W_{\text{total}} = {}_1W_2 + {}_2W_3 + {}_3W_1$$

$$= 0 - P_2(V_3 - V_1) - P_1 V_1 \ln \frac{V_1}{V_3}$$

$$= -6 \times 10^5 (0.0885 - 0.5312) - 1 \times 10^5 \times 0.5312 \times \ln 6 =$$

$$= 1.7044 \times 10^5 \text{ J}$$

$$\oint \delta W = - \oint \delta Q \Rightarrow Q_{\text{ciclo}} = -1.7044 \times 10^5 \text{ J}$$

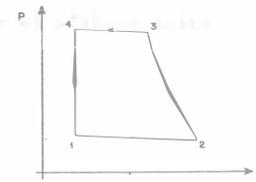
4.11 Una máquina funciona según el ciclo mostrado en el diagrama P-V.

En el proceso politrópico 2-3,  $n = 1.3$

$$P_1 = 1 \text{ bar} ; V_1 = 0.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_2 = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$P_3 = 8 \text{ bar}$$



a) Encuentre el trabajo total realizado por el ciclo.

b) Encuentre la potencia desarrollada si se efectúa un ciclo por segundo.

4.12 Haga un diagrama de bloques que represente un ciclo de refrigeración por compresión, señalando el equipo que lo compone. Diga la fase en la que se encuentra el refrigerante al entrar y salir de cada equipo.

a) Dibuje el ciclo de refrigeración por compresión:

i) En un diagrama (s, T)

ii) En un diagrama (h, p)

b) Cite las características que debe poseer una sustancia para considerarse un buen refrigerante.

4.13 Un gramo de nitrógeno realiza un ciclo termodinámico ideal siguiendo los siguientes procesos, en un cilindro cerrado por un pistón:

1-2 expansión adiabática en que el volumen se duplica.

2-3 compresión a presión constante en que el volumen vuelve a su valor inicial.

3-1 compresión a volumen constante para regresar a condiciones iniciales.

El nitrógeno se encuentra inicialmente a 423 K y  $5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  de presión;  $r = 297 \text{ J/kg K}$ ;  $C_v = 741 \text{ J/kg K}$ ;  $C_p = 1038 \text{ J/kg K}$ .

Encuentre P, V y T en cada uno de los estados comunes a dos procesos.

a) Halle el trabajo efectuado en cada uno de los procesos y el trabajo total del ciclo.

b) Encuentre la transmisión de calor en cada uno de los procesos y el calor neto entregado al ciclo.

c) Encuentre el cambio de energía interna en cada uno de los procesos.

d) Encuentre el cambio de entalpía en cada uno de los procesos.

e) Trace esquemáticamente el ciclo en el plano V-P indicando todos los estados y procesos.

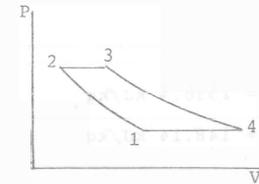
4.14 Una turbina de gas trabaja en un ciclo de Brayton, como el mostrado. Si el flujo de masa es de 1 Kg/s de  $O_2$ , con  $k = 1.4$  y  $C_p = 909 \text{ J/(Kg K)}$ .

a) Dibuje el ciclo en un diagrama s-T.

b) Complete la tabla para  $t = 1 \text{ min}$ .

c) Calcule la potencia neta y el calor suministrado.

d) Calcule la eficiencia del ciclo.



TABLA

EDO	T (K)	P (Bar)	h (KJ/Kg)	s (KJ/(Kg K))
1	300	1	0	0
2		8		
3	1000	8		
4		1		

4.15 Un ciclo de Otto que maneja un gas ideal con calores específicos constantes ( $k = 1.42$ ) tiene las características siguientes antes de la compresión  $p = 0.78 \text{ bares}$ ,  $T = 19^\circ\text{C}$ . Al finalizar la compresión  $p = 18 \text{ bares}$ .

a) ¿Cuál es la temperatura al finalizar la compresión?

b) ¿Cuál es la relación de compresión?

c) ¿Cuál es la eficiencia del ciclo?

4.16 Una planta termoeléctrica opera con un ciclo de Rankine. A la salida del generador de vapor se tiene el estado 1. El condensador opera a 35°C, recibiendo vapor húmedo y entregando líquido saturado. Si la planta genera 30 MW netos, calcule:

- El flujo de vapor en (kg/s)
- La potencia consumida por la bomba en kW.
- La potencia que entrega la turbina en kW.
- La eficiencia del ciclo.

Datos:

$$h_1 = 3699.4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 2556.4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 146.68 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 148.14 \text{ kJ/kg}$$

4.17 En un ciclo de Otto ideal se usa aire ( $k = 1.4$ ). Las temperaturas máxima y mínima son 1400 (°C) y 15(°C). El calor que se suministra al aire es 800(kJ/kg). Calcule:

- La razón de compresión. ( $V_1/V_2$ )
- La eficiencia térmica.

$$M_{\text{aire}} = 29$$

SOLUCION:

$$a) V_1/V_2 = 5.195$$

$$b) \eta = 48.27\%$$

4.18 Considere un ciclo de Otto ideal con aire, con una relación de compresión de 10. Si la temperatura máxima se limita a 2000(K) y las condiciones del aire al iniciarse la compresión son 1 bar absoluto y 40(°C), calcule:

- La eficiencia térmica del ciclo.
- El calor suministrado
- La presión máxima de operación.
- El trabajo que entrega el ciclo.

4.19 Una máquina opera con el ciclo de Carnot. Durante la expansión isotérmica a 900 K, se suministran 30000 J, y se rechaza calor a 300 K. calcule:

- El trabajo neto de ciclo
- El calor rechazado durante la compresión isotérmica.
- El trabajo suministrado al sistema en la compresión isotérmica.
- Dibuje el ciclo en un diagrama s-T.

SOLUCION

$$\eta = 1 - \frac{T_B}{T_A} = 1 - \frac{300}{900} = \frac{2}{3}; \quad \eta = \frac{W_{\text{neto}}}{Q_{\text{sum}}} \Rightarrow W_{\text{neto}} = \eta Q_{\text{sum}}$$

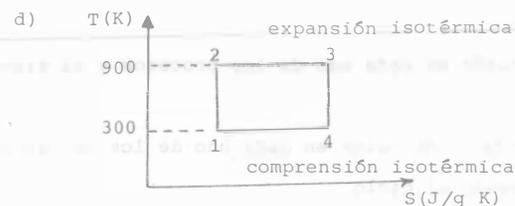
$$a) W_{\text{neto}} = \frac{2}{3} (30000) = 20000 \text{ J}$$

$$b) W = Q_A - Q_B \Rightarrow Q_B = Q_A - W$$

$$Q_B = 30000 - 20000 = 10000 \text{ J}$$

c) En una compresión isotérmica  $v = \text{cte}$ , el trabajo es positivo porque se entrega el sistema y  $Q$  negativo, porque debe salir del sistema para que  $v = \text{cte}$ ; esto es  $\Delta v = 0$

$$-Q_B + W = 0 \Rightarrow W_{\text{compr.}} = 10000 \text{ J}$$



4.20 Un kilogramo de aire realiza un ciclo reversible, las propiedades del gas en los estados 1, 2, 3 y 4 se indican en la tabla siguiente.

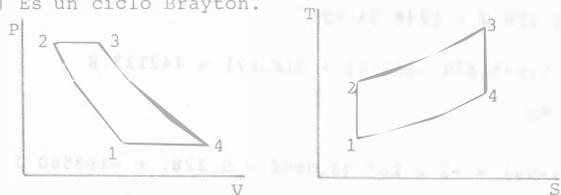
Considere que  $K = 1.4$  y que  $r = 286.7 \frac{J}{kg \cdot K}$

- Diga de que ciclo se trata y dibújelo en los planos V-P y s-T.
- Calcule Q, W,  $\Delta U$  y  $\Delta S$ .
- Calcule el trabajo neto del ciclo.
- Diga cuál es la eficiencia del ciclo.

Estado	P (bar)	V (m <sup>3</sup> )	T (K)
1	1	0.86	300
2	4	0.319	445
3	4	1.075	1500
4	1	2.89	1008

SOLUCION:

a) Es un ciclo Brayton.



b) Proceso 1-2

$$Q = 0$$

$$\Delta S = 0$$

$$W = \Delta U = m C_u (T_2 - T_1) = 1 \times 716.77 (445 - 300) = 103931.65 \text{ J}$$

$$\left( \frac{kg}{kg} \right) \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right) (K) = (J)$$

$C_v$ , se obtiene de  $r$  y  $K$

Proceso 2-3

$${}_2Q_3 = m C_p (T_3 - T_2) = 1 \times 1003.45 \times (1500 - 445) = 1058639.75 \text{ J}$$

$${}_2W_3 = -P(V_3 - V_2) = -4 \times 10^5 (1.075 - 0.319) = -302400 \text{ J}$$

$$\frac{N}{m^2} \times m^3 = N \cdot m = J$$

$${}_2\Delta U_3 = {}_2Q_3 + {}_2W_3 = 1058639.75 - 302400 = 756239.75 \text{ J}$$

$${}_2\Delta S_3 = m C_p L_n \frac{T_3}{T_2} - m r L_n \frac{P_3}{P_2} = 1(1003.45) L_n \frac{1500}{445} - 0 =$$

$$= 1219.36 \frac{J}{K}$$

Proceso 3-4

$${}_3Q_4 = 0$$

$${}_3\Delta S_4 = 0$$

$${}_3W_4 = {}_3\Delta U_4 = m C_v (T_4 - T_3) = 1(716.77) (1008 - 1500) = -352650.84 \text{ J}$$

Proceso 4-1

$${}_4Q_1 = m C_p (T_1 - T_4) = 1(1003.45) (300 - 1008) = -710442.6 \text{ J}$$

$${}_4W_1 = -P(V_1 - V_4) = 1 \times 10^5 (0.86 - 2.89) = 203000 \text{ J}$$

$${}_4\Delta U_1 = {}_4Q_1 + {}_4W_1 = -710442.6 + 203000 = -507442.6 \text{ J}$$

$${}_4\Delta S_1 = m C_p L_n \frac{T_1}{T_4} = 1(1003.47) L_n \frac{300}{1008} = -1216.14 \frac{J}{K}$$

Con los datos calculados anteriormente podemos llenar la siguiente tabla:

Proceso	Q (kJ)	W (kJ)	$\Delta U$ (kJ)	$\Delta S$ ( $\frac{kJ}{K}$ )
1-2	0	103.9	103.9	0
2-3	1058.6	-302.4	756.2	1.2
3-4	0	-352.6	-352.6	0
4-1	-710.4	203.0	-507.4	-1.2

$$r = C_p - C_v$$

$$K = C_p / C_v$$

$$C_v = \frac{r}{K-1} = \frac{4157.2}{1.37-1} = 11235.675 \text{ J/kg K}$$

$$U_2 - U_1 = m C_v (T_2 - T_1) = 1.25 \times 11235.675 (405.59 - 348.15)$$

$$= 806721.465 \text{ J} = 806.721 \text{ KJ}$$

$$\left( \text{kg} \times \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \times \text{K} \right) = (\text{J})$$

$${}_1W_2 = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{n-1} = \frac{m r (T_2 - T_1)}{n-1} = \frac{1.25 \times 4157.2 (405.59 - 348.15)}{1.2 - 1}$$

$$= 1492 \ 434.6 \text{ J} = 1492.43 \text{ KJ}$$

$${}_1Q_2 = {}_1\Delta U_2 - {}_1W_2 = 806.72 - 1492.43 = -685.71 \text{ kJ}$$

$${}_2Q_3 = 0$$

$${}_2\Delta U_3 = m C_v (T_3 - T_2) = 1.25 \times 11235.675 (316.67 - 405.59) =$$

$$= 1248845.276 \text{ J} = 1248.84 \text{ kJ}$$

$${}_3\Delta U_1 = 1.25 \times 11235.675 (348.15 - 316.67) = 442123.8$$

$$= 442.12 \text{ KJ}$$

$${}_3W_1 = -P_1 (V_1 - V_3) = -2 \times 10^5 (9.0458 - 8.228) = -163560 \text{ J}$$

$$= -163.56 \text{ kJ}$$

$$\left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) (\text{m}^3) = (\text{J})$$

$${}_3Q_1 = {}_3\Delta U_1 - {}_3W_1 = 442.12 - (-163.56) = 605.68 \text{ kJ}$$

Con estos datos ya se puede proceder a llenar las tablas anteriores.

$$c) W_{\text{neto}} = {}_1W_2 + {}_2W_3 + {}_3W_4 + {}_4W_1 = -348118 \text{ J}$$

$$d) \eta_{\text{ciclo}} = \frac{W_{\text{neto}}}{Q_{\text{sum}}} = \frac{348118}{1058639} = 0.328$$

$$\eta_{\text{ciclo}} = 32.8\%$$

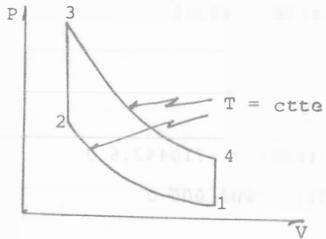
4.21 Un ciclo de Stirling que se emplea con fines criogénicos emplea 1.5 (kg) de nitrógeno. Las temperaturas del ciclo son 60(°C) y 166.15(K).

Si la presión máxima que se tiene en el ciclo es 14 bares abs. y la relación isotérmica es 3, calcule:

- El calor que acepta el ciclo
- El trabajo neto del ciclo
- La eficiencia térmica del ciclo.

relación isotérmica

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3} = 3$$



4.22 Calcule las eficiencias para un ciclo de Brayton (llamado también ciclo de Joule) que emplee un gas ideal con los distintos cocientes de presiones: 4, 6 y 8. El cociente de los calores específicos del gas tiene un valor constante igual a 1.39.

SOLUCION:

$$\eta_4 = 32.23\%$$

$$\eta_6 = 39.51\%$$

$$\eta_8 = 44.2\%$$

4.24 Calcule la eficiencia del ciclo de Diesel, cuyos datos aparecen a con-

tinuación:

$$T_1 = 27 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$p_1 = 1 \text{ bar}$$

$$p_2 = 20 \text{ bares}$$

$$p_4 = 2 \text{ bares}$$

SOLUCION:

$$V_1 = 1 \text{ litro}$$

$$M = 29 \text{ (kg/kgmol)}$$

$$k = 1.4$$

$$\eta = 52.63\%$$

$$c) \beta_r = \frac{T_B}{T_A - T_B}$$

$$T_B = \beta_r (T_A - T_B)$$

$$T_B = \beta_r T_A - \beta_r T_B$$

$$T_B + \beta_r T_B = \beta_r T_A$$

$$T_B (1 + \beta_r) = \beta_r T_A$$

$$T_B = \frac{\beta_r T_A}{1 + \beta_r}$$

$$T_B = \frac{3.517 (288.556)}{1 + 3.517}$$

$$T_B = 224.674 \text{ K}$$

4.25 Señale las diferencias que existen entre un refrigerador y un calefactor. Escriba las expresiones de los coeficientes de operación para cada caso, a) si fuese reversible

b) si fuese irreversible

4.26 Señale las diferencias que existen entre un ciclo de gas y un ciclo de vapor.

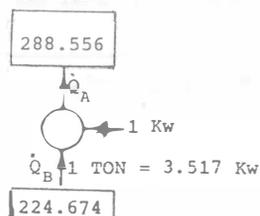
4.27 Un refrigerador de Carnot requiere de 1 Kw de potencia mecánica por cada tonelada de refrigeración.

a) ¿Cuál es el coeficiente de operación?

b) ¿Cuánto calor se transmite al condensador?

c) Si el condensador opera a 15.556°C, ¿Cuál es la temperatura del congelador?

SOLUCION:



$$a) \beta_r = \frac{\dot{Q}_B}{\dot{W}} = \frac{3.517}{1} = 3.517$$

$$b) \dot{Q}_A = \dot{W} + \dot{Q}_B = 1 + 3.517 = 4.517 \text{ Kw}$$

5.1 En la siguiente figura se muestran 2 esferas que están se paradas a una distancia de 5 cm, cuyas cargas son respectivamente  $q_1 = 3 \times 10^{-9} \text{C}$  y  $q_2 = -10 \times 10^{-9} \text{C}$ , encontrar:

- La fuerza de atracción eléctrica entre ambas
- Si se ponen en contacto las esferas y luego se separan 5 cm, calcular la fuerza de repulsión.



FIGURA 5.1

## SOLUCION

- La magnitud de la fuerza de atracción se calcula aplicando la Ley de Coulomb, nótese que trabajaremos con los valores absolutos de las variables.

$$|\vec{F}| = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} = \left| \frac{(9 \times 10^9) (3 \times 10^{-9}) (-10 \times 10^{-9})}{(.05)^2} \right| \left( \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{\text{C}^2}{\text{m}^2} \right)$$

$$F = \frac{270 \times 10^{-9}}{25 \times 10^{-4}} = 10.8 \times 10^{-5} \text{ N}$$

- Al poner en contacto ambas esferas, la carga eléctrica total antes y después del contacto se conserva es decir:

$$q_T = q_1 + q_2 = (3 \times 10^{-9}) + (-10 \times 10^{-9}) = -7 \times 10^{-9} \text{C}$$

y la carga de cada esfera es:

$$q_1 = q_2 = \frac{q_T}{2} = \frac{13 \times 10^{-9}}{2} = 6.5 \times 10^{-9} \text{C}$$

finalmente

$$F = \frac{(9 \times 10^9) (6.5 \times 10^{-9}) (6.5 \times 10^{-9})}{(5 \times 10^{-2})^2}$$

$$F = 15.21 \times 10^{-5} \text{N}$$

5.2 Una carga de  $+0.30 \mu\text{C}$  está a  $10.0 \text{ cm}$  de una carga de  $-2.70 \mu\text{C}$ . ¿En qué punto (no infinito) en relación a la carga  $+0.30 \mu\text{C}$  se puede situar cualquier carga positiva para que la fuerza eléctrica resultante sobre ella sea cero

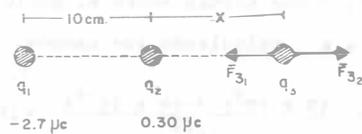


FIGURA 5.2

Respuesta  $x = 5 \text{ cm}$

5.3 Se sabe que cuando 2 bolas de sauco están cargadas se separan  $20 \text{ cm}$ , si las cargas son iguales la longitud de la cuerda es de  $24 \text{ cm}$  y el peso de las bolas es de  $0.04 \text{ g}$ . ¿Cuál es la carga que hay en cada bola?

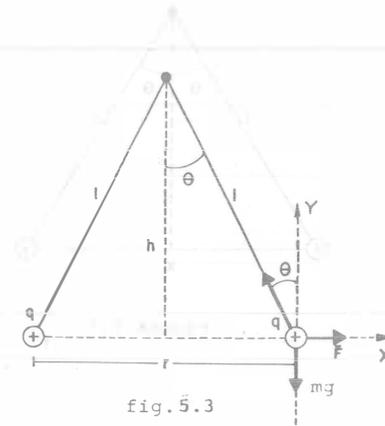


fig. 5.3

$$q = 26.96 \times 10^{-9} \text{C}$$

Respuesta

5.4 Determine las cargas positivas iguales que deben colocarse una en el centro de la tierra y otra en una persona que pese  $75 \text{ kgf}$ , para que ésta parezca no tener peso en la superficie terrestre.

5.5 Dos bolas similares de masa  $m$  se cuelgan de hilos de seda de longitud  $l$  como se indica en la figura, demostrar que:

$$x = \left( \frac{q^2 l}{2\pi\epsilon_0 mg} \right)^{1/3}$$

Considerar que  $\sin\theta \approx \tan\theta$

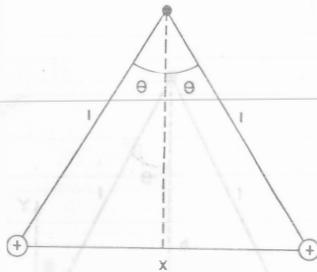


FIGURA 5.5

5.6 Se colocan dos cargas positivas, cada una de magnitud igual a  $1 \text{ Coulomb (C)}$ , y en los extremos opuestos de una longitud de  $90 \text{ m}$ . Halle la fuerza de repulsión entre ellas.

5.7 Tres bolitas, cada una de masa  $10 \text{ g}$ . se cuelgan separadamente de un mismo punto mediante hilos de seda, cada uno de  $1.0 \text{ m}$  de largo. Las bolitas tienen exactamente la misma carga y quedan suspendidas en los vértices de un triángulo equilátero de  $0.1 \text{ m}$  de largo cada lado.  
¿Cuál es la carga que tiene cada bola?

5.8 Se tiene un sistema de cargas puntuales tal y como se indica en la figura 5.8. Determine el valor del campo eléctrico en el punto "p".

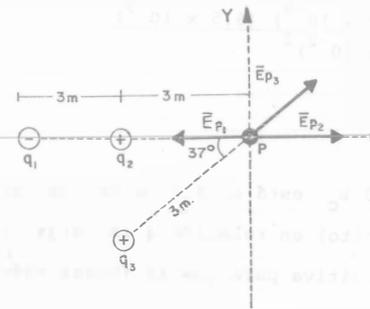


FIG. 5.8

$$q_1 = -64 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$q_2 = 25 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$q_3 = 1 \times 10^{-8} \text{ C}$$

SOLUCION:

Los vectores campo eléctrico que actúan sobre el punto "p" los hemos representado en la figura 5.8, calculando los campos.

$$\left| \vec{E}_{P1} \right| = \left| k \frac{q_1}{r_1^2} \hat{r} \right| = \frac{(9 \times 10^9) (-64 \times 10^{-9})}{(6)^2} = 16 \left( \frac{\text{N}}{\text{C}} \right)$$

$$E_{P2} = \frac{(9 \times 10^9) (25 \times 10^{-9})}{(3)^2} = 25 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_{P3} = \frac{(9 \times 10^9) (1 \times 10^{-8})}{(3)^2} = 10 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Realizando las sumatorias de campos en el eje "y" y "x" se tiene -

$$\Sigma \bar{E}_x = -|\bar{E}_{P_1}| + |\bar{E}_{P_2}| + |\bar{E}_{P_3}| \cos 37^\circ = 0.98 \frac{N}{C}$$

$$\Sigma \bar{E}_y = |\bar{E}_{P_3}| \sin 37^\circ = 6 \frac{N}{C}$$

El campo eléctrico resultante se puede calcular con la siguiente expresión:

$$E_R = \sqrt{(\Sigma E_x)^2 + (\Sigma E_y)^2}$$

$$E_R = \sqrt{(6)^2 + (0.98)^2} = 6.079 \frac{N}{C}$$

y el ángulo que forma con el eje "x" es:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{6}{0.98}$$

$$\alpha = 80.72^\circ$$

5.9 Entre 2 placas planas paralelas cargadas con cargas iguales y opuestas existe un campo eléctrico uniforme. Si un electrón llega de la placa negativa a la placa positiva recorriendo una distancia de 5 cm en un tiempo de  $2.0 \times 10^{-6}$  segundos. Calcule:

- La intensidad de campo eléctrico.
- La velocidad del electrón al llegar a la placa positiva.

SOLUCION:

- La carga del electrón es  $1.60 \times 10^{-19} C$  y su masa =  $9.11 \times 10^{-31} Kg$ . de la Segunda Ley de Newton tenemos:

$$\bar{F} = m\bar{a}$$

en donde la aceleración del electrón se puede calcular con:

$$a = \frac{2d}{t^2} = \frac{2(.05)}{(2.0 \times 10^{-6})^2} \frac{m}{s^2}$$

$$a = 25 \times 10^{+9} \frac{m}{s^2}$$

la fuerza será

$$F = (9.11 \times 10^{-31}) (25 \times 10^{+9}) \left( Kg \frac{m}{seg^2} \right)$$

$$F = 227.75 \times 10^{-22} N$$

y el campo eléctrico

$$E = \frac{F}{q} = \frac{227.75 \times 10^{-22}}{1.60 \times 10^{-19}} = 142.34 \times 10^{-3} \frac{N}{C}$$

- La velocidad la podemos calcular en la siguiente expresión:

$$v = \frac{2ad}{t} = \frac{2(25 \times 10^9)(.05)}{2.0 \times 10^{-6}} = 5 \times 10^8 m/s$$

5.10 Se tienen 2 electrodos de una válvula de vacío separados una distancia de 1 cm, a los cuales se les aplica una diferencia de potencial de 117 V. Calcule:

- La intensidad de campo eléctrico.
- La fuerza constante que actúa sobre un electrón situado en los electrodos.
- La energía W adquirida por un electrón que sale del cátodo y se dirige al ánodo a 5 cm de aquel.

Resultado

$$a) \quad E = 11,700 \frac{V}{m} \quad \text{ó} \quad \frac{N}{C}$$

$$b) \quad F = 18.72 \times 10^{-16} N$$

$$c) \quad W = 936 \times 10^{-17} J$$

5.11 Una esfera de cobre de 1 centímetro de diámetro se halla en un recipiente con aceite. La densidad del aceite es  $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ . ¿A qué será igual la carga de la esfera si en un campo eléctrico uniforme la esfera se encuentra en estado de suspensión dentro del aceite? El campo eléctrico va dirigido verticalmente hacia arriba y su intensidad es  $E = 36,000 \text{ V/cm}$ .

Respuesta  $E = 45 \times 10^7 \frac{\text{N}}{\text{C}}$

El campo eléctrico en el punto "b" es igual a cero debido a que la carga neta en el interior de un conductor es nula.

5.12 Una partícula cargada permanece en reposo en un campo eléctrico vertical y dirigido hacia arriba producido entre dos placas cargadas paralelas y horizontales igualmente cargadas de electricidad de signo contrario, distantes 2 cm. Calcular la diferencia de potencial  $V$  entre ambas placas, si la partícula en cuestión tiene masa de  $4 \times 10^{-13} \text{ kg}$  y carga  $2.4 \times 10^{-18} \text{ C}$ .

5.14 dos grandes placas metálicas de área  $1.0 \text{ m}^2$  están colocadas frente a frente separadas 5.0 cm y tienen cargas iguales y opuestas en sus superficies interiores. Si  $E$  entre las placas es de  $55 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ . ¿Cuál es la carga en las placas?

5.13 En la figura (5.13) se muestra una carga de  $5.0 \times 10^{-6} \text{ Coul}$  en el centro de una cavidad esférica con radio de 2.0 cm en un trozo de metal. Use la Ley de Gauss para encontrar el campo eléctrico en el punto "a", a la mitad del centro de la superficie, y en el punto "b".

5.15 Una carga punto de  $1.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ . se encuentra en el centro de una superficie gaussiana cúbica de 0.50 m. de arista. ¿Cuál es  $\phi_E$  para la superficie?

5.16 En la siguiente figura localicense los puntos:  
a) En los cuales  $v = 0$  y b) en los cuales  $E = 0$ . Considérese solamente puntos en el eje y tómesese a  $d = 1.0 \text{ m}$ .

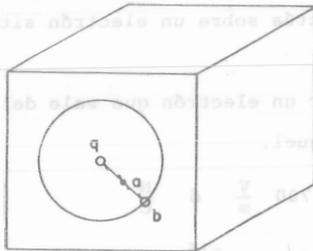


FIGURA 5.13

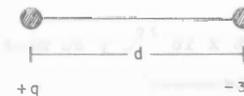
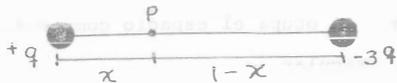


FIGURA 5.16

SOLUCION:

a) Sabemos que para que el potencial eléctrico en un punto sea igual a cero, la suma algebraica de todos los potenciales que actúan en dicho punto debe ser nula.

Consideremos un punto "p" cualquiera, que esta a una distancia  $x$  de la carga  $q$ .



Calculando el potencial en el punto "p" se tiene

$$V_p = V_{+q} - V_{-3q} = 0$$

$$V_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q}{x} - \frac{3q}{1-x} \right) = 0$$

de donde

$$\frac{1}{x} = \frac{3}{1-x}$$

finalmente

$$x = 0.25 \text{ m}$$

ahora bien si calculamos el potencial en un punto Q que se encuentre a la izquierda de  $q$  tenemos

$$V_Q = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q}{x} - \frac{3q}{1+x} \right) = 0$$

$$\frac{q}{x} - \frac{3q}{1+x} = 0$$

$$\frac{1}{x} = \frac{3}{1+x}$$

finalmente

$$x = 0.50 \text{ m a la izquierda de } q$$

b) El campo eléctrico será nulo cuando los campos eléctricos producidos por ambas cargas sean de igual magnitud pero de sentido contrario es decir:

$$|\vec{E}_q| = |\vec{E}_{-3q}|$$

En la figura 5.16b podemos observar que el campo eléctrico no se anula en los puntos que están entre las cargas, por lo que consideramos un punto p a la izquierda de  $q$ .

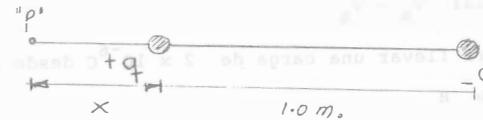


Figura 5.16.b

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{x^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{3q}{(1+x)^2}$$

de donde

$$\frac{1}{x^2} = \frac{3}{(1+x)^2}$$

$$\frac{(1+x)^2}{x^2} = 3$$

sacando  $\sqrt{\quad}$  a ambos miembros

$$\frac{1+x}{x} = \sqrt{3}$$

$$1+x = \sqrt{3}x$$

$$1 = \sqrt{3}x - x$$

$$x = \frac{1}{\sqrt{3} - 1} = 1.36 \text{ m.}$$

El Campo eléctrico se anulará a 1.36 a la izquierda de  $q$ .

5.17 cuanto trabajo se requiere para llevar un protón desde la terminal negativa hasta la positiva de una pila seca de 1.5 V. ¿y un electrón?

Respuesta:  $W_{BA} = -2.40 \times 10^{-19}$

el signo negativo indica que la terminal positiva esta realizando trabajo sobre el electrón.

5.18 para la siguiente figura determine:

- a) a diferencia de potencial  $V_B - V_A$
- b) El trabajo necesario para llevar una carga de  $2 \times 10^{-6} \text{ C}$  desde el punto A hasta el punto B

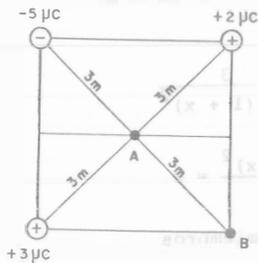


FIG. (5.18)

5.19 Una carga  $q_1 = 8.0 \times 10^{-7} \text{ C}$  está en el punto  $x = 0.12 \text{ m}$ ,  $y = 0.08 \text{ m}$ ,  $z = 0$ . Determine la diferencia de potencial entre los puntos  $x=0.18 \text{ m}$ ,  $y = z = 0$ , y  $x = 0.36 \text{ m}$ ,  $y = z = 0$ .

5.20 En un relámpago típico, la diferencia de potencial entre los puntos en que ocurren las descargas es de cerca de  $10^9$  volts y la cantidad de carga transmitida es de cerca de 30 C. ¿Qué cantidad de hielo a  $0^\circ \text{ C}$  podría fundir esa descarga si toda la energía desprendida pudiera usarse con esa finalidad?

5.21 la diferencia de potencial entre dos placas conductoras paralelas es de 1000 volts, si la separación entre las placas es de 2mm. y una capa de dieléctrico ( $k_e = 6$ ) ocupa el espacio comprendido entre las placas, cuya área es  $1 \text{ m}^2$ , calcular

- a) El campo eléctrico resultante
- b) La susceptibilidad eléctrica.
- c) La densidad superficial de carga inducida

SOLUCION:

a) El campo eléctrico resultante será:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{1000}{2 \times 10^{-3}} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$E = 500 \times 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

b) La susceptibilidad eléctrica se puede conocer mediante la constante dieléctrica K

$$K = 1 + \chi \quad \chi = K - 1 = 6 - 1$$

$$\chi = 5$$

c) La densidad superficial de carga será:

$$\sigma_i = \epsilon_0 \chi E$$

$$\sigma_i = (8.85 \times 10^{-12}) (5) (500 \times 10^3) \left( \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \frac{\text{V}}{\text{m}} \right)$$

$$\sigma_i = 2.21 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \left( \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \frac{\text{V}}{\text{m}} \right)$$

5.22 un condensador de 100  $\mu\text{f}$ . se carga comunicándole una diferencia de potencial, de 50 volts, con una batería la cual se desconecta instantes después, si el condensador se conecta como se muestra en la figura a un segundo condensador y la diferencia de potencial se reduce a 35 volts, calcule la capacitancia de este segundo condensador.

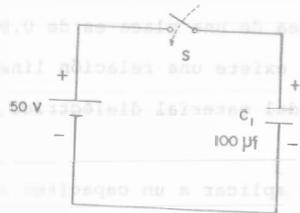


FIG. 5.22 (a)



FIG. 5.22 (b)

Resultado  $C_2 = 42 \text{ pf}$

5.23 para almacenar energía eléctrica se usa una batería de 2000 condensadores de 5.0  $\mu\text{f}$  conectados en paralelo.

¿Cuánto cuesta cargar esta batería hasta 50,000 volts suponiendo que la tarifa de energía eléctrica es de 2  $\$/\text{KW} - \text{hora}$

5.24 Si las placas planas paralelas de un capacitor están separadas una distancia de 0.2 mm y tiene un área de 0.08  $\text{m}^2$  determine:

- La capacitancia
- La intensidad de campo eléctrico
- La carga en cada placa si se aplican a las placas 200 V y el dieléctrico es aire.
- Energía total almacenada

SOLUCION:

a) La capacitancia la podemos calcular con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

$$C = \frac{(8.85 \times 10^{-12})(0.08)}{.2 \times 10^{-3}} \quad \left( \frac{\text{C}^2 \text{m}^2}{\text{N} - \text{m}^2 \text{m}} \right) = \left( \frac{\text{C}^2}{\text{N} - \text{m}} \right) = \frac{\text{C}}{\text{V}}$$

$$C = 3.54 \times 10^{-9} \text{ farad}$$

$$C = 3.54 \text{ nf}$$

b) La intensidad de campo eléctrico es:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{200}{2 \times 10^{-3}} = 100 \times 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$= 100 \times 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

c) Como las cargas en las placas son iguales pero de signo contrario, - basta con que calculemos una de ellas.

$$Q = CV = (3.54 \times 10^{-9})(200) = 708 \times 10^{-9} \text{C}$$

d) Energía total almacenada

$$U = 1/2 C V^2$$

$$U = 1/2 (3.54 \times 10^{-9}) (200)^2 (\text{f}) (\text{V}^2)$$

$$U = 7.08 \times 10^{-5} \text{ Joules}$$

5.25 para el siguiente circuito determine:

- Capacitor equivalente
- Carga en cada capacitor
- Carga total
- Energía total almacenada

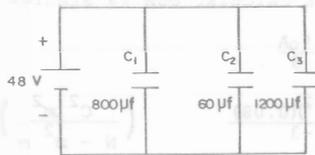
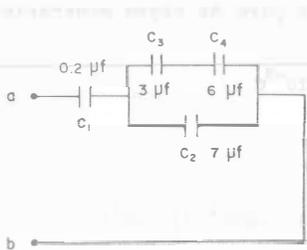


FIGURA 5.25

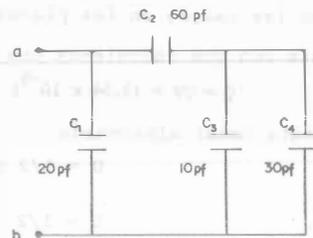
5.26 Encuentra la capacitancia total entre los puntos (a) y -

(b) de las siguientes figuras:



(a)

FIGURA 5.26



(b)

FIGURA 5.26

5.27 Dos capacitores, uno de  $1.0 \mu\text{F}$  y el otro de  $2.0 \mu\text{F}$ , se cargan inicialmente conectándolos a una batería de  $10 \text{ V}$ . A continuación, se conectan juntos los dos capacitores. ¿Cuál es la energía eléctrica total almacenada en cada capacitor, si los capacitores se conectan de tal modo que: a) se unen las dos placas positivas, b) se unen las placas de cargas opuestas? c) Explique y cuantifique la energía que se pierde en el punto a)

5.28 Calcúlese la máxima tensión que se puede aplicar a un capacitor de placas planas paralelas de  $0.006 \mu\text{f}$ . El área de una placa es de  $0.02 \text{ m}^2$  y el dieléctrico es mica. Supóngase que existe una relación lineal entre la rigidez dieléctrica y el espesor del material dieléctrico.

5.29 Determinése la tensión máxima que se puede aplicar a un capacitor de  $0.2 \mu\text{f}$  con un área de sus placas de  $0.3 \text{ m}^2$ . El material dieléctrico es porcelana. Supóngase que existe una relación lineal entre la rigidez dieléctrica y el espesor del material aislante.

CAPITULO VI  
CIRCUITOS ELECTRICOS

61 Cuando pasa una corriente de un electrodo a otro, a través de una solución de nitrato de plata, los iones plata se depositan como átomos. Sobre el electrodo negativo. Si la corriente es de 0.20A. ¿Cuánta plata se depositará en 10 min? Supóngase que la corriente se lleva a cabo a través de la solución por medio de los iones plata.

La carga en un ion plata es "e" y su masa es  $18 \times 10^{-23}$  g.

SOLUCION:

Sabiendo que la plata es univalente podemos decir que cada átomo de plata contribuye con un electrón. El número de electrones por unidad de volumen lo podemos calcular con

$$\eta = \frac{d N_o}{M} \quad \text{en donde} \quad \begin{array}{l} d = \text{densidad} \\ N_o = \text{número de avogadro} \\ M = \text{peso atómico} \end{array}$$

$$\eta = \frac{(10.5) (6 \times 10^{23})}{108} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \frac{\text{átomos}}{\text{mol}} \frac{1 \text{ electrón}}{\text{átomo}}$$

$$\eta = 5.83 \times 10^{22} \text{ por cm}^3$$

la carga eléctrica que circula en 10 minutos es:

$$Q = It$$

$$Q = (0.2) (600) = 120 \text{ coul}$$

por otro lado también sabemos que:

$$Q = \eta e l A \quad \text{ó} \quad Q = \eta e V$$

y

$$V = \frac{m}{\rho}$$



de donde finalmente

$$Q = \eta e \frac{m}{\rho}$$

y

$$m = \frac{Q\rho}{\eta e} = \frac{(120)(10.5)}{(5.83 \times 10^{22})(1.69 \times 10^{-19})} \frac{\text{coul}}{\text{cm}^3} \frac{\text{g/cm}^3}{\text{coul}}$$

$$m = 127.88 \times 10^{-3} \text{ g}$$

- 5.2 Cuando se conecta una lámpara de 60 watts a una fuente de potencia de 120V, fluye por ella una corriente de 0.50A. ¿Cuánta carga pasa por la lámpara en una hora? ¿Cuántos electrones pasan por ella durante este tiempo?

SOLUCION:

La carga que pasa por la lámpara en una hora se puede calcular con:

$$Q = It = (0.50)(3600) \text{ (A) (Seg)}$$

$$Q = 1800 \text{ coul}$$

Para obtener el número de electrones que pasan por ella durante una hora tenemos que conocer cuántos electrones existen en 1 coul.

$$1 \text{ electrón} = 1.69 \times 10^{-19} \text{ coul}$$

y

$$1 \text{ coul} = \frac{1}{1.69 \times 10^{-19}} \text{ electrones}$$

por lo tanto

$$1800 \text{ coul} = 1065 \times 10^{19} \text{ electrones}$$

y el número de electrones es igual a  $1065 \times 10^{19}$  electrones

PROBLEMA 6.3 Cuando una batería de 1.5 V para una lámpara de mano envía una corriente de 0.20 A a través de la lámpara. ¿Cuántos electrones por segundo fluyen a través de ésta?

- 6.4 ¿Se fundirá un fusible de una capacidad de un ampere si pasan por él 76 Coulombs en 1.2 min?
- 6.5 ¿Cuál es la resistencia de una barra de cobre utilizada en el tablero de distribución de energía eléctrica de un edificio de oficinas, con las dimensiones indicadas en la figura.

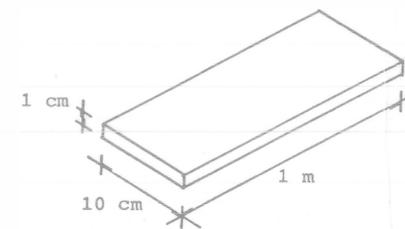


FIGURA 6.5

SOLUCION:

Para determinar la resistencia de la barra de cobre, es necesario que conozcamos el área de sección transversal de la misma

$$\text{Area} = (.10)(.01) = .001 \text{ m}^2$$

la resistencia será:

$$R = \rho \frac{1}{A}$$

$$R = (1.7 \times 10^{-8}) \left( \frac{1}{.001} \right) \Omega \cdot \frac{\mu}{\mu^2}$$

$$R = 1.7 \times 10^{-5} \Omega$$

6.6 Se aplica la misma diferencia de potencial a un alambre de cobre y a un alambre de hierro de la misma longitud.

¿Cuál debe ser la relación de sus radios para que por los 2 alambres pase la misma corriente?

Resultado  $r_c = 0.41 r_H$

6.7 ¿Cuál es la longitud de un alambre de cobre con un diámetro de 1/32 de pulgada y una resistencia de 2.5 ohm ( $T = 20^\circ\text{C}$ )?

PROBLEMA 6.8 Un trozo particular de alambre tiene 10 m. de largo y un diámetro de 0.20 cm. Cuando sus dos extremos se conectan a las dos terminales de una batería de 1.5 V, fluye a través del alambre una corriente de 0.70 A. Encuentre la resistencia del alambre y la resistividad del material de que está hecho.

PROBLEMA 6.9 Una compañía eléctrica emplea dos rollos de 50 m. Cada uno de alambre de cobre para enganchar desde el tendido general, el local de un abonado. La resistencia eléctrica del hilo es de 0.3Ω, por cada 1000m. Calcular la caída de tensión en la línea estimando en 120 A de C.C. la intensidad de carga.

6.10 En un tubo cilíndrico de radio  $r = 2$  cm, se enrolla un alambre de nichromel ( $\rho_{20^\circ} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ) con el objeto de construir un potenciómetro.

- Si se requiere una resistencia de 0.16 Ω por vuelta, ¿Cuál debe ser el área de sección transversal del alambre?
- Cuántas vueltas se debe enrollar para tener una resistencia total de 8 Ω entre A y B.
- Considerando las vueltas muy juntas, ¿A qué distancia de A se debe situar el contacto deslizable "c" para que la resistencia entre estos dos puntos sea de 3.2 Ω.

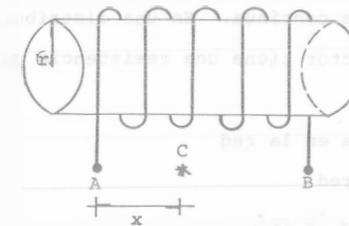


FIGURA 6.10

Resultado

- $A = 78.53 \times 10^{-8} \text{ m}^2$
- $N = \frac{8}{0.16} = 50$  vueltas
- $N = \frac{3.2}{0.16} = 20$  vueltas

$$X = 2.0 \text{ cm}$$

6.11 El alambre de cobre del número 10 puede llevar una corriente máxima de 30A, antes de sobrecalentarse. Su diámetro es 0.26 cm. Halle la resistencia de un metro de longitud del alambre. ¿Qué caída de voltaje ocurre a lo largo de él, por metro, cuando lleva una corriente de 30A.

6.12 Por dos líneas de transmisión de energía se envía la misma potencia desde una estación a una distancia dada, una de las líneas es de 1 KV y la otra de 20 KV. Determinar la relación de las áreas de las secciones rectas de ambas líneas, sabiendo que las pérdidas caloríficas son idénticas.

6.15 Un tostador eléctrico opera en una línea de 110 V, si toma 6 A. halle la resistencia del elemento calefactor y la energía consumida durante un lapso de 30 segundos, durante el cual está en operación. A razón de 3 \$ el kilowatt-hora.

6.16 Una lámpara de 300 Watts opera en una línea de 220 V, y se sumerge en 8 kg de agua a 27°C. Determine la corriente que fluye a través de la lámpara. ¿Cuál es la temperatura del agua después de 6 minutos?

6.13 Una estación generadora de energía eléctrica suministra una potencia de 10 KW a 250V de corriente continua. En una distribución bifilar de 200 m. de longitud; el conductor tiene una resistencia de 0.259Ω por cada - 400 m. Hallar:

6.17 Para determinar el equivalente mecánico del calor, un estudiante envía una corriente de 0.75 A, a través de un calentador sumergido en un calorímetro. La diferencia de potencial a través del calentador es de 12 V. El estudiante deja que la corriente fluya durante 4 minutos y el contenido del calorímetro experimenta una elevación en la temperatura de 2.73°C. El estudiante sabe que el calorímetro y el contenido son equivalentes en capacidad calorífica a 187 g. de agua. A partir de estos datos ¿Cuántos Joules son equivalentes a una caloría?

- a) La pérdida de potencia en la red
- b) El rendimiento de la red
- c) La tensión al final de la red

Resultado

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad P &= (0.259) (1600) = 414.4 \text{ Watts} \\ \text{b)} \quad V &= \frac{P_{\text{salida}}}{I} = \frac{9585.6}{40} = 239.64 \text{ V} \\ \text{c)} \quad \eta &= \frac{9585.6}{10,000} = 95.85\% \end{aligned}$$

6.18 Un calentador de inmersión de 500 watts de potencia se coloca en una cacerola que contiene dos litros de agua a 20°C.

¿Cuánto tiempo se requerirá para llevar el agua a temperatura de ebullición suponiendo que el 80% de la energía disponible es absorbida por el agua? ¿Cuánto tiempo más se requerirá para que se evapore por ebullición la mitad del agua?

6.14 Si se desea calentar una taza de café (200 cm<sup>3</sup>) con un calentador de inmersión, desde 20°C hasta 90°C en 0.5 min. ¿Cuántas calorías se necesitan? ¿Cuánta potencia se requiere? ¿Cuánta corriente consumiría el calentador a 120V?

6.19 a) Si una casa recibe un servicio eléctrico de 120 volts y 100 Amperes, determinese la máxima capacidad de potencia.

b) ¿Puede aplicar con seguridad el propietario de la casa las cargas siguientes al mismo tiempo?

Un motor de 5 Hp

Una secadora de ropa de 3000 watts

Una estufa eléctrica de 2400 watts

Una plancha de vapor de 1000 watts

SOLUCION:

a) La potencia máxima será:

$$P = VI = (120)(100) = 12,000 \text{ Watts}$$

b) Para determinar si esa potencia puede alimentar los aparatos mencionados anteriormente, nos auxiliaremos del diagrama mostrado en la siguiente figura:

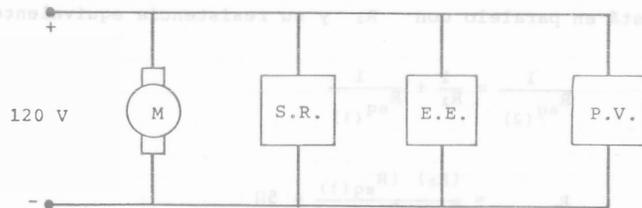


FIG. 6.19

la potencia total que consumen los aparatos es:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{motor}} + P_{\text{secadora}} + P_{\text{estufa}} + P_{\text{plancha}}$$

$$P_{\text{total}} = 5(746) + 3000 + 2400 + 1000$$

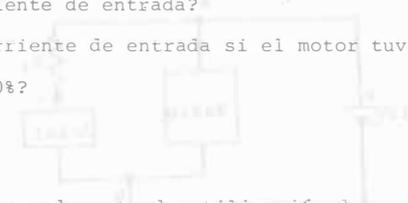
$$P_{\text{total}} = 10,130 \text{ Watts}$$

de donde se observa que  $P_{\text{máxima}} > P_{\text{consumida}}$  por los aparatos por lo tanto si pueden funcionar los aparatos al mismo tiempo.

6.20 a) Un motor esta previsto para suministrar 2Hp. Si funciona a 110 V y tiene una eficiencia del 90% ¿Cuántos watts tomará de la línea de alimentación?

b) ¿Cuál es la corriente de entrada?

c) ¿Cuál será la corriente de entrada si el motor tuviera una eficiencia de sólo el 70%?



PROBLEMA 6.21 ¿Cuál es el costo de utilización de

- Un acondicionador de aire de 2000 watts en 24 horas.
- Una secadora de ropa de 8000 watts durante 30 minutos.
- Una lavadora de 400 watts en una hora.
- Una máquina lavaplatos de 1400 watts durante 45 minutos. (Investigue el costo actual del Kilowatt hora)

PROBLEMA 6.22 Un motor eléctrico tiene una eficiencia del 90%. Si la tensión de entrada es de 220 V. ¿Cuál será la corriente de entrada cuando el motor suministre 4 HP?

6.23 ¿Cuál es el costo de utilización de:

- Un equipo estereofónico de alta fidelidad de 200 watts durante 4 horas.
- Un proyector de 1200 Watts durante 3 horas.
- Una grabadora de cinta de 60 watts durante 2 horas.

6.24 Se tiene una batería de 12 volts a la cual se desea conectar un radio - que opera a 9 volts 300 MA y un reloj electrónico que opera a 6 volts - 100 MA para conectar los aparatos sin dañarlos, fue necesario conectarlos por medio de 2 resistencias tal como lo ilustra la figura.

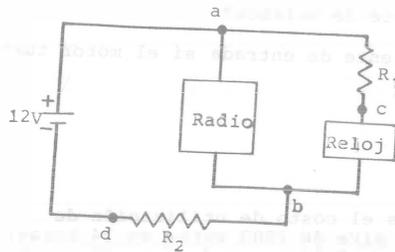


FIGURA 6.24

- Encuentre el valor de las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  para que los aparatos funcionen en su punto de operación.
- ¿Cuál es la potencia que debe poder disipar cada resistencia sin quemarse?
- ¿Qué porcentaje del total de energía que entrega la fuente es utilizada por los aparatos?

Resultado

a)  $R_1 = 30 \Omega$ ,  $R_2 = 7.5 \Omega$

b)  $p = 1.5 W$

c)  $P_u = 68.75 \%$

6.25 En el circuito de la siguiente figura determine la resistencia equivalente y calcule la corriente I.

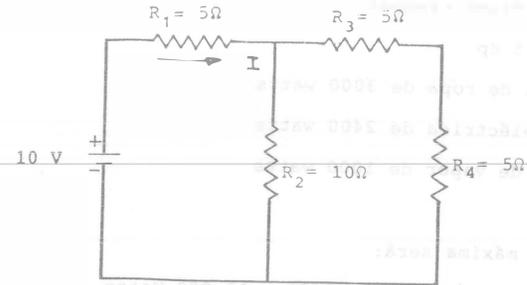


FIGURA 6.25

SOLUCION:

$R_3$  y  $R_4$  están en serie por lo que su resistencia equivalente será:

$$R_{eq(1)} = R_3 + R_4 = 10 \Omega$$

$R_{eq(1)}$  está en paralelo con  $R_2$  y su resistencia equivalente es:

$$\frac{1}{R_{eq(2)}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{eq(1)}}$$

de donde

$$R_{eq(2)} = \frac{(R_2)(R_{eq(1)})}{R_2 + R_{eq(1)}} = 5 \Omega$$

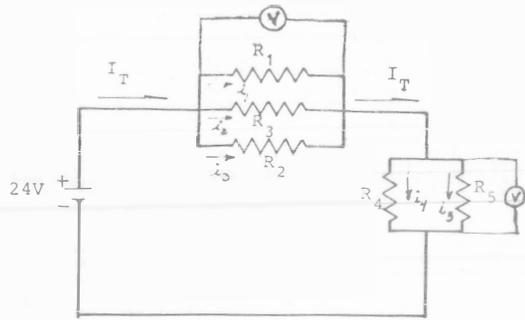
finalmente  $R_{eq(2)}$  está en serie con  $R_1$  y

$$R_{eq(3)} = R_{eq(2)} + R_1 = 10 \Omega$$

y la corriente I será

$$I = \frac{10}{10} = 1 A$$

5.26 Encuentre las corrientes y tensiones indicadas en el circuito de la siguiente figura



- $R_1 = 6 \Omega$
- $R_2 = 6 \Omega$
- $R_3 = 2 \Omega$
- $R_4 = 8 \Omega$
- $R_5 = 12 \Omega$

FIGURA 6.26

6.27 Determine la resistencia equivalente entre los puntos (A) y (B) de la siguiente figura:

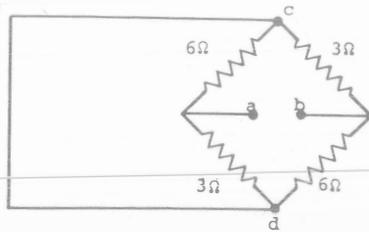
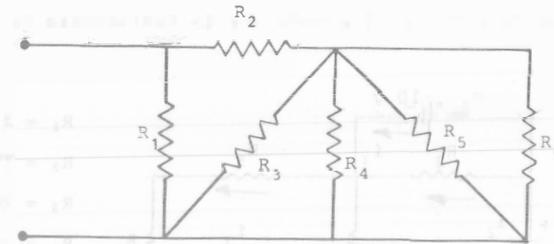


FIGURA 6.27

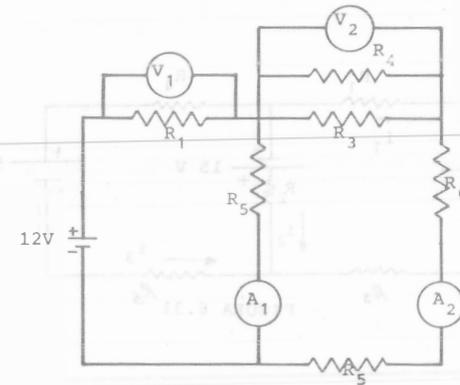
6.28 Determine la resistencia equivalente entre los puntos (a) y (b) del siguiente circuito.



- $R_1 = 1 \Omega$
- $R_2 = 1.25 \Omega$
- $R_3 = 1.5 \Omega$
- $R_4 = 3 \Omega$
- $R_5 = 6 \Omega$
- $R_6 = 6 \Omega$

FIGURA 6.28

5.29 Determine las lecturas de los amperímetros y de los voltímetros en el siguiente circuito



- $R_3 = 10 \Omega$
- $R_4 = 10 \Omega$
- $R_5 = 2.5 \Omega$
- $R_6 = 2.5 \Omega$
- $R_2 = 10 \Omega$
- $R_1 = 20 \Omega$

FIGURA 6.29

6.30 Dada la red mostrada en la figura

- Determine las corrientes  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$ .
- Determine la potencia entregada por las fuentes.
- Determine la potencia disipada por la resistencia  $R_3$ .

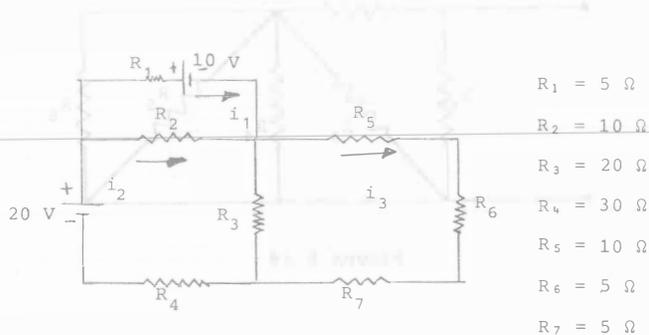


FIGURA 6.30

6.31 Para el circuito siguiente calcule:

- Las corrientes  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$ .
- La potencia total disipada por efecto Joule.

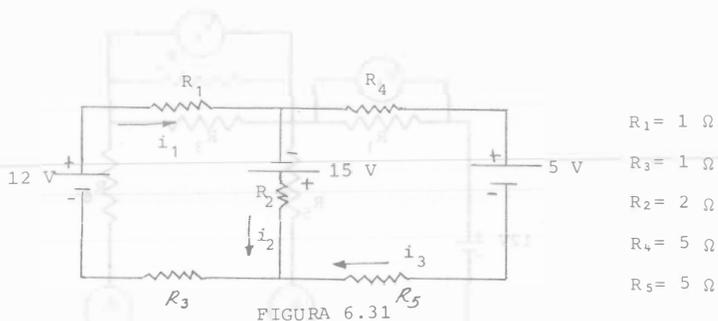


FIGURA 6.31

7.1 ¿Cuál es la fuerza que actúa sobre dos imanes de 1000 microwebers? tienen 15 centímetros de largo y están separados 20 cm.

7.2 La fuerza ejercida sobre cada polo de un imán, de  $1.5 \text{ A} \cdot \text{m}^2$  de momento magnético situado perpendicularmente en un campo de inducción  $0.16 \text{ T}$  ó  $\text{Wb/m}^2$ , es de  $0.8 \text{ N}$ . Calcular la longitud o separación de los polos de dicho imán

7.3 Para el electroimán de la figura 7.1

- Determine la densidad de flujo en el núcleo
- Bosqueje las líneas de flujo magnético e indique su dirección.
- Indique los polos norte y sur del imán.

$$\phi = 4 \times 10^{-4} \text{ W}$$

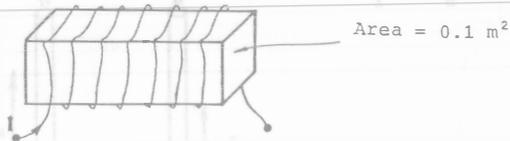


FIGURA 7.1

a) La densidad de flujo en el núcleo se puede calcular con

$$\phi = BA$$

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{4 \times 10^{-4} \text{ Webers}}{0.1 \text{ m}^2}$$

$$B = 40 \times 10^{-4} \frac{\text{Webers}}{\text{m}^2}$$

b) Aplicando la regla de la mano derecha podemos obtener la dirección del flujo magnético.

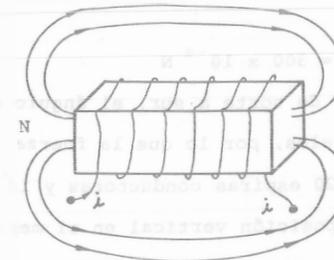
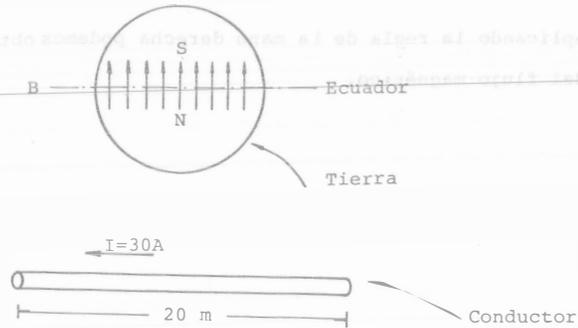


FIGURA 7.2

c) El polo norte y sur están indicados en la figura anterior.

7.4 En el ecuador el campo magnético de la tierra es casi horizontal y se dirige del hemisferio sur al norte. Su magnitud es de aproximadamente 0.50 G. Encuentre la fuerza (dirección y magnitud) ejercida sobre un alambre paralelo a la tierra de 20 m que lleva una corriente de 30 A. Con dirección este-oeste. Repítase lo anterior si va de norte a sur.



Respuesta  $F = 300 \times 10^{-4} \text{ N}$

para cuando el conductor va de norte a sur, el ángulo entre  $\vec{B}$  y  $\vec{I}$  es cero debido a que son paralelos, por lo que la fuerza también es cero.

7.5 Una bobina circular de 20 espiras conductoras y 10 cm de radio se coloca con su plano en posición vertical en el meridiano magnético, en un lugar en que la componente horizontal de la inducción del campo magnético terrestre es de  $2 \times 10^{-5} \text{ T}$ . ¿Qué intensidad de corriente debe circular por ella si una brújula en el centro de la misma sufre una desviación de  $45^\circ$ ?

Respuesta  $I = 0.159 \text{ A}$

7.6 Un ion con carga  $+3e$  se proyecta a un campo magnético uniforme de  $1.5 \text{ Wb/m}^2$ . Viaja a  $10^7 \text{ m/s}$ . formando un ángulo de  $45^\circ$  con la dirección del campo. Calcule la magnitud y dirección de la fuerza sobre el ion.

Respuesta  $F = 50.91 \times 10^{-13}$

7.7 Dos alambres rectos paralelos muy largos, separados a una distancia  $d$ , llevan una corriente  $I$  en sentido contrario, como se muestra en la figura. Obtenga la magnitud y dirección del campo magnético en el punto "p"



FIGURA 7.4

7.8 Dos conductores rectilíneos, paralelos y de gran longitud, distan 4 cm. y transportan una corriente de 2y 6A de intensidad respectivamente en el mismo sentido. Hallar la fuerza ejercida entre ambos por unidad de longitud de conductor.

SOLUCION:

La inducción en b debida a la corriente de 2A es:

$$B_b = \frac{k 2 I_A}{r}$$

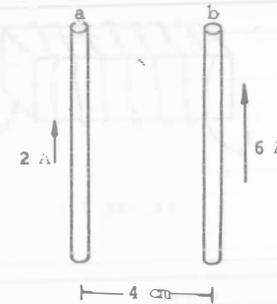


FIGURA 7.5

$$F = B_b I_b \ell$$

$$F = \left( \frac{k}{r} \right) (I_b) \ell$$

$$F = 2 \times 10^{-7} \left( \frac{2}{.04} \right) (6) (\ell) \left( \frac{\text{wb}}{\text{A} \cdot \text{m}} \frac{\text{A}}{\text{m}} \text{ A m} \right)$$

$$\frac{F}{\ell} = 600 \times 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{m}} \text{ y es de atracción}$$

7.9 Dos alambres rectos, largos y paralelos están separados por una distancia de 50 cm, y cada uno lleva una corriente de 10 A en la misma dirección. Encuentre el valor de B a la mitad de la distancia entre los dos alambres. Repita lo anterior considerando que las direcciones de las corrientes son opuestas.

7.10 Una bobina rectangular de 25 espiras se suspende en un campo magnético de inducción 0.2 T o wb/m. El plano de la bobina es paralelo a la dirección del campo. Las dimensiones del cuadro son 15 cm según la perpendicular y 12 cm. según el campo. Hallar la intensidad de corriente que debe circular por la bobina si el momento del par de fuerzas que se ejerce sobre ella vale 5.4 N - m.

Respuesta  $i = 60 \text{ A}$

7.11 Se coloca una bobina rectangular de 18 cm, por 36 cm en un campo de inducción magnética constante de  $0.24 \frac{\text{wb}}{\text{m}^2}$ . El vector  $\vec{B}$  forma un ángulo de  $53^\circ$  con el plano de la bobina. Halle el flujo magnético que atraviesa la bobina.

7.12 Una bobina rectangular de 6 por 12 cm. contiene 500 vueltas de alambre y lleva una corriente de  $10^{-6} \text{ A}$ . Calcule el máximo momento de rotación sobre la bobina en un campo magnético uniforme de  $0.2 \text{ Wb/m}^2$ .

7.13 Una bobina toroidal arrollada uniformemente tiene 1000 vueltas de alambre. El radio interior es de 1.5 cm y el radio exterior de 20 cm. Determine el valor del campo magnético en el centro de la bobina cuando la corriente en el devanado es de 10A.

SOLUCION:

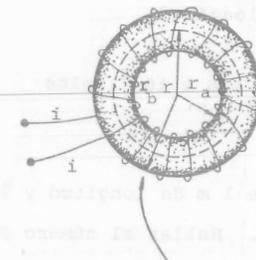


FIGURA 7.6

Para un toroide conocemos que:

$$B = \frac{\mu_0 Ni}{2\pi r}$$

en donde  $r$  en este caso es la distancia del centro del toroide a la línea de inducción magnética que pasa por el centro de este

$$r = r_a + 9.25$$

por lo tanto

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} (1000) (10)}{2\pi (10.75) \times 10^{-2}} = \frac{.01256}{0.675} \left( \frac{T \cdot m}{A \cdot m} \right)$$

$$B = 0.0186 \frac{wb}{m^2}$$

- 7.17 Una barra de cobre de 20 cm, de longitud es perpendicular a un campo magnético uniforme de  $0.5 \frac{Wb}{m^2}$ . Como resultado de su movimiento perpendicular a su longitud, existe una fem de 0.10 V entre sus extremos. Determine la velocidad con la que se mueve la barra a través del campo.

APUNTE  
71

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.



612851

G.- 612851

- 7.14 Un solenoide toroidal tienen 1000 espiras de hilo de cobre y el diámetro medio de su núcleo de aire es de 20 cm. Determine la intensidad de corriente que debe circular por él para que origine una inducción magnética de  $2.6 \times 10^{-4} T$ .  $6 \frac{Wb}{m^2}$  en su núcleo.

- 7.15 Un tren se mueve hacia al sur con una velocidad de 10 m/s, sabiendo que la componente vertical de la inducción del campo magnético de la tierra es de  $5.4 \times 10^{-5} T$ , hallar la fem inducida en el eje de un vagón de 1.2 m de longitud.

Respuesta  $\epsilon = 6.5 \times 10^{-4}$  volts

- 7.16 Una bobina (primario), de 1 m de longitud y 2 cm de diámetro, está formada por 2000 espiras. Hallar el número de espiras que debe tener otra bobina (secundario) que rodee al primero para que la fem inducida en ella sea de 2 V cuando en ésta se produzca una variación de corriente de 0 a 10A en 0.01 segundos.