



# *Física*

# *General*

## *II A*

---

---

## Electricidad

y

## Magnetismo



## Guía de Ejercicios y Problemas

Problemas seleccionados del texto guía: Young, Freedman, Sears, & Zemansky (2009).  
“FÍSICA UNIVERSITARIA”. Volumen 2 - (12ª Edición). Ed. Pearson Education.

Instituto de Ciencias Básicas - Universidad Nacional de Cuyo



## PRÁCTICA 1

### Carga eléctrica y campo eléctrico.

**P21.1.** Si usted desprende dos tiras de cinta adhesiva transparente del mismo carrete y de inmediato las deja colgando una cerca de la otra, se repelerán mutuamente. Si luego pega el lado con adhesivo de una con el lado brillante de la otra y las separa, se atraerán entre sí. Dé una explicación convincente donde intervenga la transferencia de electrones entre las tiras de cinta en esta secuencia de eventos.

**P21.2.** Dos esferas de metal cuelgan de cordones de nailon, y cuando se les acerca una a la otra tienden a atraerse. Con base en esta sola información, analice todas las maneras posibles en que las esferas pudieran estar cargadas. ¿Sería posible que después de que las esferas se toquen quedaran pegadas? Explique su respuesta.

**P21.3.** La fuerza eléctrica entre dos partículas cargadas se hace más débil a medida que aumenta la distancia. Suponga que la fuerza eléctrica fuera *independiente* de la distancia. En este caso, ¿un peine cargado haría que un aislante neutro se polarizara, como en la figura 21.8? ¿Por qué? ¿El aislante neutro sería atraído por el peine? Otra vez, ¿por qué?

**P21.5.** Una esfera de metal sin carga cuelga de un cordón de nailon. Cuando se le acerca una varilla de vidrio con carga positiva, la esfera es atraída hacia la varilla. Pero si la esfera toca la varilla, de pronto se aleja de la varilla. Explique por qué la esfera primero es atraída y luego repelida.

**P21.7.** Algunos de los electrones en un buen conductor (como el cobre) se mueven a rapidez de  $10^6$  m/s o más rápido. ¿Por qué no escapan volando del conductor?

**P21.16.** Se coloca un protón en un campo eléctrico uniforme y luego se libera. Después se sitúa un electrón en el mismo punto y también se libera. ¿Experimentan las dos partículas la misma fuerza? ¿La misma aceleración? ¿Se mueven en la misma dirección cuando se liberan?

**21.2.** Los relámpagos ocurren cuando hay un flujo de carga eléctrica (sobre todo electrones) entre el suelo y los cumulonimbos (nubes de tormenta). La tasa máxima de flujo de carga en un relámpago es de alrededor de 20,000 C/s; esto dura 100  $\mu$ s o menos. ¿Cuánta carga fluye entre el suelo y la nube en este tiempo? ¿Cuántos electrones fluyen en dicho periodo?

**21.7.** Se dan cargas eléctricas positivas a dos esferas pequeñas de plástico. Cuando están separadas una distancia de 15.0 cm, la fuerza de repulsión entre ellas tiene una magnitud de 0.220 N. ¿Cuál es la carga en cada esfera, si a) las dos cargas son iguales, y b) si una esfera tiene cuatro veces la carga de la otra?

**21.17.** Tres cargas puntuales están alineadas a lo largo del eje  $x$ . La carga  $q_1 = +3.00 \mu\text{C}$  está en el origen, y la carga  $q_2 = -5.00 \mu\text{C}$  se encuentra en  $x = 0.200$  m. La carga  $q_3 = -8.00 \mu\text{C}$ . ¿Dónde está situada  $q_3$  si la fuerza neta sobre  $q_1$  es de 7.00 N en la dirección negativa del eje  $x$ ?

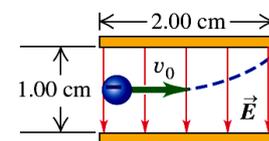
**21.21.** Una carga puntual positiva  $q$  está situada sobre la parte positiva del eje  $y$  y en  $y = a$ , y una carga puntual negativa  $-q$  está en la parte negativa del eje  $y$  y en  $y = -a$ . Se coloca una carga puntual negativa  $-Q$  en cierto punto sobre la parte positiva del eje  $x$ . a) En un diagrama de cuerpo libre, indique las fuerzas que actúan sobre la carga  $-Q$ . b) Encuentre las componentes  $x$  y  $y$  de la fuerza neta que ejercen las dos cargas  $q$  y  $-q$  sobre  $-Q$ . (Su respuesta sólo debería incluir  $k$ ,  $q$ ,  $Q$ ,  $a$  y la coordenada  $x$  de la tercera carga.) c) ¿Cuál es la fuerza neta sobre la carga  $-Q$  cuando está en el origen ( $x = 0$ )? d) Haga la gráfica de la componente  $y$  de la fuerza neta sobre la carga  $-Q$ , en función de  $x$  para los valores de  $x$  entre  $-4a$  y  $+4a$ .

**21.27.** Un protón se mueve en forma horizontal hacia la derecha a  $4.50 \times 10^6$  m/s. a) Encuentre la magnitud y la dirección del campo eléctrico más débil que lleve al protón uniformemente al reposo en una distancia de 3.20 cm. b) ¿Cuánto tiempo le llevaría al protón detenerse una vez que entrara al campo eléctrico? c) ¿Cuál es el campo mínimo (magnitud y dirección) que sería necesario para detener un electrón en las condiciones del inciso a)?

**21.30.** a) ¿Cuál es el campo eléctrico de un núcleo de hierro a una distancia de  $6.00 \times 10^{-10}$  m de su núcleo? El número atómico del hierro es 26. Suponga que el núcleo puede tratarse como carga puntual. b) ¿Cuál es el campo eléctrico de un protón a una distancia de  $5.29 \times 10^{-11}$  m del protón? (Éste es el radio de la órbita del electrón en el modelo de Bohr para el estado fundamental del átomo de hidrógeno.)

**21.33.** Se lanza un electrón con rapidez inicial  $v_0 = 1.60 \times 10^6$  m/s hacia el interior de un campo uniforme entre las placas paralelas de la figura 21.38. Suponga que el campo entre las placas es uniforme y está dirigido verticalmente hacia abajo, y que el campo fuera de las placas es igual a cero. El electrón ingresa al campo en un punto equidistante de las dos placas. a) Si el electrón apenas libra la placa superior al salir del campo, encuentre la magnitud del campo eléctrico. b) Suponga que en la figura 21.38 el electrón es sustituido por un protón con la misma rapidez inicial  $v_0$ . ¿Golpearía el protón alguna de las placas? Si el protón no golpea ninguna de las placas, ¿cuáles serían la magnitud y la dirección de su desplazamiento vertical, a medida que sale de la región entre las placas? c) Compare las trayectorias que recorren el electrón y el protón, y explique las diferencias. d) Analice si es razonable ignorar los efectos de la gravedad en cada partícula.

**Figura 21.38**  
Ejercicio 21.33.



**21.34.** La carga puntual  $q_1 = -5.00$  nC se encuentra en el origen y la carga puntual  $q_2 = +3.00$  nC está sobre el eje  $x$  en  $x = 3.00$  cm. El punto  $P$  se halla sobre el eje  $y$  en  $y = 4.00$  cm. a) Calcule los campos eléctricos  $\vec{E}_1$  y  $\vec{E}_2$  en el punto  $P$  debido a las cargas  $q_1$  y  $q_2$ . Expresé los resultados en términos de vectores unitarios (véase el ejemplo 21.6). b) Utilice los resultados del inciso a) para obtener el campo resultante en  $P$ , expresado con notación de vectores unitarios.

**21.44.** Dos partículas con cargas  $q_1 = 0.500$  nC y  $q_2 = 8.00$  nC están separadas por una distancia de 1.20 m. ¿En qué punto de la línea que conecta las dos cargas, el campo eléctrico total producido por ambas cargas es igual a cero?

**21.46.** Repita el ejercicio 21.44, pero ahora con  $q_1 = -4.00$  nC.

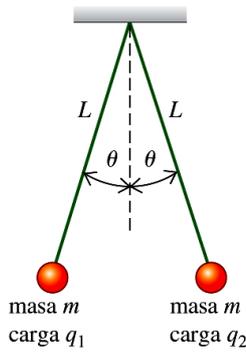
**21.49.** En un sistema de coordenadas rectangulares, se coloca una carga puntual positiva  $q = 6.00 \times 10^{-9}$  en el punto  $x = +0.150$  m,  $y = 0$  y otra carga puntual idéntica se sitúa en  $x = -0.150$  m,  $y = 0$ . Encuentre las componentes  $x$  y  $y$ , la magnitud y la dirección del campo eléctrico en los siguientes puntos: a) el origen; b)  $x = 0.300$  m,  $y = 0$ ; c)  $x = 0.150$  m,  $y = -0.400$  m; d)  $x = 0$ ,  $y = 0.200$  m.

**21.63.** Las cargas puntuales  $q_1 = -4.5$  nC y  $q_2 = +4.5$  nC están separadas 3.1 mm, y forman un dipolo eléctrico. a) Calcule el momento dipolar eléctrico (magnitud y dirección). b) Las cargas están en un campo eléctrico uniforme, cuya dirección forma un ángulo de  $36.9^\circ$  con la línea que une las cargas. ¿Cuál es la magnitud de este campo si el par de torsión que ejerce sobre el dipolo tiene una magnitud de  $7.2 \times 10^{-9}$  N  $\cdot$  m?

**21.68.** Considere el dipolo eléctrico del ejemplo 21.15. a) Obtenga una expresión para la magnitud del campo eléctrico producido por el dipolo en un punto localizado en el eje  $x$  de la figura 21.34. ¿Cuál es la dirección de este campo eléctrico? b) ¿Cómo el campo eléctrico, en puntos que están sobre el eje  $x$ , depende de  $x$  cuando  $x$  es muy grande?

**21.76.** Dos esferas idénticas están atadas a cordones sintéticos de longitud  $L = 0.500$  m y cuelgan de un punto común (figura 21.44). Cada esfera tiene masa  $m = 8.00$  g. El radio de cada esfera es muy pequeño en comparación con la distancia entre ambas, por lo que pueden considerarse cargas puntuales. Se da carga positiva  $q_1$  a una esfera, y a la otra carga positiva diferente  $q_2$ ; esto hace que las esferas se separen, de manera que cuando están en equilibrio cada cordón forma un ángulo  $\theta = 20.0^\circ$  con la vertical. a) Dibuje un diagrama de cuerpo libre para cada esfera cuando están en equilibrio, e indique

**Figura 21.44** Problemas 21.74, 21.75 y 21.76.

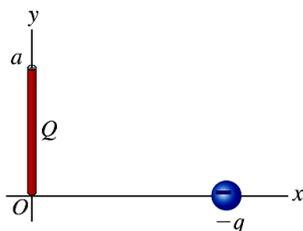


todas las fuerzas que actúan sobre cada esfera. *b)* Determine la magnitud de la fuerza electrostática que actúa sobre cada esfera, y determine la tensión en cada cordón. *c)* Con base en la información proporcionada, ¿qué puede decirse sobre las magnitudes de  $q_1$  y  $q_2$ ? Explique sus respuestas. *d)* Ahora se conecta un alambre pequeño entre las esferas, lo cual permite que se transfiera carga de una a otra, hasta que ambas esferas tengan la misma carga; entonces se quita el conductor. Ahora, cada cuerda forma un ángulo de  $30.0^\circ$  con la vertical. Determine las cargas originales. (*Sugerencia:* se conserva la carga total sobre el par de esferas.)

**21.80.** Se colocan tres cargas puntuales sobre el eje  $y$ : una carga  $q$  en  $y = a$ , una carga  $-2q$  en el origen, y una carga  $q$  en  $y = -a$ . Este arreglo se denomina cuadrupolo eléctrico. *a)* Calcule la magnitud y la dirección del campo eléctrico en los puntos sobre la parte positiva del eje  $x$ . *b)* Use la expansión binomial para encontrar una expresión aproximada para el campo eléctrico, válida para  $x \gg a$ . Compare este comportamiento con el del campo eléctrico de una carga puntual y con el del campo eléctrico de un dipolo.

**21.90.** Una carga positiva  $Q$  está distribuida de manera uniforme a lo largo del eje  $y$  positivo entre  $y = 0$  y  $y = a$ . Una carga puntual negativa  $-q$  se encuentra sobre la parte positiva del eje  $x$ , a una distancia  $x$  del origen (figura 21.48). *a)* Calcule las componentes  $x$  y  $y$  del campo eléctrico producido por la distribución de carga  $Q$  en puntos sobre la parte positiva del eje  $x$ . *b)* Calcule las componentes  $x$  y  $y$  de la fuerza que la distribución de carga  $Q$  ejerce sobre  $q$ . *c)* Demuestre que si  $x \gg a$ ,  $F_x \cong -Qq/4\pi\epsilon_0 x^2$  y  $F_y \cong +Qqa/8\pi\epsilon_0 x^3$ . Explique por qué se obtiene este resultado.

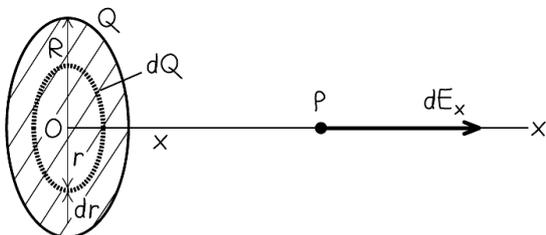
**Figura 21.48** Problema 21.90.



**21.93.** Un disco con carga uniforme como el de la figura 21.26 tiene un radio de 2.50 cm y una carga total de  $4.0 \times 10^{-12}$  C. *a)* Obtenga el campo eléctrico (magnitud y dirección) sobre el eje  $x$  en  $x = 20.0$  cm. *b)* Demuestre que para  $x \gg R$ , la ecuación (21.11) se convierte en  $E = Q/4\pi\epsilon_0 x^2$ , donde  $Q$  es la carga total en el disco. *c)* ¿La magnitud del campo eléctrico que usted obtuvo en el inciso *a)* es mayor o menor, que la magnitud del campo eléctrico que está a 20.0 cm de una carga puntual que tiene la misma carga total que este disco? En términos de

la aproximación usada en el inciso *b)* para obtener  $E = Q/4\pi\epsilon_0 x^2$  para una carga puntual de la ecuación (21.11), explique por qué ocurre esto. *d)* ¿Cuál es el porcentaje de diferencia entre los campos eléctricos producidos por el disco finito y por una carga puntual con la misma carga en  $x = 20.0$  cm y en  $x = 10.0$  cm?

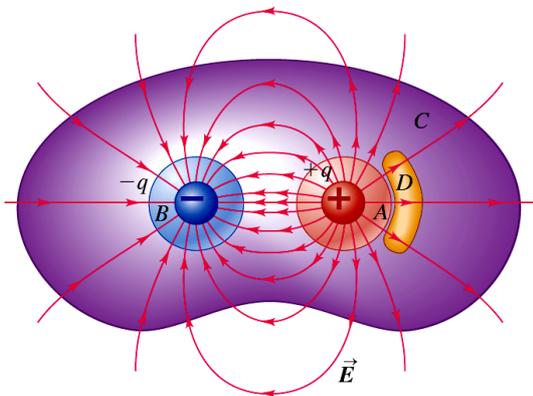
**21.26** Nuestro esquema para este problema.



## PRÁCTICA 2 Ley de Gauss

**P22.3.** En la figura 22.15, suponga que se coloca una tercera carga puntual fuera de la superficie gaussiana de color púrpura  $C$ . ¿Afectaría esto el flujo eléctrico a través de cualquiera de las superficies  $A$ ,  $B$ ,  $C$  o  $D$  en la figura? ¿Por qué?

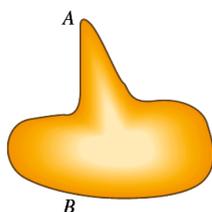
**22.15** El número neto de líneas de campo que salen de una superficie cerrada es proporcional a la carga total contenida por la superficie.



**P22.4.** Cierta región del espacio limitada por una superficie imaginaria cerrada no contiene carga. ¿El campo eléctrico siempre es igual a cero en todos los puntos de la superficie? Si no es así, ¿en qué circunstancias sería cero en la superficie?

**P22.12.** La magnitud de  $\vec{E}$  en la superficie de un sólido conductor de forma irregular debe ser máxima en las regiones en las que hay formas agudas, como el punto  $A$  de la figura 22.30, y debe ser mínima en las regiones planas, como el punto  $B$  de la misma figura. Explique por qué debe ser así considerando la manera en que las líneas de campo eléctrico deben acomodarse cerca de una superficie conductora. ¿Cómo cambia la densidad superficial de carga en los puntos  $A$  y  $B$ ? Explique su respuesta.

**Figura 22.30**  
Pregunta P22.12.

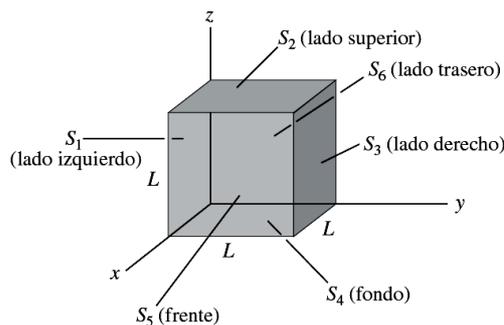


**P22.16.** Una esfera sólida de cobre tiene una carga neta positiva distribuida de manera uniforme sobre la superficie de la esfera; el campo eléctrico en el interior de la esfera es igual a cero. Después, una carga puntual negativa fuera de la esfera se acerca a la superficie de la esfera. ¿Toda la carga neta en la esfera seguirá en la superficie? De ser así, ¿se distribuiría de manera uniforme? Y si no fuera uniforme, ¿cómo se distribuiría? ¿El campo eléctrico dentro de la esfera seguiría siendo igual a cero? Explique su respuesta para cada caso.

**22.6.** El cubo de la figura 22.32 tiene lados con longitud  $L = 10.0$  cm. El campo eléctrico es uniforme, tiene magnitud  $E = 4.00 \times 10^3$  N/C y es paralelo al plano  $xy$  con un ángulo de  $36.9^\circ$  medido a partir del eje  $+x$  hacia el eje  $+y$ . a) ¿Cuál es el flujo eléctrico a través de cada una de las seis caras del cubo,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ ,  $S_5$  y  $S_6$ ? b) ¿Cuál es el flujo eléctrico total a través de todas las caras del cubo?

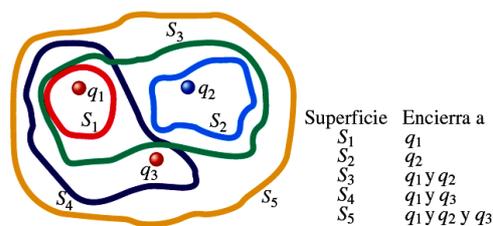
**22.7.** En el ejemplo 21.11 (sección 21.5) se demostró que el campo eléctrico debido a una línea infinita de carga es perpendicular a ésta y su magnitud es  $E = \lambda/2\pi\epsilon_0 r$ . Considere un cilindro imaginario con radio  $r = 0.250$  m y longitud  $l = 0.400$  m que tiene una línea infinita de carga positiva que va a lo largo de su eje. La carga por unidad de longitud en la línea es  $\lambda = 6.00 \mu\text{C}/\text{m}$ . a) ¿Cuál es el flujo eléctrico a través del cilindro debido a esta línea infinita de carga? b) ¿Cuál es el flujo a través del cilindro si su radio se incrementa a  $r = 0.500$  m? c) ¿Cuál es el flujo a través del cilindro si su longitud aumenta a  $l = 0.800$  m?

**Figura 22.32** Ejercicios 22.4 y 22.6; Problema 22.32.



**22.8.** Las tres esferas pequeñas que se muestran en la figura 22.33 tienen cargas  $q_1 = 4.00$  nC,  $q_2 = -7.80$  nC y  $q_3 = 2.40$  nC. Calcule el flujo eléctrico neto a través de cada una de las siguientes superficies cerradas que se ilustran en sección transversal en la figura: a)  $S_1$ ; b)  $S_2$ ; c)  $S_3$ ; d)  $S_4$ ; e)  $S_5$ . f) Las respuestas para los incisos a) a e), ¿dependen de la manera en que está distribuida la carga en cada esfera pequeña? ¿Por qué?

**Figura 22.33** Ejercicio 22.8.



**22.10.** Una carga puntual  $q_1 = 4.00$  nC se localiza sobre el eje  $x$  en  $x = 2.00$  m, y una segunda carga puntual  $q_2 = -6.00$  nC está en el eje  $y$  en  $y = 1.00$  m. ¿Cuál es el flujo eléctrico total debido a estas dos cargas a través de una superficie esférica con centro en el origen y con radio de a)  $0.500$  m, b)  $1.50$  m, c)  $2.50$  m?

**22.15.** Una carga puntual de  $+5.00 \mu\text{C}$  se localiza en el eje  $x$  en  $x = 4.00$  m, cerca de una superficie esférica de radio  $3.00$  m con centro en el origen. a) Calcule la magnitud del campo eléctrico en  $x = 3.00$  m. b) Determine la magnitud del campo eléctrico en  $x = -3.00$  m. c) De acuerdo con la ley de Gauss, el flujo neto a través de la esfera es igual a cero porque no contiene carga. Pero el campo debido a la carga exterior es mucho más fuerte en el lado cercano a la esfera (por ejemplo, en  $x = 3.00$  m) que en el lado alejado (en  $x = -3.00$  m). Entonces, ¿cómo puede ser igual el flujo hacia la esfera (en el lado cercano) que el flujo hacia fuera de ella (en el lado lejano)? Dé una explicación; un diagrama será de utilidad.

**22.16.** Una esfera metálica sólida con radio de  $0.450$  m tiene una carga neta de  $0.250$  nC. Determine la magnitud del campo eléctrico a) en un punto a  $0.100$  m fuera de la superficie, y b) en un punto dentro de la esfera, a  $0.100$  m bajo la superficie.

**22.19.** ¿Cuántos electrones excedentes deben agregarse a un conductor esférico aislado de  $32.0$  cm de diámetro para producir un campo eléctrico de  $1150$  N/C apenas fuera de su superficie?

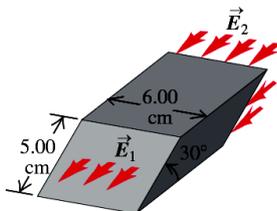
**22.22.** a) A una distancia de  $0.200$  cm del centro de una esfera conductora con carga y radio de  $0.100$  cm, el campo eléctrico es de  $480$  N/C. ¿Cuál es el campo eléctrico a  $0.600$  cm del centro de la esfera? b) A una distancia de  $0.200$  cm del eje de un cilindro conductor muy largo con radio de  $0.100$  cm, el campo eléctrico es de  $480$  N/C. ¿Cuál es el campo eléctrico a  $0.600$  cm del eje del cilindro? c) A una distancia de  $0.200$  cm de una lámina grande con carga uniforme, el campo eléctrico es de  $480$  N/C. ¿Cuál es el campo eléctrico a  $1.20$  cm de la lámina?

**22.25.** El campo eléctrico a una distancia de 0.145 m de la superficie de una esfera sólida aislante con radio de 0.355 m, es de 1750 N/C. a) Suponiendo que la carga de la esfera se distribuye con uniformidad, ¿cuál es la densidad de carga en su interior? b) Calcule el campo eléctrico dentro de la esfera a una distancia de 0.200 m del centro.

**22.32.** Un cubo tiene lados de longitud  $L$ . Está situado con una arista en el origen, como se ilustra en la figura 22.32. El campo eléctrico es uniforme y está dado por  $\vec{E} = -B\hat{i} + C\hat{j} - D\hat{k}$ , donde  $B$ ,  $C$  y  $D$  son constantes positivas. a) Determine el flujo eléctrico a través de cada una de las seis caras de los cubos  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$  y  $S_6$ . b) Calcule el flujo eléctrico a través de todo el cubo.

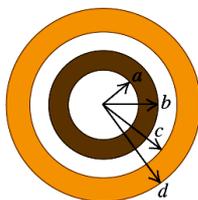
**22.35.** El campo eléctrico  $\vec{E}_1$  en toda la cara de un paralelepípedo es uniforme y se dirige hacia fuera de la cara. En la cara opuesta, el campo eléctrico  $\vec{E}_2$  también es uniforme en toda ella y se dirige hacia esa cara (figura 22.36). Las dos caras en cuestión están inclinadas  $30.0^\circ$  con respecto de la horizontal, en tanto que  $\vec{E}_1$  y  $\vec{E}_2$  son horizontales;  $\vec{E}_1$  tiene una magnitud de  $2.50 \times 10^4$  N/C, y  $\vec{E}_2$  tiene una magnitud de  $7.00 \times 10^4$  N/C. a) Suponiendo que ninguna otra línea de campo eléctrico cruza las superficies del paralelepípedo, determine la carga neta contenida dentro. b) ¿El campo eléctrico sólo es producido por las cargas en el interior del paralelepípedo o también se debe a las que están fuera de éste? ¿Cómo podría saberse?

**Figura 22.36**  
Problema 22.35.



**22.45. Corazas esféricas concéntricas.** Una coraza esférica conductora pequeña con radio interior  $a$  y radio exterior  $b$  es concéntrica respecto a otra coraza conductora esférica más grande cuyo radio interior es  $c$  y radio exterior  $d$  (figura 22.39). La coraza interior tiene una carga total  $+2q$ , y la exterior tiene carga de  $+4q$ . a) Calcule el campo eléctrico (magnitud y dirección) en términos de  $q$  y la distancia  $r$  a partir del centro común de las dos corazas para i)  $r < a$ ; ii)  $a < r < b$ ; iii)  $b < r < c$ ; iv)  $c < r < d$ ; v)  $r > d$ . Muestre sus resultados en una gráfica de la componente radial de  $\vec{E}$  como función de  $r$ . b) ¿Cuál es la carga total en i) la superficie interior de la coraza pequeña; ii) la superficie exterior de la coraza pequeña; iii) la superficie interior de la coraza grande; iv) la superficie exterior de la coraza grande?

**Figura 22.39**  
Problema 22.45.



**22.48.** Una esfera conductora sólida con radio  $R$  tiene una carga total positiva  $Q$ . La esfera está rodeada por una coraza aislante con radio interior  $R$  y radio exterior  $2R$ . La coraza aislante tiene una densidad de carga uniforme  $\rho$ . a) Encuentre el valor de  $\rho$  de manera que la carga neta de todo el sistema sea igual a cero. b) Si  $\rho$  tiene el valor obtenido en el inciso a), calcule el campo eléctrico (magnitud y dirección) en cada una de las regiones  $0 < r < R$ ,  $R < r < 2R$  y  $r > 2R$ . Presente sus resultados en una gráfica de la componente radial de  $\vec{E}$  como función de  $r$ . c) Como regla general, el campo eléctrico es discontinuo sólo en lugares en que hay una lámina delgada de carga. Explique el modo en que concuerdan con esta regla sus resultados para el inciso b).

## PRÁCTICA 3 Potencial eléctrico

**P23.1.** Un estudiante preguntó: “Como el potencial eléctrico siempre es proporcional a la energía potencial, ¿por qué molestarse con el concepto de potencial?” ¿Qué respondería usted?

**P23.3.** ¿Es posible tener una configuración de dos cargas puntuales separadas por una distancia finita de manera que la energía potencial eléctrica del arreglo sea la misma que si las dos cargas estuvieran separadas por una distancia infinita? ¿Por qué? ¿Qué pasaría si hubiera tres cargas? Explique su razonamiento.

**P23.6.** Si  $\vec{E}$  es igual a cero a través de cierta región del espacio, ¿el potencial también es necesariamente igual a cero en esa región? ¿Por qué? Si no es así, ¿qué puede decirse acerca del potencial?

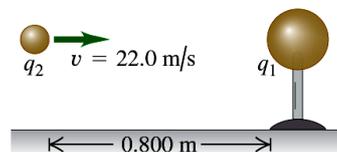
**P23.9.** Es fácil producir una diferencia de potencial de varios miles de volts entre el cuerpo de una persona y el piso, frotando los zapatos sobre una alfombra de nailon. Cuando usted toca una perilla metálica recibe una descarga moderada. Sin embargo, es probable que el contacto con una línea eléctrica de voltaje comparable sea mortal. ¿A qué se debe la diferencia?

**P23.10.** Si se conoce el potencial eléctrico en un solo punto, ¿se puede determinar  $\vec{E}$  en ese punto? Si es así, ¿cómo? Si no es posible, ¿por qué?

**P23.17.** Un conductor con una carga neta  $Q$  tiene una cavidad hueca y vacía en su interior. ¿El potencial varía de un punto a otro dentro del material del conductor? ¿Qué sucede dentro de la cavidad? ¿Cómo se compara el potencial en el interior de la cavidad con el potencial dentro del material del conductor?

**23.2.** Una carga puntual  $q_1$  se mantiene estacionaria en el origen. Se coloca una segunda carga  $q_2$  en el punto  $a$ , y la energía potencial eléctrica del par de cargas es  $+5.4 \times 10^{-8}$  J. Cuando la segunda carga se mueve al punto  $b$ , la fuerza eléctrica sobre la carga realiza  $-1.9 \times 10^{-8}$  J de trabajo. ¿Cuál es la energía potencial eléctrica del par de cargas cuando la segunda carga se encuentra en el punto  $b$ ?

**23.5.** Una esfera pequeña de metal tiene una carga neta de  $q_1 = -2.80 \mu\text{C}$  y se mantiene en posición estacionaria por medio de soportes aislados. Una segunda esfera metálica también pequeña con carga neta de  $q_2 = -7.80 \mu\text{C}$  y masa de 1.50 g es proyectada



hacia  $q_1$ . Cuando las dos esferas están a una distancia de 0.800 m una de otra,  $q_2$  se mueve hacia  $q_1$  con una rapidez de 22.0 m/s (figura 23.30). Suponga que las dos esferas pueden considerarse como cargas puntuales y que se ignora la fuerza de gravedad. a) ¿Cuál es la rapidez de  $q_2$  cuando las esferas están a 0.400 m una de la otra? b) ¿Qué tan cerca de  $q_1$  llega la  $q_2$ ?

**23.9.** Una carga puntual  $q_1 = 4.00$  nC está situada en el origen, y una segunda carga puntual  $q_2 = -3.00$  nC está en el eje  $x$  en  $x = +20.0$  cm. Una tercera carga puntual  $q_3 = 2.00$  nC se coloca sobre el eje  $x$  entre  $q_1$  y  $q_2$ . (Considere la energía potencial de las tres cargas igual a cero cuando estén separadas por una distancia infinita.) a) ¿Cuál es la energía potencial del sistema de tres cargas si  $q_3$  se coloca en  $x = +10.0$  cm? b) ¿Dónde debe situarse  $q_3$  para hacer que la energía potencial del sistema sea igual a cero?

**23.11.** Tres cargas puntuales que al principio están infinitamente alejadas entre sí, se colocan en las esquinas de un triángulo equilátero con lados  $d$ . Dos de las cargas puntuales son idénticas y tienen carga  $q$ . Si se requiere un trabajo neto igual a cero para situar las tres cargas en las esquinas del triángulo, ¿cuál debe ser el valor de la tercera carga?

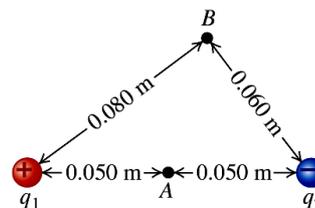
**23.12.** Dos protones son lanzados por un acelerador ciclotrón directamente uno en dirección del otro con una rapidez de 1000 km/s, medida con respecto a la Tierra. Encuentre la fuerza eléctrica máxima que ejercerá cada protón sobre el otro.

**23.13.** Un campo eléctrico uniforme está dirigido hacia el este. El punto  $B$  está a 2.00 m al oeste del punto  $A$ , el punto  $C$  está a 2.00 m del punto  $A$ , y el punto  $D$  se localiza a 2.00 m al sur de  $A$ . En cada punto,  $B$ ,  $C$  y  $D$ , ¿el potencial es mayor, menor o igual al del punto  $A$ ? Exponga el razonamiento que sustenta sus respuestas.

**23.17.** Una carga de 28.0 nC se coloca en un campo eléctrico uniforme que está dirigido verticalmente hacia arriba y tiene una magnitud de  $4.00 \times 10^4$  V/m. ¿Qué trabajo hace la fuerza eléctrica cuando la carga se mueve a) 0.450 m a la derecha; b) 0.670 m hacia arriba; c) 2.60 m con un ángulo de  $45.0^\circ$  hacia abajo con respecto a la horizontal?

**23.21.** Dos cargas puntuales  $q_1 = +2.40$  nC y  $q_2 = -6.50$  nC están separadas 0.100 m. El punto  $A$  está a la mitad de la distancia entre ellas; el punto  $B$  está a 0.080 m de  $q_1$  y 0.060 m de  $q_2$  (figura 23.31). Considere el potencial eléctrico como cero en el infinito. Determine a) el potencial en el punto  $A$ ; b) el potencial en el punto  $B$ ; c) el trabajo realizado por el campo eléctrico sobre una carga de 2.50 nC que viaja del punto  $B$  al punto  $A$ .

Figura 23.31 Ejercicio 23.21.



**23.24.** Una carga  $+q$  se localiza en el punto  $x = 0, y = -a$ , y una carga negativa  $-q$  se encuentra en el punto  $x = 0, y = +a$ .

a) Obtenga una expresión para el potencial  $V$  en puntos sobre el eje  $y$  y como función de la coordenada  $y$ . Considere  $V$  igual a cero a una distancia infinita de las cargas. b) Elabore la gráfica de  $V$  en puntos sobre el eje  $y$  y como función de  $y$  en el intervalo de  $y = -4a$  a  $y = +4a$ . c) Demuestre que para  $y \gg a$ , el potencial en un punto sobre el eje  $y$  positivo está dado por  $V = -(1/4\pi\epsilon_0)2qa/y^2$ . d) ¿Cuáles son las respuestas a los incisos a) y c) si las dos cargas se intercambian de manera que  $+q$  esté en  $y = +a$  y  $-q$  esté en  $y = -a$ ?

**23.29.** Un campo eléctrico uniforme tiene una magnitud  $E$  y está dirigido en la dirección negativa de  $x$ . La diferencia de potencial entre el punto  $a$  (en  $x = 0.60$  m) y el punto  $b$  (en  $x = 0.90$  m) es 240 V. a) ¿Cuál punto,  $a$  o  $b$ , tiene el potencial más alto? b) Calcule el valor de  $E$ . c) Una carga puntual negativa  $q = -0.200 \mu\text{C}$  se desplaza de  $b$  a  $a$ . Calcule el trabajo realizado por el campo eléctrico sobre la carga puntual.

**23.31.** a) Un electrón se acelera de  $3.00 \times 10^6$  m/s a  $8.00 \times 10^6$  m/s. ¿A través de qué diferencia de potencial debe pasar el electrón para que esto suceda? b) ¿A través de qué diferencia de potencial debe pasar el electrón si ha de disminuir su velocidad de  $8.00 \times 10^6$  m/s hasta detenerse?

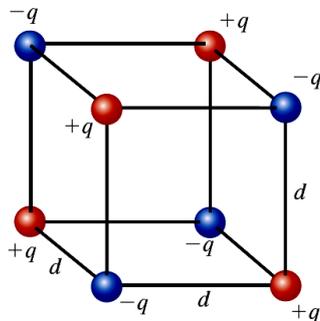
**23.33.** Un anillo delgado con carga uniforme tiene un radio de 15.0 cm y carga total de  $+24.0$  nC. Se coloca un electrón sobre el eje del anillo a una distancia de 30.0 cm de su centro y queda restringido a permanecer sobre ese eje. Después se libera el electrón desde el reposo. a) Describa el movimiento posterior del electrón. b) Determine la rapidez del electrón cuando alcanza el centro del anillo.

**23.40.** Dos placas conductoras paralelas y grandes, que llevan cargas opuestas de igual magnitud, están separadas por una distancia de 2.20 cm. a) Si la densidad superficial de carga para cada placa tiene una magnitud de  $47.0$  nC/m<sup>2</sup>, ¿cuál es la magnitud de  $\vec{E}$  en la región entre las placas? b) ¿Cuál es la diferencia de potencial entre las dos placas? c) Si la separación entre las placas se duplica mientras la densidad superficial de carga se mantiene constante en el valor que se obtuvo en el inciso a), ¿qué sucede con la magnitud del campo eléctrico y la diferencia de potencial?

**23.47.** En cierta región del espacio, el potencial eléctrico es  $V(x, y, z) = Axy - Bx^2 + Cy$ , donde  $A, B$  y  $C$  son constantes positivas. a) Calcule las componentes  $x, y$  y  $z$  del campo eléctrico. b) ¿En qué puntos el campo eléctrico es igual a cero?

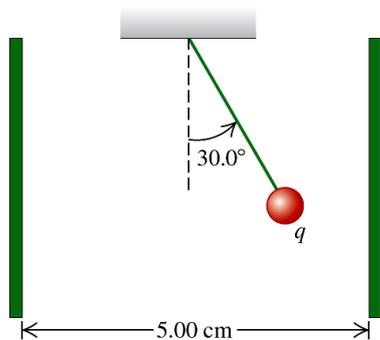
**23.54.** En el *modelo de Bohr* del átomo de hidrógeno, un único electrón gira alrededor de un solo protón en un círculo de radio  $r$ . Suponga que el protón permanece en reposo. *a)* Igualando la fuerza eléctrica con la masa del electrón multiplicada por su aceleración, obtenga una expresión para la rapidez del electrón. *b)* Obtenga una expresión para la energía cinética del electrón, y demuestre que su magnitud es la mitad de la de la energía potencial eléctrica. *c)* Obtenga una expresión para la energía total, y evalúela con  $r = 5.29 \times 10^{-11}$  m. Exprese el resultado numérico en joules y en electrón volts.

**23.57. Cristal iónico.** La figura **Figura 23.35** Problema 23.57. muestra ocho cargas puntuales situadas en las esquinas de un cubo con lados de longitud  $d$ . Los valores de las cargas son  $+q$  y  $-q$ , como se indica. Éste es un modelo de una celda de un cristal cúbico iónico. Por ejemplo, en el cloruro de sodio (NaCl) los iones positivos son  $\text{Na}^+$  y los negativos son  $\text{Cl}^-$ . *a)* Calcule la energía potencial  $U$  de esta configuración. (Considere la energía potencial de las ocho cargas igual a cero cuando están separadas por una distancia infinita.) *b)* En el inciso *a)*, se debe de haber encontrado que  $U < 0$ . Explique la relación entre este resultado y la observación de que tales cristales iónicos existen en la naturaleza.



**23.60.** Una esfera pequeña con masa de 1.50 g cuelga de una cuerda entre dos placas verticales paralelas separadas por una distancia de 5.00 cm (figura 23.36). Las placas son aislantes y tienen densidades de carga superficial uniformes de  $+\sigma$  y  $-\sigma$ . La carga sobre la esfera es  $q = 8.90 \times 10^{-6}$  C. ¿Cuál diferencia de potencial entre las placas ocasionará que la cuerda formara un ángulo de  $30.0^\circ$  con respecto a la vertical?

**Figura 23.36** Problema 23.60.



**23.72.** *a)* A partir de la expresión para  $E$  obtenida en el ejemplo 22.9 (sección 22.4), encuentre la expresión para el potencial eléctrico  $V$  como función de  $r$  tanto dentro como fuera de la esfera con carga uniforme. Suponga que en el infinito  $V = 0$ . *b)* Elabore una gráfica de  $V$  y  $E$  como funciones de  $r$ , desde  $r = 0$  a  $r = 3R$ .

**23.80.** *a)* Si una gota de lluvia esférica de radio 0.650 mm tiene una carga de  $-1.20$  pC distribuida de manera uniforme en su volumen, ¿cuál es el potencial en su superficie? (Considere el potencial igual a cero a una distancia infinita de la gota.) *b)* Dos gotas idénticas, cada una con el radio y la carga especificados en el inciso *a)*, chocan y forman una gota más grande. ¿Cuál es el radio de esta gota más grande, y cuál el potencial en su superficie, si su carga está distribuida de manera uniforme en su volumen?

**23.86.** El potencial eléctrico  $V$  en cierta región del espacio está dada por

$$V(x, y, z) = A(x^2 - 3y^2 + z^2)$$

donde  $A$  es una constante. *a)* Obtenga una expresión para el campo eléctrico  $\vec{E}$  en cualquier punto de esta región. *b)* Se mide el trabajo realizado por el campo cuando una carga de prueba de  $1.50 \mu\text{C}$  se mueve del punto  $(x, y, z) = (0, 0, 0.250 \text{ m})$  al origen y resulta ser de  $6.00 \times 10^{-5}$  J. Determine  $A$ . *c)* Determine el campo eléctrico en el punto  $(0, 0, 0.250 \text{ m})$ . *d)* Demuestre que en todo plano paralelo al plano  $xz$ , las líneas equipotenciales son círculos. *e)* ¿Cuál es el radio de la línea equipotencial que corresponde a  $V = 1280$  V y  $y = 2.00$  m?

## PRÁCTICA 4

### Capacitancia y dieléctricos

**P24.1.** La ecuación (24.2) muestra que la capacitancia de un capacitor de placas paralelas aumenta a medida que la separación  $d$  entre las placas disminuye. Sin embargo, existe un límite práctico en cuanto a qué tan pequeña puede ser  $d$ , lo que también impone un límite superior a la magnitud de  $C$ . Explique qué es lo que fija los límites para  $d$ . (*Sugerencia:* piense en qué pasa con la magnitud del campo eléctrico cuando  $d \rightarrow 0$ .)

**P24.3.** Suponga que las dos placas de un capacitor tienen diferentes áreas. Cuando el capacitor se carga conectándolo a una batería, ¿las cargas en las dos placas tienen magnitud igual o diferente? Explique su razonamiento.

**P24.6.** Un capacitor de placas paralelas se carga con una batería y se mantiene conectado a ésta. Después se duplica la distancia de separación entre las placas. ¿Cómo cambian el campo eléctrico, la carga en las placas y la energía total? Explique su razonamiento.

**P24.7.** Un capacitor de placas paralelas se carga conectándolo a una batería y luego se desconecta de ésta. Después se duplica la distancia de separación entre las placas. ¿Cómo cambian el campo eléctrico, la diferencia de potencial y la energía total? Dé una explicación de su razonamiento.

**P24.15.** La frescura del pescado se puede medir si se coloca un ejemplar entre las placas de un capacitor y se mide la capacitancia. ¿Cómo funciona esto? (*Sugerencia:* considere que el pescado se seca conforme pasa el tiempo. Consulte la tabla 24.1.)

**P24.18.** Un capacitor de placas paralelas está conectado a una fuente de energía que mantiene una diferencia de potencial fija entre las placas. a) Si luego se coloca una lámina de dieléctrico entre las placas, ¿qué sucede con i) el campo eléctrico entre las placas, ii) la magnitud de la carga entre cada placa y iii) la energía almacenada en el capacitor? b) Ahora suponga que antes de insertar el dieléctrico se desconecta el capacitor con carga de la fuente de energía. En este caso, ¿qué pasa con i) el campo eléctrico entre las placas, ii) la magnitud de la carga en cada placa, iii) la energía almacenada en el capacitor? Explique cualquier diferencia que exista entre las dos situaciones.

**24.5.** Un capacitor de placas paralelas de  $10.0 \mu\text{F}$  con placas circulares está conectado a una batería de  $12.0 \text{ V}$ . a) ¿Cuál es la carga en cada placa? b) ¿Cuánta carga habría en las placas si se duplicara la separación y el capacitor permaneciera conectado a la batería? c) ¿Cuánta carga habría en las placas si el capacitor se conectara a la batería de  $12.0 \text{ V}$  después de duplicar el radio de cada placa sin modificar su separación?

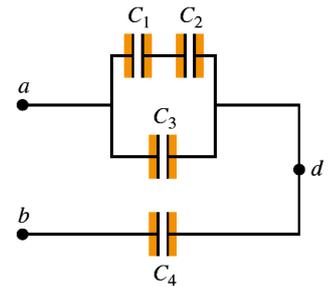
**24.6.** Un capacitor de placas paralelas de  $10.0 \mu\text{F}$  está conectado a una batería de  $12.0 \text{ V}$ . Después de que el capacitor se carga por completo, la batería se desconecta sin que haya pérdida de carga en las placas. a) Se conecta un voltímetro a través de las dos placas sin descargarlas. ¿Cuál es su lectura? b) ¿Cuál sería la lectura del voltímetro si i) la separación de las placas se duplica; ii) el radio de cada placa se duplica, pero la separación entre ellas permanece igual?

**24.9.** Un capacitor está construido con dos cilindros coaxiales de hierro, huecos, uno dentro del otro. El cilindro interior tiene carga negativa y el exterior tiene carga positiva; la magnitud de la carga en cada uno es  $10.0 \text{ pC}$ . El cilindro interior tiene un radio de  $0.50 \text{ mm}$  y el exterior de  $5.00 \text{ mm}$ , y la longitud de cada cilindro es de  $18.0 \text{ cm}$ . a) ¿Cuál es la capacitancia? b) ¿Qué diferencia de potencial es necesario aplicar para tener tales cargas en los cilindros?

**24.12.** Un capacitor esférico está formado por dos corazas concéntricas, esféricas y conductoras, separadas por vacío. La esfera interior tiene un radio de  $15.0 \text{ cm}$  y la capacitancia es de  $116 \text{ pF}$ . a) ¿Cuál es el radio de la esfera exterior? b) Si la diferencia de potencial entre las dos esferas es de  $220 \text{ V}$ , ¿cuál es la magnitud de la carga en cada esfera?

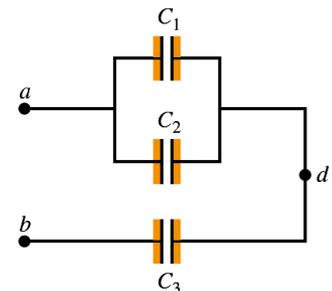
**24.15.** En la figura 24.25, cada capacitor tiene  $C = 4.00 \mu\text{F}$  y  $V_{ab} = +28.0 \text{ V}$ . Calcule a) la carga en cada capacitor; b) la diferencia de potencial a través de cada capacitor; c) la diferencia de potencial entre los puntos  $a$  y  $d$ .

Figura 24.25 Ejercicio 24.15.



**24.18.** En la figura 24.26,  $C_1 = 6.00 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 3.00 \mu\text{F}$  y  $C_3 = 5.00 \mu\text{F}$ . La red de capacitores está conectada a un potencial aplicado  $V_{ab}$ . Después de que las cargas en los capacitores han alcanzado sus valores finales, la carga en  $C_2$  es de  $40.0 \mu\text{C}$ . a) ¿Cuáles son las cargas en los capacitores  $C_1$  y  $C_3$ ? b) ¿Cuál es el voltaje aplicado  $V_{ab}$ ?

Figura 24.26 Ejercicios 24.18 y 24.19.



**24.26.** Un capacitor con aire está hecho de dos placas paralelas planas con una separación de  $1.50 \text{ mm}$ . La magnitud de la carga en cada placa es de  $0.0180 \mu\text{C}$ , cuando la diferencia de potencial es de  $200 \text{ V}$ . a) ¿Cuál es la capacitancia? b) ¿Cuál es el área de cada placa? c) ¿Cuál es el voltaje máximo que puede aplicarse sin que haya ruptura del dieléctrico? (En el caso del aire, la ruptura del dieléctrico ocurre con una intensidad de campo eléctrico de  $3.0 \times 10^6 \text{ V/m}$ .) d) Cuando la carga es de  $0.0180 \mu\text{C}$ , ¿cuál es la energía total almacenada?

**24.27.** Un capacitor de  $450 \mu\text{F}$  se carga a  $295 \text{ V}$ . Después se conecta un alambre entre las placas. ¿Cuántos joules de energía térmica se producen conforme se descarga el capacitor, si toda la energía almacenada se convierte en calor en el alambre?

**24.28.** Un capacitor de capacitancia  $C$  se carga a una diferencia de potencial  $V_0$ . Después, las terminales del capacitor con carga se conectan a las de un capacitor sin carga de capacitancia  $C/2$ . Calcule a) la carga original del sistema; b) la diferencia de potencial final a través de cada capacitor; c) la energía final del sistema; d) la disminución de energía cuando se conectan los capacitores. e) ¿A dónde fue la energía "perdida"?

**24.30.** Un capacitor de placas paralelas con vacío entre ellas tiene  $8.38 \text{ J}$  de energía almacenada. La separación entre las placas es de  $2.30 \text{ mm}$ . Si la separación disminuye a  $1.15 \text{ mm}$ , ¿cuál es la energía almacenada a) si el capacitor se desconecta de la fuente de potencial de manera que la carga en las placas permanece constante, y b) si el capacitor sigue conectado a la fuente de potencial de manera que la diferencia de potencial entre las placas permanece constante?

**24.36.** Un capacitor está formado por dos corazas conductoras concéntricas esféricas separadas por vacío. La esfera interior tiene un radio de  $12.5 \text{ cm}$ , y la exterior tiene un radio de  $14.8 \text{ cm}$ . Se aplica al capacitor una diferencia de potencial de  $120 \text{ V}$ . a) ¿Cuál es la densidad de energía en  $r = 12.6 \text{ cm}$ , inmediatamente afuera de la esfera interior? b) ¿Cuál es la densidad de energía en  $r = 14.7 \text{ cm}$ , inmediatamente adentro de la esfera exterior? c) Para un capacitor de placas paralelas la densidad de energía es uniforme en la región entre las placas, excepto cerca de los bordes de éstas. ¿Esto también se cumple para un capacitor esférico?

**24.38.** Un capacitor de placas paralelas tiene capacitancia  $C_0 = 5.00 \text{ pF}$  cuando hay aire entre sus placas. La separación entre las placas es de  $1.50 \text{ mm}$ . a) ¿Cuál es la magnitud máxima de carga  $Q$  que puede colocarse en cada placa si el campo eléctrico entre ellas no debe exceder  $3.00 \times 10^4 \text{ V/m}$ ? b) Se inserta un dieléctrico con  $K = 2.70$  entre las placas del capacitor, llenando por completo el volumen entre ellas. Ahora, ¿cuál es la magnitud máxima de carga en cada placa si el campo eléctrico entre ellas no debe exceder  $3.00 \times 10^4 \text{ V/m}$ ?

**24.43.** Un capacitor tiene placas paralelas con un área de  $12 \text{ cm}^2$  separadas por una distancia de  $2.0 \text{ mm}$ . El espacio entre las placas está lleno de poliestireno (consulte la tabla 24.2). a) Determine la permitividad del poliestireno. b) Calcule el voltaje máximo permisible a través del capacitor para evitar la ruptura del dieléctrico. c) Con el voltaje igual al valor obtenido en el inciso b), determine la densidad superficial de carga en cada placa y la densidad superficial de carga inducida en la superficie del dieléctrico.

**\*24.49.** El volumen entre las placas paralelas de un capacitor está lleno de plástico cuya constante dieléctrica es  $K$ . La magnitud de la carga en cada placa es  $Q$ . Cada placa tiene área  $A$ , con una distancia  $d$  entre ambas. a) Utilice la ley de Gauss como se plantea en la ecuación (24.23) para calcular la magnitud del campo eléctrico en el dieléctrico. b) Use el campo eléctrico obtenido en el inciso a) para calcular la diferencia de potencial entre las dos placas. c) Con el resultado del inciso b), determine la capacitancia del capacitor. Compare su resultado con la ecuación (24.12).

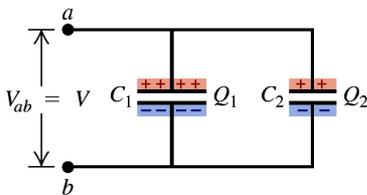
**24.56.** En la figura 24.9a, sean  $C_1 = 9.0 \text{ } \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 4.0 \text{ } \mu\text{F}$  y  $V_{ab} = 28 \text{ V}$ . Suponga que los capacitores con carga se desconectan de la fuente y uno del otro, para luego reconectarlos entre sí con placas de signo contrario. ¿En cuánto disminuye la energía del sistema?

**24.9** Conexión en paralelo de dos capacitores.

a) Dos capacitores en paralelo

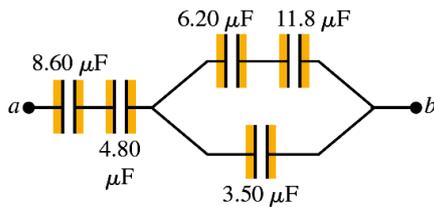
**Capacitores en paralelo:**

- Los capacitores tienen el mismo potencial  $V$ .
- La carga en cada capacitor depende de su capacitancia:  $Q_1 = C_1 V$ ,  $Q_2 = C_2 V$ .



**24.57.** Para la red de capacitores que se ilustra en la figura 24.31, la diferencia de potencial a través de  $ab$  es de  $12.0 \text{ V}$ . Calcule a) la energía total almacenada en la red, y b) la energía almacenada en el capacitor de  $4.80 \text{ } \mu\text{F}$ .

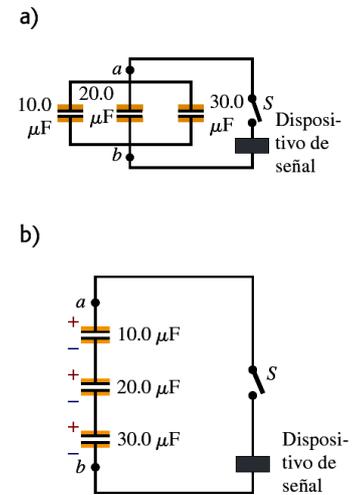
**Figura 24.31** Problema 24.57.



**24.61.** Tres capacitores con capacitancias de  $8.4$ ,  $8.4$  y  $4.2 \text{ } \mu\text{F}$  están conectados en serie a través de una diferencia de potencial de  $36 \text{ V}$ . a) ¿Cuál es la carga en el capacitor de  $4.2 \text{ } \mu\text{F}$ ? b) ¿Cuál es la energía total almacenada en los tres capacitores? c) Los capacitores se desconectan de la diferencia de potencial sin permitir que se descarguen.

Después se vuelven a conectar en paralelo entre sí, con las placas con carga positiva conectadas. ¿Cuál es el voltaje a través de cada capacitor en la combinación en paralelo? d) ¿Cuál es la energía total que ahora está almacenada en los capacitores?

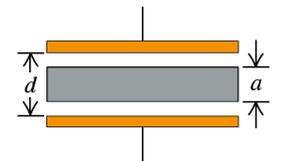
**Figura 24.35** Problema 24.64.



**24.64.** Cada combinación de capacitores entre los puntos  $a$  y  $b$  en la figura 24.35 se conecta primero a través de una batería de  $120 \text{ V}$ , para cargar la combinación a  $120 \text{ V}$ . Después, estas combinaciones se conectan para formar el circuito que se ilustra. Cuando se acciona el interruptor  $S$ , fluye una oleada de carga desde los capacitores que se descargan, la cual activa el dispositivo de señal. ¿Cuánta carga fluye a través del dispositivo de señal?

**24.66.** Un capacitor con aire está construido con dos placas planas, cada una con área  $A$ , separadas una distancia  $d$ . Después se inserta entre ellas un bloque metálico con espesor  $a$  (menor que  $d$ ) y de la misma forma y tamaño que las placas, paralelo a éstas y sin tocarlas (figura 24.36). a) ¿Cuál es la capacitancia de este arreglo? b) Exprese la capacitancia como un múltiplo de la capacitancia  $C_0$  cuando el bloque de metal no está presente. c) Analice lo que pasa con la capacitancia en los límites cuando  $a \rightarrow 0$  y  $a \rightarrow d$ .

**Figura 24.36** Problema 24.66.



**24.67. Capacitancia de la Tierra.** a) Analice cómo puede aplicarse el concepto de capacitancia a un solo conductor. (Sugerencia: en la relación  $C = Q/V_{ab}$ , piense en el segundo conductor como si se localizara en el infinito.) b) Utilice la ecuación (24.1) para demostrar que  $C = 4\pi\epsilon_0 R$  para una esfera conductora sólida de radio  $R$ . Utilice el resultado del inciso b) para calcular la capacitancia de la Tierra, que es un buen conductor con radio de  $6380 \text{ km}$ . Realice una comparación con los capacitores comunes que se emplean en los circuitos electrónicos y que tienen capacitancias que van de  $10 \text{ pF}$  a  $100 \text{ } \mu\text{F}$ .

## PRÁCTICA 5

### Corriente, resistencia y fuerza electromotriz

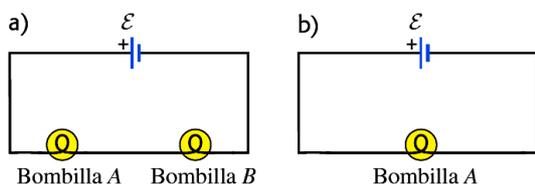
**P25.4.** Dos alambres de cobre de distintos diámetros se unen por los extremos. Si una corriente fluye por la combinación de alambres, ¿qué sucede con los electrones cuando se mueven del alambre de mayor diámetro al alambre de menor diámetro? Su rapidez de deriva, ¿aumenta, disminuye o permanece sin cambio? Si la velocidad de deriva cambia, ¿cuál es la fuerza que origina el cambio? Explique su razonamiento.

**P25.8.** Las baterías siempre tienen rotulada su fem; por ejemplo, una batería de tamaño AA para linterna dice “1.5 volts”. ¿Sería apropiado etiquetarlas también con la corriente que producen? ¿Por qué?

**P25.10.** Los electrones en un circuito eléctrico pasan a través de un resistor. El alambre a ambos lados del resistor tiene el mismo diámetro. *a)* ¿Cómo es la rapidez de deriva de los electrones antes de que entren al resistor, en comparación con la rapidez que tienen al salir de éste? Explique su razonamiento. *b)* ¿Cómo es la energía potencial de un electrón antes de entrar en el resistor, en comparación con la que tiene después de salir del resistor? Explique su razonamiento.

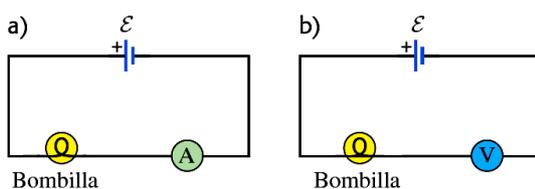
**P25.14.** Una bombilla brilla porque tiene resistencia; su brillo aumenta con la potencia eléctrica que disipa. *a)* En el circuito que se ilustra en

**Figura 25.30** Pregunta P25.14.



**P25.16.** (Véase la pregunta para análisis P25.14.) ¿Brillará más una bombilla cuando se conecta a una batería como se ilustra en la figura 25.32a, con un amperímetro ideal *A* colocado en el circuito, o cuando se conecta como se representa en la figura 25.32b, con un voltímetro ideal *V* colocado en el circuito? Explique su razonamiento.

**Figura 25.32** Pregunta P25.16.



**P25.22.** Un fusible es un dispositivo diseñado para interrumpir un circuito eléctrico, por lo general haciendo que se funda cuando la corriente supera cierto valor. ¿Qué características debe tener el material con que se fabrica el fusible?

**P25.23.** Las fuentes de energía de alto voltaje en ocasiones se diseñan con la intención de que tengan una resistencia interna elevada, como medida de seguridad. ¿Por qué es más seguro una fuente de energía con una gran resistencia interna que una con el mismo voltaje pero con menos resistencia interna?

**25.5.** El cobre tiene  $8.5 \times 10^{28}$  electrones libres por metro cúbico. Un alambre de cobre de calibre 12, equivalente a 2.05 mm de diámetro, y longitud de 71.0 cm, conduce 4.85 A de corriente. *a)* ¿Cuánto tiempo se requiere para que un electrón recorra la longitud del alambre? *b)* Repita el inciso *a)* para un alambre de cobre de calibre 6 (diámetro, 4.12 mm) de la misma longitud y que conduce la misma corriente. *c)* En general, ¿cómo afecta a la velocidad de deriva de los electrones del alambre el cambio del diámetro de un alambre que transporta una cantidad dada de corriente?

**25.6.** Considere el alambre de calibre 18 del ejemplo 25.1. ¿Cuántos átomos hay en  $1.00 \text{ m}^3$  de cobre? Con la densidad de los electrones libres dada en el ejemplo, ¿cuántos electrones libres hay por átomo de cobre?

**25.8.** Una corriente pasa a través de una solución de cloruro de sodio. En 1.00 s, llegan al electrodo negativo  $2.68 \times 10^{16}$  iones de  $\text{Na}^+$ , y al electrodo positivo arriban  $3.92 \times 10^{16}$  iones de  $\text{Cl}^-$ . *a)* ¿Cuál es la corriente que pasa entre los electrodos? *b)* ¿Cuál es la dirección de la corriente?

**25.12.** Un alambre de cobre tiene una sección transversal cuadrada de 2.3 mm por lado. El alambre mide 4.0 m de longitud y conduce una corriente de 3.6 A. La densidad de los electrones libres es  $8.5 \times 10^{28}/\text{m}^3$ . Calcule las magnitudes de *a)* la densidad de la corriente en el alambre y *b)* el campo eléctrico en el alambre. *c)* ¿Cuánto tiempo se requiere para que un electrón recorra la longitud del alambre?

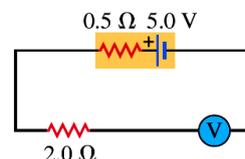
**25.19.** Se necesita producir un conjunto de alambres de cobre cilíndricos de 3.50 m de largo con una resistencia de  $0.125 \Omega$  cada uno. ¿Cuál será la masa de cada alambre?

**25.27.** *a)* ¿Cuál es la resistencia de un alambre de nicromel a  $0.0^\circ \text{C}$  si su resistencia es de  $100.00 \Omega$  a  $11.5^\circ \text{C}$ ? *b)* ¿Cuál es la resistencia de una varilla de carbono a  $25.8^\circ \text{C}$  si su resistencia es de  $0.0160 \Omega$  a  $0.0^\circ \text{C}$ ?

**25.29.** Un hilo de alambre tiene una resistencia de  $5.60 \mu\Omega$ . Calcule la resistencia neta de 120 de tales hilos *a)* si se colocan lado a lado para formar un cable de la misma longitud que un solo hilo, y *b)* si se conectan por sus extremos para formar un alambre 120 veces más largo que uno solo de los hilos.

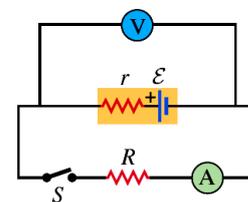
**25.35.** Se conecta un voltímetro ideal *V* a un resistor de  $2.0 \Omega$  y una batería con una fem de 5.0 V y resistencia interna de  $0.5 \Omega$ , como se indica en la figura 25.36. *a)* ¿Cuál es la corriente en el resistor de  $2.0 \Omega$ ? *b)* ¿Cuál es el voltaje terminal de la batería? *c)* ¿Cuál es la lectura en el voltímetro? Explique sus respuestas.

**Figura 25.36** Ejercicio 25.35.



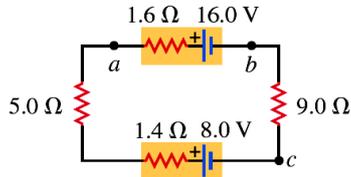
**25.37.** Cuando se abre el interruptor *S* de la figura 25.38, el voltímetro *V* de la batería da una lectura de 3.08 V. Cuando se cierra el interruptor, la lectura del voltímetro cae a 2.97 V, y la del amperímetro es de 1.65 A. Determine la fem, la resistencia interna de la batería y la resistencia del circuito *R*. Suponga que los dos instrumentos son ideales, por lo que no afectan el circuito.

**Figura 25.38** Ejercicio 25.37.



**25.38.** En el circuito de la figura 25.37, el resistor de  $5.0 \Omega$  se sustituye por otro de resistencia *R* desconocida. Cuando se hace esto, se conecta un voltímetro ideal a través de los puntos *b* y *c* cuya lectura es de 1.9 V. Calcule *a)* la corriente en el circuito y *b)* la resistencia *R*. *c)* Grafique los aumentos y las caídas de potencial en este circuito (véase la figura 25.21).

**Figura 25.37** Ejercicios 25.36, 25.38, 25.39 y 25.48.



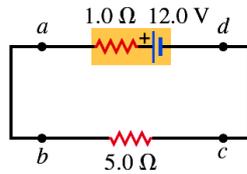
**25.40.** Las siguientes mediciones se efectuaron en un resistor de Thyrite:

$I$ (A)	0.50	1.00	2.00	4.00
$V_{ab}$ (V)	2.55	3.11	3.77	4.58

(a) Grafique  $V_{ab}$  como función de  $I$ . b) ¿El Thyrite obedece la ley de Ohm? ¿Cómo podría saberse? c) Elabore la gráfica de la resistencia  $R = V_{ab}/I$  como función de  $I$ .

**25.53.** En el circuito de la figura 25.39, calcule a) la tasa de conversión de la energía interna (química) a energía eléctrica dentro de la batería; b) la tasa de disipación de la energía eléctrica en la batería; c) la tasa de disipación de la energía eléctrica en el resistor externo.

**Figura 25.39**  
Ejercicio 25.53.



**\*25.56.** El silicio puro contiene aproximadamente  $1.0 \times 10^{16}$  electrones libres por metro cúbico. a) Consulte la tabla 25.1 para calcular el tiempo libre medio  $\tau$  del silicio a temperatura ambiente. b) Su respuesta para el inciso a) es un valor mucho mayor que el tiempo libre medio del cobre dado en el ejemplo 25.12. Entonces, ¿por qué el silicio puro tiene una resistividad tan grande en comparación con la del cobre?

**25.60.** Se fabrica un trozo de 2.0 m de alambre soldando el extremo de un alambre de plata de 120 cm de largo con el extremo de un alambre de cobre de 80 cm. Cada pieza de alambre tiene 0.60 mm de diámetro. El alambre está a temperatura ambiente, por lo que sus resistividades son las que se dan en la tabla 25.1. Entre los extremos del alambre compuesto de 2.0 m de largo se mantiene una diferencia de potencial de 5.0 V. a) ¿Cuál es la corriente en la sección de cobre? b) ¿Cuál es la corriente en la sección de plata? c) ¿Cuál es la magnitud de  $\vec{E}$  en el cobre? d) ¿Cuál es la magnitud de  $\vec{E}$  en la plata? e) ¿Cuál es la diferencia de potencial entre los extremos de la sección de plata del alambre?

**25.61.** Un alambre de cobre de 3.00 m de longitud a  $20^\circ\text{C}$  está compuesto por dos secciones: una de 1.20 m de largo con diámetro de 1.60 mm, y otra de 1.80 m de longitud con diámetro de 0.80 mm. En la sección de 1.60 mm de diámetro, hay una corriente de 2.5 mA. a) ¿Cuál es la corriente en la sección de 0.80 mm de diámetro? b) ¿Cuál es la magnitud de  $\vec{E}$  en la sección con diámetro de 1.60 mm? c) ¿Cuál es la magnitud de  $\vec{E}$  en la sección con 0.80 mm de diámetro? d) ¿Cuál es la diferencia de potencial entre los extremos del alambre de 3.00 m de longitud?

**25.62. Densidad crítica de corriente en los superconductores.** Un problema con algunos de los superconductores de alta temperatura más recientes es obtener una densidad de corriente suficientemente grande para el uso práctico sin que reaparezca la resistencia. La densidad máxima de corriente para la que el material seguirá siendo superconductor se llama densidad crítica de corriente del material. En 1987 los laboratorios de investigación de IBM produjeron películas delgadas con densidades críticas de corriente de  $1.0 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ . a) ¿Cuánta corriente podría conducir un alambre de calibre 18 (véase el ejemplo 25.1 de la sección 25.1) de este material sin dejar de ser superconductor? b) Los investigadores intentan desarrollar superconductores con densidades críticas de corriente de  $1.0 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ . ¿Qué diámetro de alambre cilíndrico de ese material se necesitaría para conducir 1000 A sin que se pierda la superconductividad?

**25.69.** La diferencia de potencial a través de las terminales de una batería es 8.4 V cuando en ésta hay una corriente de 1.50 A de la terminal negativa a la positiva. Cuando la corriente es 3.50 A en la dirección inversa, la diferencia de potencial es de 9.4 V. a) ¿Cuál es la resistencia interna de la batería? b) ¿Cuál es la fem de la batería?

**25.71.** La resistividad general media del cuerpo humano (aparte de la resistencia superficial de la piel) es alrededor de  $5.0 \Omega \cdot \text{m}$ . La trayectoria de conducción entre las manos puede representarse aproximadamente como un cilindro de 1.6 m de largo y 0.10 m de diámetro. La resistencia de la piel se vuelve despreciable si se sumergen las manos en agua salada. a) ¿Cuál es la resistencia entre las manos si la resistencia de la piel es despreciable? b) ¿Cuál es la diferencia de potencial que se necesita entre las manos para que haya una descarga de corriente letal de 100 mA? (Observe que el resultado demuestra que las pequeñas diferencias de potencial producen corrientes peligrosas si la piel está húmeda.) c) Con la corriente que se calculó en el inciso b), ¿cuánta potencia se disipa en el cuerpo?

**25.73.** La batería de 12.6 V de un automóvil tiene una resistencia interna despreciable y se conecta a una combinación en serie de un resistor de  $3.2 \Omega$  que obedece la ley de Ohm y a un termistor que no obedece la ley de Ohm, sino que sigue la relación  $V = \alpha I + \beta I^2$  entre la corriente y el voltaje, con  $\alpha = 3.8 \Omega$  y  $\beta = 1.3 \Omega/\text{A}$ . ¿Cuál es la corriente a través del resistor de  $3.2 \Omega$ ?

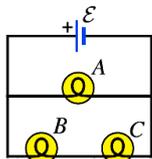
## PRÁCTICA 6

### Circuitos de corriente directa

**P26.2.** Dos bombillas de 120 V, una de 25 W y otra de 200 W, se conectaron en serie a través de una línea de 240 V. En ese momento parecía una buena idea, pero una bombilla se fundió casi de inmediato. ¿Cuál fue y por qué?

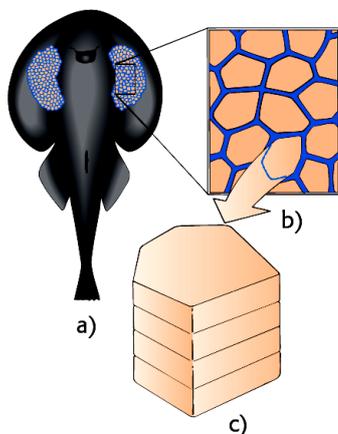
**P26.4.** En el circuito que se ilustra en la figura 26.29 se conectan tres bombillas idénticas a una batería de linterna. ¿Cómo se compara la luminosidad de las bombillas? ¿Cuál es la más luminosa? ¿A través de cuál bombilla pasa la mayor corriente? ¿Cuál bombilla tiene la mayor diferencia de potencial entre sus terminales? ¿Qué pasa si la bombilla A se desenrosca de su entrada? ¿Y si lo mismo se hace con la bombilla B? ¿Y con la C? Explique su razonamiento.

**Figura 26.29**  
Pregunta P26.4.



**P26.16.** Las rayas eléctricas (peces del género *Torpedo*) disparan descargas eléctricas para aturdir a sus presas y disuadir a sus depredadores. (En la antigua Roma, los médicos practicaban una forma primitiva de terapia de electrochoques colocando rayas sobre sus pacientes para curar jaquecas y gota.) La figura 26.36a muestra una *Torpedo* vista desde abajo. El voltaje se produce en celdas delgadas, parecidas a obleas, llamadas *electrocitos*, cada una de las cuales actúa como batería con fem de alrededor de  $10^{-4}$  V. En la parte inferior de la raya (figura 26.36b) están apilados lado a lado los electrocitos; en ese arreglo, la cara positiva de cada electrocito toca la cara negativa del siguiente electrocito (figura 26.36c). ¿Cuál es la ventaja de que los electrocitos estén apilados así? ¿Y de que esas pilas estén una al lado de otras?

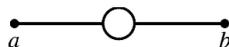
**Figura 26.36** Pregunta P26.16.



**P26.21.** Cuando un capacitor, una batería y un resistor se conectan en serie, ¿el resistor afecta la carga máxima que se almacena en el capacitor? ¿Por qué? ¿Qué finalidad tiene el resistor?

**26.1.** Un alambre uniforme de resistencia  $R$  se corta en tres piezas de igual longitud. Una de ellas se dobla en círculo y se conecta entre las otras dos (figura 26.37). ¿Cuál es la resistencia entre los extremos opuestos  $a$  y  $b$ ?

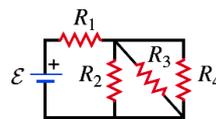
**Figura 26.37**  
Ejercicio 26.1.



**26.3.** a) Demuestre que cuando dos resistores se conectan en paralelo, la resistencia equivalente de la combinación siempre es menor que la del resistor más pequeño. b) Generalice el resultado del inciso a) para  $N$  resistores.

**26.13.** En el circuito de la figura 26.44, cada resistor representa una bombilla. Sea  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 4.50 \Omega$ , y  $\mathcal{E} = 9.00$  V. a) Calcule la corriente en cada bombilla. b) Encuentre la potencia disipada por cada bombilla. ¿Cuál, o cuáles, de éstas es la más brillante? c) Ahora se retira la bombilla  $R_4$  del circuito y deja un hueco en el alambre en la posición en que estaba. Ahora, ¿cuál es la corriente en cada una de las bombillas restantes  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ ?

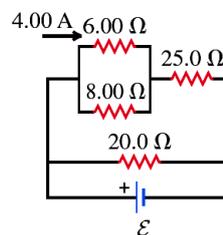
**Figura 26.44**  
Ejercicio 26.13.



d) Sin la bombilla  $R_4$ , ¿cuál es la potencia disipada en cada una de las bombillas restantes? e) Como resultado de la remoción de  $R_4$ , ¿cuál(es) bombilla(s) brilla(n) más? ¿Cuál(es) brilla(n) menos? Analice por qué hay diferentes efectos en las distintas bombillas.

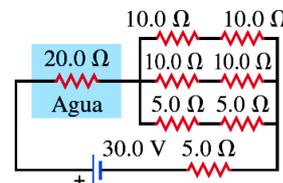
**26.14.** Considere el circuito de la figura 26.45. La corriente a través del resistor de  $6.00 \Omega$  es de  $4.00$  A, en el sentido que se indica. ¿Cuáles son las corrientes a través de los resistores de  $25.0 \Omega$  y  $20.0 \Omega$ ?

**Figura 26.45** Ejercicio 26.14.



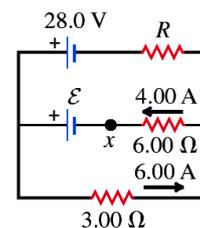
**26.19.** En el circuito de la figura 26.47, un resistor de  $20.0 \Omega$  está dentro de  $100$  g de agua pura rodeada por espuma de poliestireno. Si el agua inicialmente está a  $10.0^\circ\text{C}$ , ¿cuánto tiempo tomará que su temperatura suba a  $58.0^\circ\text{C}$ ?

**Figura 26.47**  
Ejercicio 26.19.



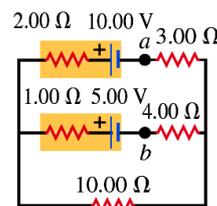
**26.21.** En el circuito que se aprecia en la figura 26.49, obtenga a) la corriente en el resistor  $R$ ; b) la resistencia  $R$ ; c) la fem desconocida  $\mathcal{E}$ . d) Si el circuito se rompe en el punto  $x$ , ¿cuál es la corriente en el resistor  $R$ ?

**Figura 26.49**  
Ejercicio 26.21.



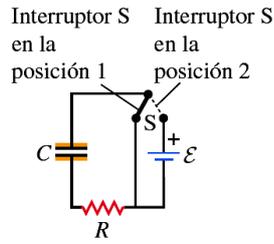
**26.25.** La batería de  $10.00$  V de la figura 26.52 se retira del circuito y se vuelve a colocar con la polaridad opuesta, de manera que ahora su terminal positiva está junto al punto  $a$ . El resto del circuito queda como en la figura. Encuentre a) la corriente en cada rama y b) la diferencia de potencial  $V_{ab}$  del punto  $a$  con respecto al punto  $b$ .

**Figura 26.52**  
Ejercicios 26.24, 26.25 y 26.26.



**26.48.** En el circuito que se ilustra en la figura 26.61,  $C = 5.90 \mu\text{F}$ ,  $\mathcal{E} = 28.0 \text{ V}$ , y la fem tiene una resistencia despreciable. Inicialmente, el capacitor está descargado y el interruptor  $S$  está en la posición 1. Luego, el interruptor se mueve a la posición 2, por lo que el capacitor comienza a cargarse. *a)* ¿Cuál será la carga en el capacitor mucho tiempo después de que el interruptor se movió a la posición 2? *b)* Después de haber movido el interruptor a la posición 2 durante  $3.00 \text{ ms}$  se mide la carga en el capacitor y resulta ser de  $110 \mu\text{C}$ . ¿Cuál es el valor de la resistencia  $R$ ? *c)* ¿Cuánto tiempo después de haber movido el interruptor a la posición 2, la carga en el capacitor será igual al 99.0% del valor final calculado en el inciso *a)*?

**Figura 26.61** Ejercicios 28.49 y 26.49.

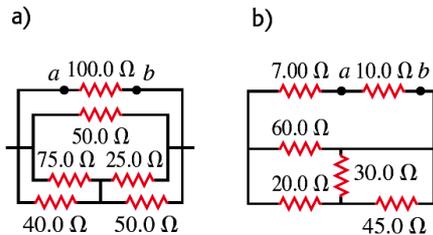


**26.53.** El elemento calentador de una estufa eléctrica consiste en un conductor incrustado dentro de un material aislante, que a su vez está dentro de una cubierta metálica. El alambre del calentador tiene una resistencia de  $20 \Omega$  a temperatura ambiente ( $23.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y un coeficiente de temperatura de la resistividad  $\alpha = 2.8 \times 10^{-3} (\text{C}^\circ)^{-1}$ . El elemento calentador opera desde una línea de  $120 \text{ V}$ . *a)* Cuando se enciende el elemento calentador por primera vez, ¿cuánta corriente toma y cuánta energía eléctrica disipa? *b)* Cuando el elemento calentador ha alcanzado su temperatura de operación de  $280 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $536 \text{ }^\circ\text{F}$ ), ¿cuánta corriente toma y cuánta energía eléctrica disipa?

**26.55.** Un cable de  $20.0 \text{ m}$  de largo consiste en un núcleo interior sólido de níquel, cilíndrico, de  $10.0 \text{ cm}$  de diámetro, y rodeado por una costra exterior sólida y cilíndrica de cobre con diámetro interno de  $10.0 \text{ cm}$  y diámetro externo de  $20.0 \text{ cm}$ . La resistividad del níquel es de  $7.8 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ . *a)* ¿Cuál es la resistencia de este cable? *b)* Si se piensa en este cable como en un solo material, ¿cuál es su resistividad equivalente?

**26.59.** Si se conecta un óhmetro entre los puntos  $a$  y  $b$  en cada uno de los circuitos que se ilustran en la figura 26.63, ¿cuál será la lectura que dé?

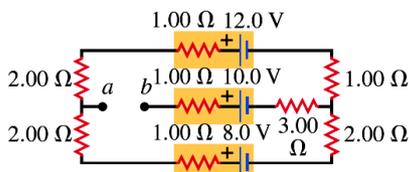
**Figura 26.63** Problema 26.59.



**26.63.** Determine la corriente que pasa por cada uno de los tres resistores del circuito que se ilustra en la figura 26.67. Las fuentes de fem tienen resistencia interna insignificante.

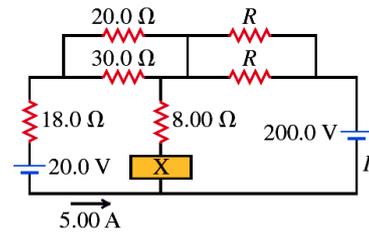
**26.65.** *a)* Calcule el potencial del punto  $a$  con respecto al punto  $b$ , en la figura 26.69. *b)* Si los puntos  $a$  y  $b$  se conectan con un alambre con resistencia insignificante, determine la corriente en la batería de  $12.0 \text{ V}$ .

**Figura 26.69** Problema 26.65.



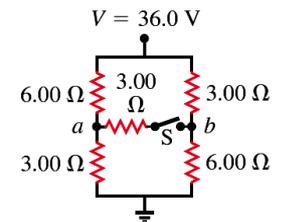
**26.69.** En el circuito de la figura 26.73, la corriente en la batería de  $20.0 \text{ V}$  es de  $5.00 \text{ A}$  en el sentido que se indica, y el voltaje a través del resistor de  $8.00 \Omega$  es de  $16.0 \text{ V}$ , con el extremo inferior del resistor a un potencial mayor. Calcule *a)* la fem (incluida su polaridad) de la batería  $X$ ; *b)* la corriente  $I$  a través de la batería de  $200.0 \text{ V}$  (incluido su sentido); *c)* la resistencia  $R$ .

**Figura 26.73** Problema 26.69.



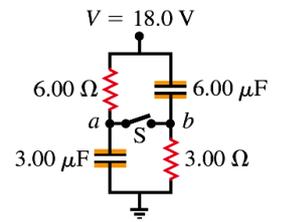
**26.73.** La figura 26.75 emplea una convención que se utiliza con frecuencia en los diagramas de circuito. La batería (u otra fuente de potencia) no se muestra de manera explícita. Se entiende que el punto en la parte superior, con la leyenda “ $36.0 \text{ V}$ ”, está conectado a la terminal positiva de una batería de  $36.0 \text{ V}$  que tiene resistencia interna despreciable, y que el símbolo de “tierra” en la parte inferior está conectado a la terminal negativa de la batería. El circuito se completa a través de la batería, aun cuando ésta no aparezca en el diagrama. *a)* ¿Cuál es la diferencia de potencial  $V_{ab}$  del punto  $a$  con respecto al punto  $b$ , cuando se abre el interruptor  $S$ ? *b)* ¿Cuál es la corriente que pasa a través del interruptor  $S$  cuando está cerrado? *c)* ¿Cuál es la resistencia equivalente cuando el interruptor  $S$  está cerrado?

**Figura 26.75** Problema 26.73.



**26.74.** (Véase el problema 26.73). *a)* En la figura 26.76, ¿cuál es el potencial del punto  $a$  con respecto al punto  $b$  cuando el interruptor  $S$  está abierto? *b)* ¿Cuál punto,  $a$  o  $b$ , está a un mayor potencial? *c)* ¿Cuál es el potencial final del punto  $b$  con respecto a tierra cuando el interruptor  $S$  está cerrado? *d)* ¿Cuánto cambia la carga en cada capacitor cuando  $S$  está cerrado?

**Figura 26.76** Problema 26.74.



**26.82.** Un capacitor de  $2.36 \mu\text{F}$  inicialmente descargado se conecta en serie con un resistor de  $4.26 \Omega$  y una fuente de fem con  $\mathcal{E} = 120 \text{ V}$  y resistencia interna despreciable. *a)* Inmediatamente después de hacer la conexión, ¿cuáles son i) la tasa a la que se disipa la energía eléctrica en el resistor; ii) la tasa a la que la energía eléctrica almacenada en el capacitor se incrementa; iii) la potencia de salida eléctrica de la fuente? ¿Cómo se comparan las respuestas i), ii) y iii)? *b)* Responda las mismas preguntas que en el inciso *a)* para un tiempo más largo después de hacer la conexión. *c)* Contesté las mismas preguntas que en el inciso *a)* en el momento en que la carga en el capacitor es la mitad de su valor final.

**26.87.** En un capacitor en proceso de carga la corriente está dada por la ecuación (26.13). *a)* La potencia instantánea suministrada por la batería es  $\mathcal{E}i$ . Intégrela para calcular la energía total suministrada por la batería. *b)* La potencia instantánea disipada en el resistor es  $i^2R$ . Intégrela para obtener la energía total disipada en el resistor. *c)* Encuentre la energía final almacenada en el capacitor y demuestre que es igual a la energía total suministrada por la batería menos la energía disipada en el resistor, como se obtuvo en los incisos *a)* y *b)*. *d)* ¿Qué fracción de la energía suministrada por la batería se almacena en el capacitor? ¿Cómo depende de  $R$  esta fracción?

## PRÁCTICA 7

### Campo magnético y fuerzas magnéticas

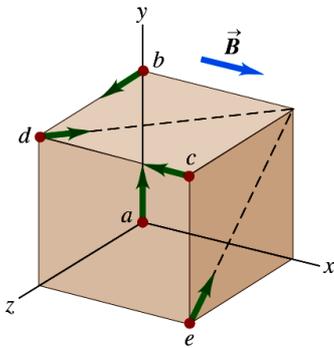
**P27.2.** En cualquier punto del espacio, por definición el campo eléctrico  $\vec{E}$  tiene la dirección de la fuerza eléctrica sobre una partícula con carga positiva situada en ese punto. ¿Por qué no se define de manera similar el campo magnético  $\vec{B}$ , para que esté en la dirección de la fuerza magnética sobre una partícula cargada positivamente?

**P27.5.** Una partícula cargada se dispara hacia una región cúbica del espacio donde hay un campo magnético uniforme. Fuera de esta región, no hay campo magnético. ¿Es posible que la partícula permanezca dentro de la región cúbica? ¿Por qué?

**P27.9.** ¿Cómo puede determinarse la dirección de un campo magnético únicamente con observaciones *cualitativas* de la fuerza magnética sobre un alambre recto que transporta corriente?

**P27.12.** Cada uno de los puntos indicados en las esquinas del cubo que se aprecia en la figura 27.42 representa una carga positiva  $q$  que se mueve con una velocidad de magnitud  $v$  en la dirección indicada. La región en la figura está en un campo magnético uniforme  $\vec{B}$ , paralelo al eje  $x$  y dirigido hacia la derecha. ¿Cuáles cargas experimentan una fuerza debido a  $\vec{B}$ ? ¿Cuál es la dirección de la fuerza en cada carga?

**Figura 27.42** Pregunta P27.12.



**P27.20.** Los voltajes del efecto Hall son mucho mayores para conductores relativamente malos (como el germanio) que para buenos (como el cobre), en cuanto a corrientes, campos y dimensiones comparables. ¿Por qué?

**27.2.** Una partícula con masa de 0.195 g lleva una carga de  $-2.50 \times 10^{-8}$  C. Se da a la partícula una velocidad horizontal inicial hacia el norte y con magnitud de  $4.00 \times 10^4$  m/s. ¿Cuáles son la magnitud y la dirección del campo magnético mínimo que mantendrá la partícula en movimiento en el campo gravitacional terrestre, en la misma dirección horizontal hacia el norte?

**27.4.** Una partícula con masa de  $1.81 \times 10^{-3}$  kg y una carga de  $1.22 \times 10^{-8}$  C tiene, en un instante dado, una velocidad  $\vec{v} = (3.00 \times 10^4 \text{ m/s})\hat{j}$ . ¿Cuáles son la magnitud y la dirección de la aceleración de la partícula producida por un campo magnético uniforme  $\vec{B} = (1.63 \text{ T})\hat{i} + (0.980 \text{ T})\hat{j}$ ?

**27.7.** Una partícula con carga de  $7.80 \mu\text{C}$  se mueve con velocidad  $\vec{v} = -(3.80 \times 10^3 \text{ m/s})\hat{j}$ . Se mide la fuerza magnética sobre la partícula y resulta ser de  $\vec{F} = +(7.60 \times 10^{-3} \text{ N})\hat{i} - (5.20 \times 10^{-3} \text{ N})\hat{k}$ .  
 a) Calcule todas las componentes del campo magnético que pueda con base en esta información. b) ¿Hay componentes del campo magnético que no estén determinadas por la medición de la fuerza? Explique su respuesta. c) Calcule el producto escalar  $\vec{B} \cdot \vec{F}$ . ¿Cuál es el ángulo entre  $\vec{B}$  y  $\vec{F}$ ?

**27.12.** El campo magnético  $\vec{B}$  en cierta región es de 0.128 T, y su dirección es la del eje  $+z$  en la figura 27.45. a) ¿Cuál es el flujo magnético a través de la superficie  $abcd$  en la figura? b) ¿Cuál es el flujo magnético a través de la superficie  $befc$ ? c) ¿Cuál es el flujo magnético a través de

la superficie  $aefd$ ? d) ¿Cuál es el flujo neto a través de las cinco superficies que encierran el volumen sombreado?

**27.13.** Una botella abierta de plástico de bebida gaseosa, con diámetro de apertura de 2.5 cm está colocada sobre una mesa. Un campo magnético uniforme de 1.75 T dirigido hacia arriba y orientado a  $25^\circ$  de la vertical rodea la botella. ¿Cuál es el flujo magnético total a través del plástico de la botella de bebida gaseosa?

**27.14.** Una partícula con carga de  $6.40 \times 10^{-19}$  C recorre una órbita circular con radio de 4.68 mm debido a la fuerza ejercida sobre ella por un campo magnético con magnitud de 1.65 T y perpendicular a la órbita. a) ¿Cuál es la magnitud de la cantidad de movimiento lineal  $\vec{p}$  de la partícula? b) ¿Cuál es la magnitud de la cantidad de movimiento angular  $\vec{L}$  de la partícula?

**27.19. Reactor de fusión.** Si dos núcleos de deuterio (carga  $+e$ , masa  $3.34 \times 10^{-27}$  kg) se acercan lo suficiente, la atracción de la fuerza nuclear fuerte los fundirá y formarán un isótopo de helio, de manera que se liberará una vasta cantidad de energía. El rango de esta fuerza es alrededor de  $10^{-15}$  m. Éste es el principio tras el reactor de fusión. Los núcleos de deuterio se mueven demasiado rápido para ser contenidos por paredes físicas, por lo que se confinan usando el magnetismo.

a) ¿Qué tan rápido tendrían que moverse dos núcleos para que en una colisión de frente se acerquen tanto que se fundan? (Trate a los núcleos como cargas puntuales, y suponga que se requiere una separación de  $1.0 \times 10^{-15}$  para que ocurra la fusión.) b) ¿Qué intensidad de campo magnético se necesita para hacer que núcleos de deuterio con esta rapidez viajen en un círculo de 2.50 m de diámetro?

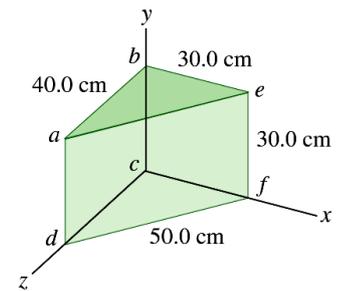
**27.21.** Un deuterón (núcleo de un isótopo de hidrógeno) tiene una masa de  $3.34 \times 10^{-27}$  kg y una carga de  $+e$ . El deuterón se mueve en una trayectoria circular con un radio de 6.96 mm en un campo magnético con magnitud de 2.50 T. a) Encuentre la rapidez del deuterón. b) Calcule el tiempo requerido para que recorra media revolución. c) ¿A través de cuál diferencia de potencial tendría que ser acelerado el deuterón para alcanzar tal rapidez?

**27.25. Un electrón del haz del cinescopio de un televisor es acelerado por una diferencia de potencial de 2.00 kV. Después pasa a través de una región de campo magnético transversal, donde se mueve en un arco circular con 0.180 m de radio. ¿Cuál es la magnitud del campo?**

**27.31. Determinación de la masa de un isótopo.** El campo eléctrico entre las placas del selector de velocidad en un espectrómetro de masas de Bainbridge (véase la figura 27.22) es de  $1.12 \times 10^5$  V/m, y el campo magnético en ambas regiones es de 0.540 T. En el campo magnético, un torrente de iones de selenio con una sola carga cada uno se mueve en trayectoria circular con radio de 31.0 cm. Determine la masa de un ion de selenio y el número de masa de este isótopo de selenio. (El número de masa es igual a la masa del isótopo expresada en unidades de masa atómica, redondeado al entero más cercano. Una unidad de masa atómica =  $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27}$  kg.)

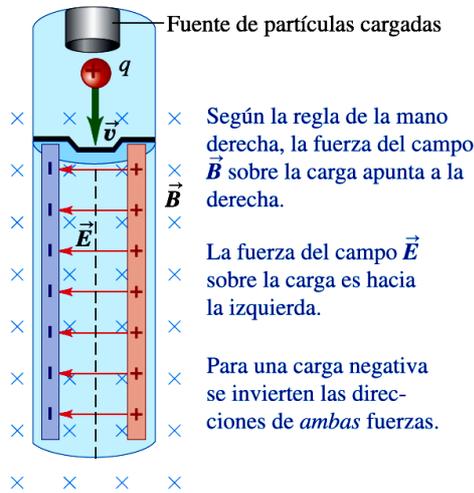
**27.37.** Una varilla horizontal de 0.200 m de largo conduce corriente y está montada en una balanza. En el sitio donde se encuentra la varilla hay un campo magnético uniforme y horizontal con magnitud de 0.067 T y dirección perpendicular a la varilla. Con la balanza, se mide la fuerza magnética sobre la varilla y se observa que es de 0.13 N. ¿Cuál es el valor de la corriente?

**Figura 27.45** Ejercicio 27.12.

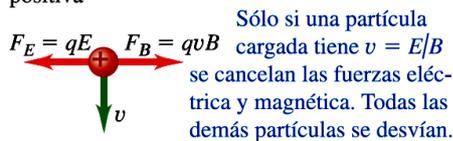


**27.22** a) Un selector de velocidades para partículas cargadas utiliza campos  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  perpendiculares. Tan sólo partículas cargadas con  $v = E/B$  lo cruzan sin sufrir desviación. b) Las fuerzas eléctrica y magnética sobre una carga positiva. Las fuerzas se invierten si la carga es negativa.

a) Diagrama esquemático del selector de velocidad



b) Diagrama de cuerpo libre para una partícula positiva



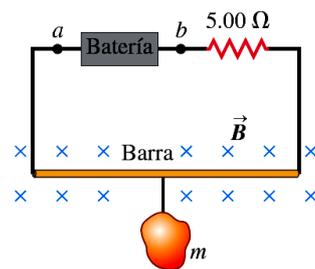
**27.38.** En la figura 27.50, un alambre que conduce corriente hacia el plano de la figura está entre los polos norte y sur de dos imanes de barra. ¿Cuál es la dirección de la fuerza ejercida por los imanes sobre el alambre?

**Figura 27.50** Ejercicio 27.38.



**27.40. Balanza magnética.** El circuito que se ilustra en la figura 27.52 se utiliza para construir una balanza magnética para pesar objetos. La masa  $m$  por medir cuelga del centro de la barra que se halla en un campo magnético uniforme de 1.50 T, dirigido hacia el plano de la figura. El voltaje de la batería se ajusta para hacer variar la corriente en el circuito. La barra horizontal mide 60.0 cm de largo y está hecha de un material extremadamente ligero. Está conectada a la batería mediante alambres delgados verticales que no resisten una tensión apreciable; todo el peso de la masa suspendida  $m$  está soportado por la fuerza magnética sobre la barra. Un resistor con  $R = 5.00 \Omega$  está en serie con la barra; la resistencia del resto del circuito es mucho menor que esto.

**Figura 27.52** Ejercicio 27.40.



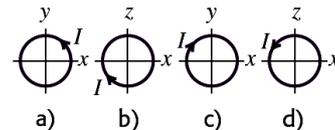
a) ¿Cuál punto,  $a$  o  $b$ , debería ser la terminal positiva de la batería? b) Si el voltaje terminal máximo de la batería es de 175 V, ¿cuál es la masa más grande  $m$  que este instrumento es capaz de medir?

**27.42.** El plano de una espira de alambre rectangular, de 5.0 cm  $\times$  8.0 cm, es paralelo a un campo magnético de 0.19 T. La espira conduce una corriente de 6.2 A. a) ¿Cuál es el par de torsión que actúa sobre la espira? b) ¿Cuál es el momento magnético de la espira? c) ¿Cuál es el par de torsión máximo que se puede obtener con la misma longitud total de alambre que transporte la misma corriente en este campo magnético?

**27.43. Momento magnético del átomo de hidrógeno.** En el modelo de Bohr del átomo de hidrógeno (véase la sección 38.5), en el estado de menor energía, el electrón circunda al protón a una rapidez de  $2.2 \times 10^6$  m/s en una órbita circular de radio  $5.3 \times 10^{-11}$  m. a) ¿Cuál es el periodo orbital del electrón? b) Si el electrón que orbita se considera una espira de corriente, ¿cuál es la corriente  $I$ ? c) ¿Cuál es el momento magnético del átomo debido al movimiento del electrón?

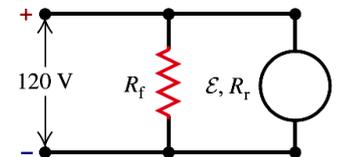
**27.46.** Una bobina circular con área  $A$  y  $N$  vueltas tiene libertad para girar con respecto a un diámetro que coincide con el eje  $x$ . La corriente  $I$  circula en la bobina. Hay un campo magnético uniforme  $\vec{B}$  en la dirección  $z$  positiva. Calcule la magnitud y la dirección del par de torsión  $\vec{\tau}$  y el valor de la energía potencial  $U$ , según se da en la ecuación (27.27), cuando la bobina está orientada como se ilustra en los incisos a) a d) de la figura 27.55.

**Figura 27.55** Ejercicio 27.46.



**\*27.49.** En un motor de cd devanado en derivación, las bobinas de campo y el rotor están conectados en paralelo (figura 27.56). La resistencia  $R_f$  de las bobinas de campo es de 106  $\Omega$ , y la resistencia  $R_r$  del rotor es de 5.9  $\Omega$ . Cuando una diferencia de potencial de 120 V se aplica a las escobillas y el motor funciona a su máxima rapidez, entregando energía mecánica, la corriente que se le suministra es de 4.82 A. a) ¿Cuál es la corriente en las bobinas de campo? b) ¿Cuál es la corriente en el rotor? c) ¿Cuál es la fem inducida que desarrolla el motor? d) ¿Cuánta potencia mecánica desarrolla este motor?

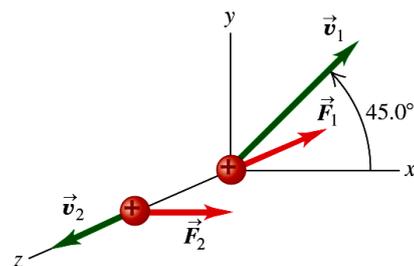
**Figura 27.56** Ejercicios 27.49 y 27.50.



**\*27.52.** La figura 27.57 representa una banda de un metal desconocido de las mismas dimensiones que el listón de plata del ejercicio 27.51. Cuando el campo magnético es de 2.29 T y la corriente es de 78.0 A, la fem de Hall es de 131  $\mu$ V. ¿Cuál es el resultado que proporciona el modelo simplificado del efecto Hall presentado en la sección 27.9, para la densidad de los electrones libres en el metal desconocido?

**27.53.** Cuando una partícula con una carga  $q > 0$  se mueve con una velocidad  $\vec{v}_1$  orientada a  $45.0^\circ$  del eje  $+x$  en el plano  $xy$ , un campo magnético uniforme ejerce una fuerza  $\vec{F}_1$  a lo largo del eje  $-z$  (figura 27.58). Cuando la misma partícula se mueve con velocidad  $\vec{v}_2$  con la misma magnitud que  $\vec{v}_1$  pero a lo largo del eje  $+z$ , se ejerce sobre ella una fuerza  $\vec{F}_2$  de magnitud  $F_2$  a lo largo del eje  $+x$ . a) ¿Cuáles son la magnitud (en términos de  $q$ ,  $v_1$  y  $F_2$ ) y la dirección del campo magnético? b) ¿Cuál es la magnitud de  $\vec{F}_1$  en términos de  $F_2$ ?

**Figura 27.58** Problema 27.53.

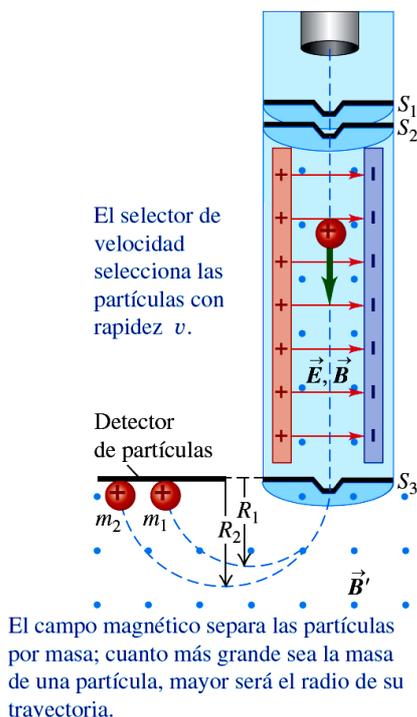


**27.57.** Los polos magnéticos de un ciclotrón pequeño producen un campo magnético con magnitud de 0.85 T. Los polos tienen un radio de 0.40 m, que es el radio máximo de las órbitas de las partículas aceleradas. *a)* ¿Cuál es la energía máxima a la que los protones ( $q = 1.60 \times 10^{-19}$  C,  $m = 1.67 \times 10^{-27}$  kg) se pueden acelerar en este ciclotrón? Exprese la respuesta en electrón volt y joule. *b)* ¿Cuál es el tiempo que se requiere para completar una revolución de un protón que orbite con este radio máximo? *c)* ¿Cuál tendría que ser la magnitud del campo magnético para la máxima energía con la finalidad de que un protón se acelere al doble de lo que se calculó en el inciso *a)*? *d)* Para  $B = 0.85$  T, ¿cuál es la energía máxima a la que las partículas alfa ( $q = 3.20 \times 10^{-19}$  C,  $m = 6.65 \times 10^{-27}$  kg) se pueden acelerar con el ciclotrón? ¿Cómo se compara esto con la energía máxima para los protones?

**27.61.** Una partícula con carga negativa  $q$  y masa  $m = 2.58 \times 10^{-15}$  kg se mueve por una región que contiene un campo magnético uniforme  $\vec{B} = -(0.120 \text{ T})\hat{k}$ . En un instante de tiempo específico, la velocidad de la partícula es  $\vec{v} = (1.05 \times 10^6 \text{ m/s})(-3\hat{i} + 4\hat{j} + 12\hat{k})$  y la fuerza  $\vec{F}$  sobre la partícula tiene una magnitud de 1.25 N. *a)* Determine la carga  $q$ . *b)* Determine la aceleración  $\vec{a}$  de la partícula. *c)* Explique por qué la trayectoria de la partícula es una hélice, y determine el radio de curvatura  $R$  de la componente circular de la trayectoria helicoidal. *d)* Determine la frecuencia de ciclotrón de la partícula. *e)* Aunque el movimiento helicoidal no es periódico en el sentido real de la palabra, las coordenadas  $x$  y  $y$  varían en forma periódica. Si las coordenadas de la partícula en  $t = 0$  son  $(x, y, z) = (R, 0, 0)$ , determine sus coordenadas en el momento  $t = 2T$ , donde  $T$  es el periodo del movimiento en el plano  $xy$ .

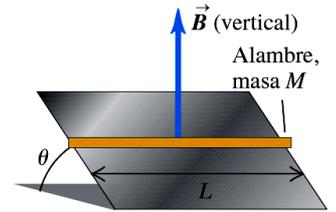
**27.65.** Suponga que el campo eléctrico entre las placas  $P$  y  $P'$  en la figura 27.24 es de  $1.88 \times 10^4$  V/m y el campo magnético en ambas regiones es de 0.701 T. Si la fuente contiene los tres isótopos de criptón,  $^{82}\text{Kr}$ ,  $^{84}\text{Kr}$  y  $^{86}\text{Kr}$ , y los iones tienen una sola carga, encuentre la distancia entre las líneas que los tres isótopos en la placa fotográfica forman. Suponga que las masas atómicas de los isótopos (en unidades de masa atómica) son iguales a sus números de masa 82, 84 y 86. (Una unidad de masa atómica =  $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27}$  kg.)

**27.24** El espectrómetro de masas de Bainbridge utiliza un selector de velocidad para generar partículas con rapidez uniforme  $v$ . En la región del campo magnético  $B'$ , las partículas con mayor masa ( $m_2 > m_1$ ) viajan en trayectorias con radio más grande ( $R_2 > R_1$ ).



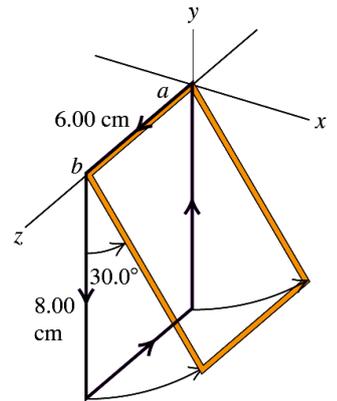
**27.67.** Un tramo recto de alambre conductor con masa  $M$  y longitud  $L$  se coloca en un plano inclinado sin fricción con un ángulo  $\theta$  a partir de la horizontal (figura 27.61). En todos los puntos hay un campo magnético uniforme y vertical  $\vec{B}$  (producido por un arreglo de imanes que no se muestran en la figura). Para evitar que el alambre se deslice por el plano inclinado, se acopla una fuente de voltaje en los extremos del alambre, de modo que el alambre permanece en reposo justo cuando fluye por él la cantidad correcta de corriente. Determine la magnitud y dirección de la corriente en el alambre que hará que esté en reposo. Haga una copia de la figura y dibuje en ella la dirección de la corriente. Además, muestre en un diagrama de cuerpo libre todas las fuerzas que actúan sobre el alambre.

Figura 27.61 Problema 27.67.



**27.75.** La espira rectangular de alambre que se ilustra en la figura 27.65 tiene una masa de 0.15 g por centímetro de longitud, y gira sobre el lado  $ab$  en un eje sin fricción. La corriente en el alambre es de 8.2 A en la dirección que se ilustra. Encuentre la magnitud y la dirección del campo magnético paralelo al eje  $y$  que ocasionará que la espira se balancee hasta que su plano forme un ángulo de  $30.0^\circ$  con el plano  $yz$ .

Figura 27.65 Problema 27.75.



**27.82. Par de torsión sobre una espira de corriente en un campo magnético no uniforme.** En la sección 27.7 se obtuvo la expresión para el par de torsión sobre una espira de corriente, suponiendo que el campo magnético  $\vec{B}$  era uniforme. Pero, ¿qué sucede si  $\vec{B}$  no es uniforme? La figura 27.70 muestra una espira de alambre cuadrada que está en el plano  $xy$ . La espira tiene esquinas en  $(0, 0)$ ,  $(0, L)$ ,  $(L, 0)$  y  $(L, L)$ , y conduce una corriente constante  $I$  en sentido horario. El campo magnético no tiene componente  $z$  pero sí las otras dos componentes,  $x$  y  $y$ :  $\vec{B} = (B_0 y/L)\hat{i} + (B_0 x/L)\hat{j}$ , donde  $B_0$  es una constante positiva. *a)* Dibuje las líneas de campo magnético en el plano  $xy$ . *b)* Encuentre la magnitud y la dirección de la fuerza magnética ejercida sobre cada uno de los lados de la espira al integrar la ecuación (27.20). *c)* Si la espira tiene libertad para girar sobre el eje  $x$ , encuentre la magnitud y la dirección del par de torsión magnético sobre la espira. *d)* Repita el inciso *c)* para el caso en que la espira tiene libertad para girar en torno al eje  $y$ . *e)* ¿La ecuación (27.26),  $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ , es una buena descripción del par de torsión sobre esta espira? ¿Por qué?

## PRÁCTICA 8

### Fuentes de campo magnético

**P28.3.** En el texto se analiza el campo magnético de un conductor infinitamente largo y recto que transporta una corriente. Por supuesto, no hay *nada* que sea infinitamente largo. ¿Cómo decidiría usted que un alambre en particular es suficientemente largo como para considerarlo infinito?

**P28.6.** Suponga que tiene tres alambres largos y paralelos dispuestos de manera que, vistos en sección transversal, se encuentran en los vértices de un triángulo equilátero. ¿Hay algún modo de arreglar las corrientes de manera que los tres alambres se atraigan mutuamente? ¿Y de modo que los tres se repelan entre sí? Explique su respuesta.

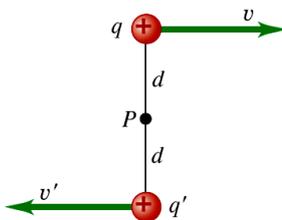
**P28.9.** Se envió una corriente a través de un resorte helicoidal. El resorte se contrajo, como si hubiera sido comprimido. ¿Por qué?

**\*P28.19.** La susceptibilidad magnética de los materiales paramagnéticos depende mucho de la temperatura, pero la de los materiales diamagnéticos casi es independiente de la temperatura. ¿A qué se debe la diferencia?

**28.5.** Una carga de  $-4.80 \mu\text{C}$  se desplaza con rapidez constante de  $6.80 \times 10^5 \text{ m/s}$  en la dirección  $+x$  en relación con un marco de referencia. En el instante en que la carga puntual está en el origen, ¿cuál es el vector de campo magnético que produce en los siguientes puntos? a)  $x = 0.500 \text{ m}$ ,  $y = 0$ ,  $z = 0$ ; b)  $x = 0$ ,  $y = 0.500 \text{ m}$ ,  $z = 0$ ; c)  $x = 0.500 \text{ m}$ ,  $y = 0.500 \text{ m}$ ,  $z = 0$ ; d)  $x = 0$ ,  $y = 0$ ,  $z = 0.500 \text{ m}$ .

**28.7.** La figura 28.33 muestra dos cargas puntuales  $q$  y  $q'$ , que se desplazan en relación con un observador situado en el punto  $P$ . Suponga que la carga inferior en realidad es *negativa*, con  $q' = -q$ . a) Encuentre el campo magnético (magnitud y dirección) producido por las dos cargas en el punto  $P$  si i.  $v' = v/2$ ; ii.  $v' = v$ ; iii.  $v' = 2v$ . b) Calcule la dirección de la fuerza magnética que ejerce  $q$  sobre  $q'$ , y encuentre la dirección de la fuerza magnética que  $q'$  ejerce sobre  $q$ . c) Si  $v = v' = 3.00 \times 10^5 \text{ m/s}$ , ¿cuál es la razón entre la magnitud de la fuerza magnética que actúa sobre cada carga y la magnitud de la fuerza de Coulomb que actúa sobre cada una?

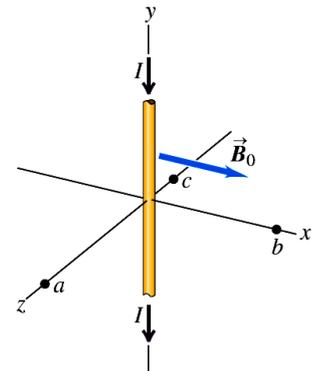
**Figura 28.33** Ejercicios 28.6 y 28.7



**28.11.** Un alambre largo y recto está a lo largo del eje  $z$  y conduce una corriente de  $4.00 \text{ A}$  en la dirección  $+z$ . Determine el campo magnético (magnitud y dirección) producido en los siguientes puntos por un segmento de  $0.500 \text{ mm}$  del alambre con centro en el origen: a)  $x = 2.00 \text{ m}$ ,  $y = 0$ ,  $z = 0$ ; b)  $x = 0$ ,  $y = 2.00 \text{ m}$ ,  $z = 0$ ; c)  $x = 2.00 \text{ m}$ ,  $y = 2.00 \text{ m}$ ,  $z = 0$ ; d)  $x = 0$ ,  $y = 0$ ,  $z = 2.00 \text{ m}$ .

**28.19.** Un alambre largo y recto está a lo largo del eje  $y$  y transporta una corriente  $I = 8.00 \text{ A}$  en la dirección  $-y$  (figura 28.39). Además del campo magnético debido a la corriente en el alambre, hay un campo magnético uniforme  $\vec{B}_0$  con magnitud de  $1.50 \times 10^{-6} \text{ T}$  en la dirección  $+x$ . ¿Cuál es el campo total (magnitud y dirección) en los siguientes puntos del plano  $xz$ : a)  $x = 0$ ,  $z = 1.00 \text{ m}$ ; b)  $x = 1.00 \text{ m}$ ,  $z = 0$ ; c)  $x = 0$ ,  $z = -0.25 \text{ m}$ ?

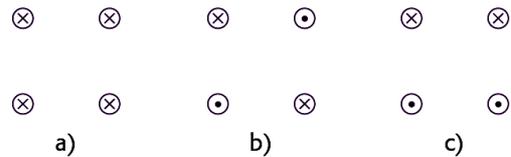
**Figura 28.39** Ejercicio 28.19.



**28.22.** Dos líneas de transmisión largas y paralelas, separadas por una distancia de  $40.0 \text{ cm}$ , conducen corrientes de  $25.0 \text{ A}$  y  $75.0 \text{ A}$ . Determine todas las ubicaciones en que el campo magnético neto de los dos alambres es igual a cero, si las corrientes fluyen a) en el mismo sentido y b) en sentidos opuestos.

**28.23.** Cuatro líneas de energía largas y paralelas conducen corrientes de  $100 \text{ A}$  cada una. El diagrama de la sección transversal de estas líneas es un cuadrado de  $20.0 \text{ cm}$  por lado. Para cada uno de los tres casos que se ilustran en la figura 28.41, calcule el campo magnético en el centro del cuadrado.

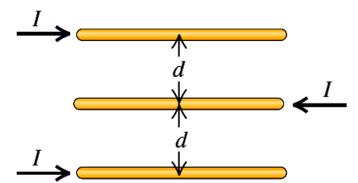
**Figura 28.41** Ejercicio 28.23.



**28.26.** Dos alambres largos y paralelos están separados por una distancia de  $2.50 \text{ cm}$ . La fuerza por unidad de longitud que cada uno ejerce sobre el otro es de  $4.00 \times 10^{-5} \text{ N/m}$ , y los alambres se repelen. La corriente en uno de ellos es de  $0.600 \text{ A}$ . a) ¿Cuál es la corriente en el segundo alambre? b) ¿Las dos corrientes fluyen en el mismo sentido o en sentidos opuestos?

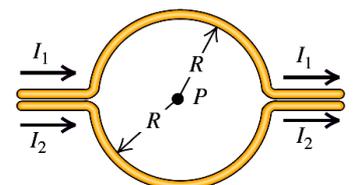
**28.28.** Cada uno de tres alambres paralelos conduce una corriente  $I$  en los sentidos que se indican en la figura 28.44. Si la separación entre alambres adyacentes es  $d$ , calcule la magnitud y dirección de la fuerza magnética por unidad de longitud de cada alambre.

**Figura 28.44** Ejercicio 28.28.



**28.31.** Calcule la magnitud del campo magnético en el punto  $P$  de la figura 28.47 en términos de  $R$ ,  $I_1$  e  $I_2$ . ¿Qué resultado da su expresión cuando  $I_1 = I_2$ ?

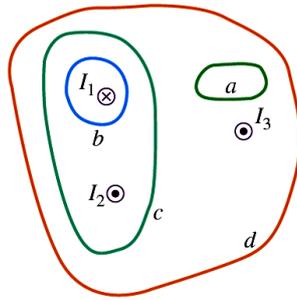
**Figura 28.47** Ejercicio 28.31.



**28.34.** Una bobina con devanado compacto tiene un radio de  $6.0 \text{ cm}$  y conduce una corriente de  $2.50 \text{ A}$ . ¿Cuántas espiras debe tener si en un punto sobre el eje de la bobina que está a  $6.00 \text{ cm}$  de su centro, el campo magnético es de  $6.39 \times 10^{-4} \text{ T}$ ?

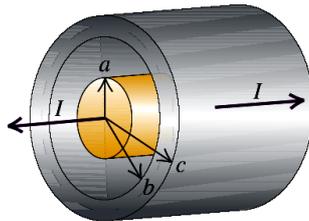
**28.36.** La figura 28.48 muestra, en sección transversal, varios conductores que transportan corrientes a través del plano de la figura. Las corrientes tienen las magnitudes  $I_1 = 4.0$  A,  $I_2 = 6.0$  A, e  $I_3 = 2.0$  A, con las direcciones que se indican. Se presentan cuatro trayectorias, designadas de *a* a *d*. ¿Cuál es la integral de línea  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$  para cada trayectoria? Cada integral implica ir alrededor de la trayectoria en sentido antihorario. Explique sus respuestas.

**Figura 28.48**  
Ejercicio 28.36.



**28.37. Cable coaxial.** Un conductor sólido con radio *a* está sostenido por discos aislantes sobre el eje de un tubo conductor con radio interior *b* y radio exterior *c* (figura 28.49). El conductor y el tubo central conducen corrientes iguales *I* en sentidos opuestos. Las corrientes están distribuidas de manera uniforme sobre las secciones transversales de cada conductor. Obtenga una expresión para la magnitud del campo magnético *a*) en puntos situados afuera del conductor central sólido pero en el interior del tubo ( $a < r < b$ ), y *b*) en puntos situados afuera del tubo ( $r > c$ ).

**Figura 28.49**  
Ejercicio 28.37.



**28.38.** Repita el ejercicio 28.37 para el caso en que la corriente en el conductor central sólido es  $I_1$ , la corriente en el tubo es  $I_2$ , y ambas corrientes fluyen en el mismo sentido y no en sentidos opuestos.

**28.43.** Se ha conseguido un campo magnético de 37.2 T en el Francis Bitter National Magnetic Laboratory del MIT. Calcule la corriente necesaria para generar ese campo *a*) a 2.00 cm de un alambre largo y recto; *b*) en el centro de una bobina circular con radio de 42.0 cm que tiene 100 espiras; *c*) cerca del centro de un solenoide con radio de 2.40 cm, longitud de 32.0 cm y 40,000 espiras.

**28.45.** Sobre un anillo de madera cuyo diámetro medio es de 14.0 cm se ha formado un devanado toroidal compacto de 600 espiras. Calcule la magnitud del campo magnético en el centro de la sección transversal del devanado cuando la corriente en este último es de 0.650 A.

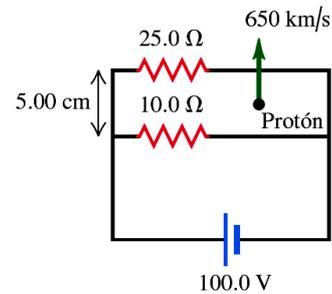
**\*28.47.** Un solenoide toroidal con 500 espiras está devanado sobre un anillo con radio medio de 2.90 cm. Determine la corriente que se requiere en el devanado para generar un campo magnético de 0.350 T en el anillo *a*) si el anillo es de hierro recocido ( $K_m = 1400$ ) y *b*) si el anillo está elaborado de acero al silicio ( $K_m = 5200$ ).

**\*28.49.** Un solenoide largo con 60 espiras de alambre por centímetro conduce una corriente de 0.15 A. El alambre que forma el solenoide está enrollado en torno a un núcleo sólido de acero al silicio ( $K_m = 5200$ ). (El cable del solenoide está encamisado con un aislante para que no fluya ninguna corriente hacia el núcleo.) *a*) Con respecto a un punto en el interior del núcleo, encuentre las magnitudes de i) el campo magnético  $\vec{B}_0$  debido a la corriente en el solenoide; ii) la magnetización  $\vec{M}$ ; iii) el campo magnético total  $\vec{B}$ . *b*) En un diagrama del solenoide y su núcleo, indique las direcciones de los vectores  $\vec{B}$ ,  $\vec{B}_0$  y  $\vec{M}$  en el interior del núcleo.

**28.52.** Un alambre largo y recto conduce una corriente de 2.50 A. Un electrón viaja en la vecindad del alambre. En el instante en que el electrón está a 4.50 cm del alambre y viaja con una rapidez de  $6.00 \times 10^4$  m/s directamente hacia el alambre, ¿cuáles son la magnitud y dirección (en relación con la dirección de la corriente) de la fuerza que ejerce el campo magnético de la corriente sobre el electrón?

**28.54.** En la figura 28.51, el ramal del circuito que incluye la batería está muy lejos de los dos segmentos horizontales que contienen dos resistores. Estos segmentos horizontales están separados por una distancia de 5.00 cm y su longitud es mucho mayor que 5.00 cm. Se lanza un protón (carga, +*e*) a 650 km/s desde un punto intermedio entre los dos segmentos horizontales superiores del circuito. La velocidad inicial del protón está en el plano del circuito y se dirige hacia el alambre de arri-

**Figura 28.51** Problema 28.54.

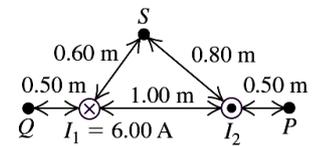


*ba.* Determine la magnitud y dirección de la fuerza magnética inicial sobre el protón.

**28.57.** Una carga puntual negativa  $q = -7.20$  mC se desplaza en un marco de referencia. Cuando la carga puntual está en el origen, el campo magnético que produce en el punto  $x = 25.0$  cm,  $y = 0$ ,  $z = 0$ , es  $\vec{B} = (6.00 \mu\text{T})\hat{j}$ , y su rapidez es de 800 km/s. *a*) ¿Cuáles son las componentes *x*, *y* y *z* de la velocidad  $\vec{v}_0$  de la carga? *b*) En ese mismo instante, ¿cuál es la magnitud del campo magnético que la carga produce en el punto  $x = 0$ ,  $y = 25.0$  cm,  $z = 0$ ?

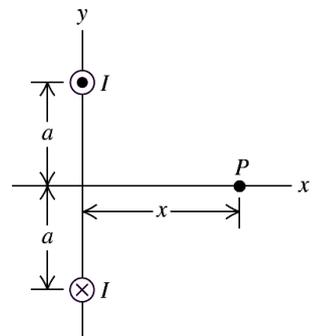
**28.59.** Dos alambres largos, rectos y paralelos están separados por una distancia de 1.00 m (figura 28.53). El alambre de la izquierda conduce una corriente  $I_1$  de 6.00 A hacia el plano del papel. *a*) ¿Cuáles deben ser la magnitud y el sentido de la corriente  $I_2$  para que el campo neto en el punto *P* sea cero? *b*) ¿Cuáles son la magnitud y la dirección del campo neto en *Q*? *c*) ¿Cuál es la magnitud del campo neto en *S*?

**Figura 28.53**  
Problema 28.59.



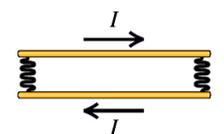
**28.60.** La figura 28.54 muestra la vista desde un extremo de dos alambres largos y paralelos, perpendiculares al plano *xy*, cada uno de los cuales conduce una corriente *I* pero en sentidos opuestos. *a*) Copie el diagrama y dibuje los vectores que muestren el campo  $\vec{B}$  en cada alambre y el campo  $\vec{B}$  neto en el punto *P*. *b*) Obtenga la expresión para la magnitud de  $\vec{B}$  en cualquier punto del eje *x* en términos de la coordenada *x* del punto. ¿Cuál es la dirección de  $\vec{B}$ ? *c*) Dibuje la gráfica de la magnitud de  $\vec{B}$  en puntos sobre el eje *x*. *d*) ¿En qué valor de *x* es máxima la magnitud de  $\vec{B}$ ? *e*) ¿Cuál es la magnitud de  $\vec{B}$  cuando  $x \gg a$ ?

**Figura 28.54** Problemas 28.60 y 28.61.



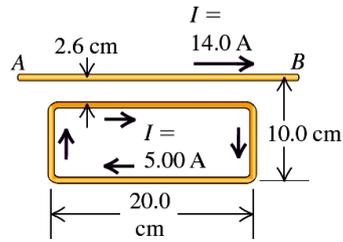
**28.62.** Un par de varillas metálicas largas y rígidas, cada una de longitud *L*, están paralelas sobre una mesa perfectamente lisa. Se conectan sus extremos con resortes conductores idénticos, muy ligeros, con constante de fuerza *k* (figura 28.55) y cuya longitud es despreciable cuando no se encuentran estirados. Si una corriente *I* circula por el circuito, los resortes se estirarán. ¿Con qué separación las varillas permanecerán en reposo? Suponga que *k* es suficientemente grande para que la separación de las varillas sea mucho menor que *L*.

**Figura 28.55**  
Problema 28.62.



**28.64.** El alambre largo, recto,  $AB$ , que se ilustra en la figura 28.57, conduce una corriente de 14.0 A. La espira rectangular cuyos lados largos son paralelos al alambre conduce una corriente de 5.00 A. Encuentre la magnitud y dirección de la fuerza neta que el campo magnético del alambre ejerce sobre la espira.

**Figura 28.57** Problema 28.64.



**28.71.** Un alambre largo, recto, con sección transversal circular de radio  $R$ , conduce una corriente  $I$ . Suponga que la densidad de corriente no es constante en toda la sección transversal del alambre, sino que varía según  $J = \alpha r$ , donde  $\alpha$  es una constante. *a)* De acuerdo con el requerimiento de que  $J$  integrada sobre la sección transversal del alambre da la corriente total  $I$ , calcule la constante  $\alpha$  en términos de  $I$  y  $R$ . *b)* Con base en la ley de Ampère, calcule el campo magnético  $B(r)$  correspondiente a i)  $r \leq R$ , y ii)  $r \geq R$ . Exprese sus respuestas en términos de  $I$ .

## PRÁCTICA 9

### Inducción electromagnética

**P29.1.** Se coloca una lámina de cobre entre los polos de un electroimán con el campo magnético perpendicular a la lámina. Cuando se tira de la lámina hacia fuera, se requiere una fuerza considerable, la cual aumenta con la rapidez. Explique este fenómeno.

**P29.4.** Un granjero afirma que las líneas de transmisión de alto voltaje que corren paralelas a su cercado inducen altos voltajes peligrosos sobre la cerca. ¿Es esto posible? Explique. (Las líneas conducen corriente que cambia de sentido 120 veces cada segundo.)

**P29.6.** Un estudiante asegura que si se deja caer en forma vertical un imán permanente por un tubo de cobre, el imán alcanza tarde o temprano una velocidad terminal aunque no exista resistencia del aire. ¿Por qué tendría que ser así? ¿O debe ser así?

**P29.9.** Un rectángulo de metal está cerca de un alambre largo, recto y que conduce corriente, con dos de sus lados paralelos al alambre. Si la corriente en el alambre largo está disminuyendo, ¿el rectángulo es repelido o atraído por el alambre? Explique por qué es congruente este resultado con la ley de Lenz.

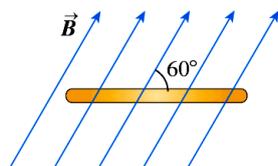
**P29.16.** Un compañero con quien estudia física le pide que considere un capacitor de placas paralelas que tiene un dieléctrico que llena por completo el volumen entre sus placas. Él afirma que las ecuaciones (29.13) y (29.14) demuestran que la corriente de conducción en el dieléctrico es igual a la corriente de desplazamiento en el dieléctrico. ¿Está de acuerdo? Explique su respuesta.

**29.2.** En un experimento en un laboratorio de física, una bobina con 200 espiras que encierra un área de  $12 \text{ cm}^2$  se hace girar en  $0.040 \text{ s}$  desde una posición en que su plano es perpendicular al campo magnético de la Tierra hasta otra en que el plano queda paralelo al campo. El campo magnético terrestre en la ubicación del laboratorio es  $6.0 \times 10^{-5} \text{ T}$ . a) ¿Cuál es el flujo magnético total a través de la bobina antes de hacerla girar? b) ¿Y después del giro? c) ¿Cuál es la fem media inducida en la bobina?

**29.4.** Una bobina exploradora con devanado compacto (ejercicio 29.3), tiene un área de  $3.20 \text{ cm}^2$ , 120 espiras y resistencia de  $60.0 \Omega$ . Está conectada a un instrumento que mide la carga y cuya resistencia es de  $45.0 \Omega$ . Cuando la bobina se hace girar con rapidez desde una posición paralela a un campo magnético uniforme hasta otra perpendicular al campo, el instrumento indica una carga de  $3.56 \times 10^{-5} \text{ C}$ . ¿Cuál es la magnitud del campo?

**29.8.** Una espira de acero plano y circular de radio  $75 \text{ cm}$  se encuentra en reposo en un campo magnético uniforme, cuya vista de perfil se ilustra de la figura 29.28. El campo cambia con el tiempo, de acuerdo con la expresión  $B(t) = (1.4 \text{ T})e^{-(0.057 \text{ s}^{-1})t}$ . a) Calcule la fem inducida en la espira como función del tiempo. b) ¿Cuándo es la fem inducida igual a  $\frac{1}{10}$  de su valor inicial? c) Determine el sentido de la corriente inducida en la espira, viendo esta última desde arriba.

**Figura 29.28** Ejercicio 29.8.



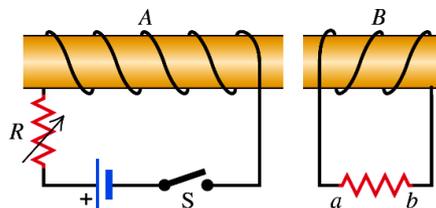
**29.9. Espira que se encoge.** Una espira circular de alambre de hierro flexible tiene una circunferencia inicial de  $165.0 \text{ cm}$ , pero su circunferencia disminuye con una rapidez constante de  $12.0 \text{ cm/s}$  debido a una fuerza tangencial que tira del alambre. La espira se encuentra en un campo magnético uniforme y constante, orientado perpendicularmente al plano de la espira y con magnitud de  $0.500 \text{ T}$ . a) Determine la fem inducida en la espira en el instante en que han transcurrido  $9.0 \text{ s}$ . b) Determine el sentido de la corriente inducida en la espira, vista a lo largo de la dirección del campo magnético.

**29.13.** El inducido de un generador pequeño consiste en una bobina plana y cuadrada con 120 espiras y cuyos lados tienen una longitud de  $1.60 \text{ cm}$ . La bobina gira en un campo magnético de  $0.0750 \text{ T}$ . ¿Cuál es la rapidez angular de la bobina si la fem máxima producida es de  $24.0 \text{ mV}$ ?

**29.17.** Con base en la ley de Lenz, determine el sentido de la corriente en el resistor  $ab$  de la figura 29.33 cuando a) se abre el interruptor  $S$  después de haber estado cerrado durante varios

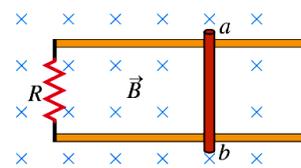
minutos; b) la bobina  $B$  se acerca a la bobina  $A$  con el interruptor cerrado; c) se reduce la resistencia de  $R$  mientras el interruptor permanece cerrado.

**Figura 29.33** Ejercicio 29.17.



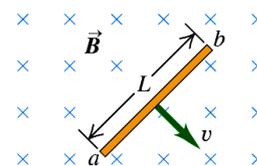
**Figura 29.36** Ejercicio 29.20 y problema 29.64.

**29.20.** Se tira hacia la derecha de una barra metálica de  $1.50 \text{ m}$  de longitud con rapidez uniforme de  $5.0 \text{ cm/s}$  en dirección perpendicular a un campo magnético uniforme de  $0.750 \text{ T}$ . La barra corre sobre rieles metálicos paralelos conectados por medio de un resistor de  $25.0 \Omega$ , como se ilustra en la figura 29.36, de manera que el aparato forma un circuito completo. Se puede ignorar la resistencia de la barra y los rieles. a) Calcule la magnitud de la fem inducida en el circuito. b) Determine el sentido de la corriente inducida en el circuito i) con base en la fuerza magnética sobre las cargas en la barra móvil; ii) con base en la ley de Faraday; iii) con base la ley de Lenz. c) Calcule la corriente a través del resistor.



**29.21.** En la figura 29.37, una varilla conductora con longitud  $L = 30.0 \text{ cm}$  se mueve en un campo magnético  $\vec{B}$  de magnitud  $0.450 \text{ T}$  dirigido hacia el plano de la figura. La varilla se desplaza con rapidez  $v = 5.00 \text{ m/s}$  en el sentido que se ilustra.

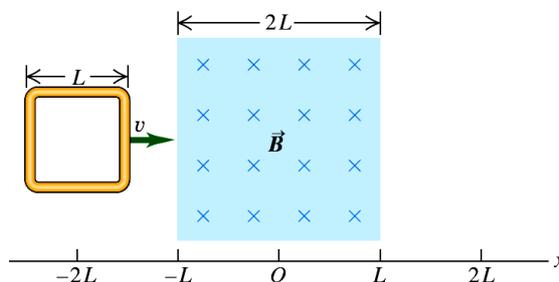
**Figura 29.37** Ejercicio 29.21.



a) ¿Cuál es la diferencia de potencial entre los extremos de la varilla? b) ¿Cuál punto,  $a$  o  $b$ , está a mayor potencial? c) Cuando las cargas en la barra están en equilibrio, ¿cuáles son la magnitud y dirección del campo eléctrico dentro de la varilla? d) Cuando las cargas en la varilla están en equilibrio, ¿cuál punto,  $a$  o  $b$ , tiene un exceso de carga positiva? e) ¿Cuál es la diferencia de potencial a través de la varilla si se desplaza i) en forma paralela a  $ab$ , y ii) directamente hacia fuera de la página?

**29.26.** Una espira cuadrada de alambre con arista  $L$  y resistencia  $R$  se mueve con rapidez constante  $v$  a través de un campo magnético uniforme confinado a una región cuadrada cuyos lados miden el doble de longitud que los de la espira cuadrada (figura 29.39). a) Elabore una gráfica de la fuerza externa  $F$  necesaria para mover la espira con rapidez constante como función de la coordenada  $x$ , de  $x = -2L$  a  $x = +2L$ . (La coordenada  $x$  está medida del centro de la región del campo magnético al centro de la espira. Es negativa cuando el centro de la espira está a la izquierda del centro de la región del campo magnético.)

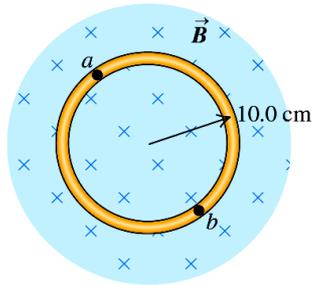
**Figura 29.39** Ejercicio 29.26.



Tome la fuerza positiva hacia la derecha.) *b*) Elabore una gráfica de la corriente inducida en la espira como función de  $x$ . Tome como positivas las corrientes que vayan en sentido antihorario.

**29.30.** El campo magnético  $\vec{B}$  en todos los puntos del círculo coloreado que se muestra en la figura 29.31 tiene una magnitud inicial de 0.750 T. (El círculo podría representar aproximadamente el espacio dentro de un solenoide largo y delgado.) El campo magnético está dirigido hacia el plano del diagrama y disminuye a razón de  $-0.0350$  T/s. *a*) ¿Cuál es la forma de las líneas del campo eléctrico inducido que se ilustra en la figura 29.31, dentro del círculo coloreado? *b*) ¿Cuáles son la magnitud y dirección de este campo en cualquier punto del anillo conductor circular con radio 0.100 m? *c*) ¿Cuál es la corriente en el anillo si su resistencia es de  $4.00 \Omega$ . *d*) ¿Cuál es la fem entre los puntos *a* y *b* del anillo? *e*) Si el anillo se cortara en algún punto y los extremos se separaran ligeramente, ¿cuál sería la fem entre ellos?

**Figura 29.31** Ejercicios 29.15 y 29.30.



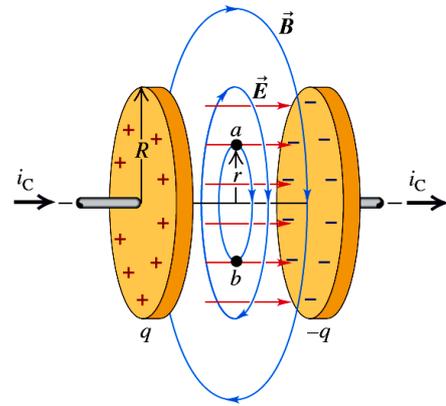
**29.32.** Un anillo metálico de 4.50 cm de diámetro está colocado entre los polos norte y sur de imanes grandes con el plano de su área perpendicular al campo magnético. Estos imanes producen un campo inicial uniforme de 1.12 T entre ellos, pero se separan gradualmente, de manera que el campo sigue siendo uniforme aunque disminuye en forma sostenida a 0.250 T/s. *a*) ¿Cuál es la magnitud del campo eléctrico inducido en el anillo? *b*) ¿En qué sentido (horario o antihorario) fluye la corriente de acuerdo con la perspectiva de alguien que se encuentre en el polo sur del imán?

**29.33.** Un solenoide largo y recto, con área de sección transversal de  $8.00 \text{ cm}^2$ , tiene un devanado de 90 espiras de alambre por centímetro, las cuales conducen una corriente de 0.350 A. Un segundo devanado de 12 espiras envuelve al solenoide en su centro. La corriente en el solenoide cesa de manera que su campo magnético se hace igual a cero en 0.0400 s. ¿Cuál es la fem inducida media en el segundo devanado?

**29.36.** Un capacitor de placas paralelas, lleno de aire, se está cargando como en la figura 29.23. Las placas circulares tienen un radio de 4.00 cm, y en un instante particular la corriente de conducción en los alambres es de 0.280 A. *a*) ¿Cuál es la densidad de la corriente de desplazamiento  $j_D$  en el espacio de aire entre las placas? *b*) ¿Cuál es la tasa con la que cambia el campo eléctrico entre las placas? *c*) ¿Cuál es el campo magnético inducido entre las placas a una distancia de 2.00 cm del eje? *d*) ¿Y a 1.00 cm del eje?

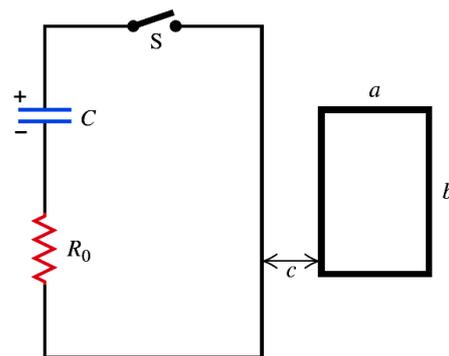
**29.38.** En la figura 29.23 las placas del capacitor tienen un área de  $5.00 \text{ cm}^2$  y una separación de 2.00 mm. Las placas están en vacío. La corriente de carga  $i_C$  tiene un valor constante de 1.80 mA. En  $t = 0$  la carga en las placas es cero. *a*) Calcule la carga en las placas, el campo eléctrico entre ellas y la diferencia de potencial entre las placas cuando  $t = 0.500 \mu\text{s}$ . *b*) Calcule  $dE/dt$ , la tasa de cambio con respecto al tiempo, del campo eléctrico entre las placas. ¿Varía  $dE/dt$  con el tiempo? *c*) Calcule la densidad de corriente de desplazamiento  $j_D$  entre las placas y, a partir de este dato, la corriente de desplazamiento total  $i_D$ . ¿Cómo son comparativamente  $i_C$  e  $i_D$ .

**29.23** Un capacitor que se carga con una corriente  $i_C$  tiene una corriente de desplazamiento igual a  $i_C$  entre las placas, con una densidad de corriente de desplazamiento  $j_D = \epsilon dE/dt$ . Ésta se puede considerar como la fuente del campo magnético entre las placas.



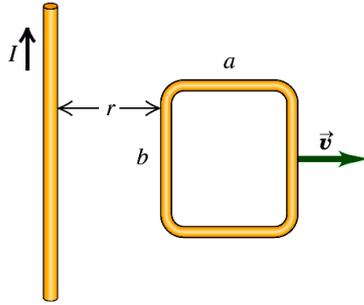
**29.45.** En el circuito que se aprecia en la figura 29.41, el capacitor tiene una capacitancia  $C = 20 \mu\text{F}$  e inicialmente se carga a 100 V con la polaridad que se indica. El resistor  $R_0$  tiene una resistencia de  $10 \Omega$ . En el momento  $t = 0$  se cierra el interruptor. El circuito pequeño no está conectado de ninguna forma al circuito grande. El alambre del circuito pequeño tiene una resistencia de  $1.0 \Omega/\text{m}$  y contiene 25 espiras. El circuito grande es un rectángulo de 2.0 por 4.0 m, mientras que el pequeño tiene dimensiones  $a = 10.0 \text{ cm}$  y  $b = 20.0 \text{ cm}$ . La distancia  $c$  es de 5.0 cm. (La figura no está dibujada a escala.) Ambos circuitos están fijos. Suponga que sólo el alambre más cercano al circuito pequeño produce un campo magnético apreciable a través de él. *a*) Determine la corriente en el circuito grande 200  $\mu\text{s}$  después de que se cerró S. *b*) Calcule la corriente en el circuito pequeño 200  $\mu\text{s}$  después de haber cerrado S. (Sugerencia: véase el problema 29.7.) *c*) Determine el sentido de la corriente en el circuito pequeño. *d*) Justifique por qué se puede ignorar el campo magnético de todos los alambres del circuito grande, excepto el del que está más cerca del circuito pequeño.

**Figura 29.41** Problema 29.45.



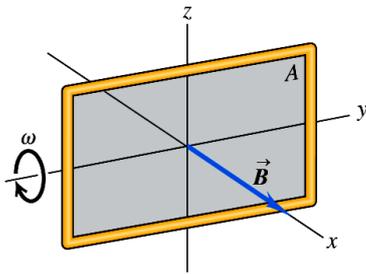
**29.49.** En la figura 29.44, se tira de la espira hacia la derecha a velocidad constante,  $v$ . Una corriente constante  $I$  fluye en el alambre largo, en el sentido que se indica. *a*) Calcule la magnitud de la fem neta  $\mathcal{E}$  inducida en la espira. Haga esto de dos modos: i) con base en la ley de Faraday de la inducción (Sugerencia: véase el problema 29.7) y ii) examinando la fem inducida en cada segmento de la espira debido al movimiento de ésta. *b*) Encuentre el sentido (horario o antihorario) de la corriente inducida en la espira. Haga esto de dos maneras: i) con base en la ley de Lenz y ii) a partir de la fuerza magnética sobre las cargas en la espira. *c*) Compruebe su respuesta para la fem del inciso *a*) en los siguientes casos especiales para ver si es físicamente razonable: i) La espira está fija; ii) la espira es muy delgada, de manera que  $a \rightarrow 0$ ; iii) la espira está muy lejos del alambre.

Figura 29.44 Problema 29.49.



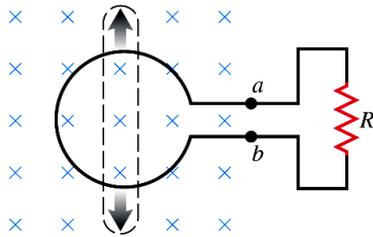
29.50. Suponga que la espira en la figura 29.45 se hace girar a) en torno al eje  $y$ ; b) en torno al eje  $x$ ; c) en torno a un borde paralelo al eje  $z$ . ¿Cuál es la fem máxima inducida en cada caso si  $A = 600 \text{ cm}^2$ ,  $\omega = 35.0 \text{ rad/s}$  y  $B = 0.450 \text{ T}$ ?

Figura 29.45 Problema 29.50.



29.53. Una espira circular flexible de 6.50 cm de diámetro está en un campo magnético con magnitud de 0.950 T, dirigido hacia el plano de la página, como se ilustra en la figura 29.46. Se tira de la espira en los puntos indicados por las flechas, para formar una espira de área igual a cero en 0.250 s. a) Calcule la fem inducida media en el circuito. b) ¿Cuál es el sentido de la corriente en  $R$ : de  $a$  a  $b$  o de  $b$  a  $a$ ? Explique su razonamiento.

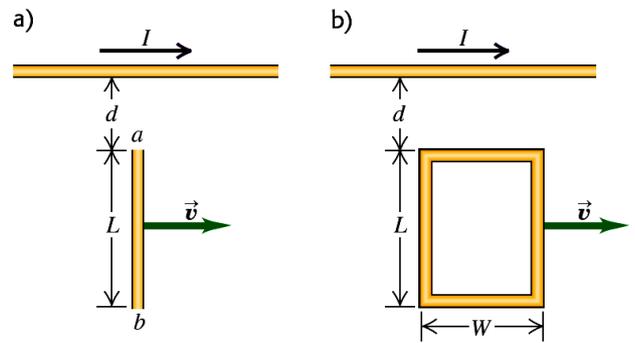
Figura 29.46 Problema 29.53.



29.58. **Fem en una bala.** En el ecuador, el campo magnético de la Tierra es aproximadamente horizontal, está dirigido hacia el norte y tiene un valor de  $8 \times 10^{-5} \text{ T}$ . a) Estime la fem inducida entre las partes superior e inferior de una bala disparada horizontalmente a un blanco en el ecuador, si la bala se dispara hacia el este. Suponga que la bala tiene longitud de 1 cm, diámetro de 0.4 cm y se desplaza a 300 m/s. ¿Cuál está a mayor potencial: la parte superior o la parte inferior de la bala? b) ¿Cuál es la fem si la bala viaja hacia el sur? c) ¿Cuál es la fem inducida entre las partes anterior y posterior de la bala con cualquier velocidad horizontal?

29.61. El alambre largo y recto que se muestra en la figura 29.51a conduce una corriente constante  $I$ . Una barra metálica con longitud  $L$  se mueve a velocidad constante  $\vec{v}$ , como se indica en la figura. El punto  $a$  está a una distancia  $d$  del alambre. a) Calcule la fem inducida en la barra. b) ¿Cuál punto,  $a$  o  $b$ , está a mayor potencial? c) Si se reemplaza la barra por una espira rectangular de alambre de resistencia  $R$  (figura 29.51b), ¿cuál sería la magnitud de la corriente inducida en la espira?

Figura 29.51 Problema 29.61.



29.66. Una varilla metálica de 25.0 cm de largo está en el plano  $xy$  y forma un ángulo de  $36.9^\circ$  con el eje positivo de las  $x$ , y un ángulo de  $53.1^\circ$  con el eje positivo de las  $y$ . La varilla se mueve en la dirección  $+x$  con una rapidez de 4.20 m/s, y está en un campo magnético uniforme  $\vec{B} = (0.120 \text{ T})\hat{i} - (0.220 \text{ T})\hat{j} - (0.0900 \text{ T})\hat{k}$ . a) ¿Cuál es la magnitud de la fem inducida en la varilla? b) Indique cuál extremo de la varilla está a un potencial mayor.

## PRÁCTICA 10

### Inductancia

**P30.4.** El solenoide toroidal con devanado muy compacto es una de las pocas configuraciones para las que es fácil calcular la autoinductancia. ¿Cuáles son las características que le dan esta simplicidad?

**P30.7.** Usted va a construir un resistor devanando un alambre alrededor de un cilindro. Para hacer la inductancia tan pequeña como sea posible, le proponen que enrolle la mitad del alambre en un sentido, y la otra mitad en sentido contrario. ¿Esto daría el resultado que busca? ¿Por qué?

**P30.9.** En la sección 30.5, la ley de Kirchhoff de las mallas se aplica a un circuito  $L$ - $C$  donde el capacitor está inicialmente cargado por completo y se obtiene la ecuación  $-L di/dt - q/C = 0$ . Pero conforme el capacitor comienza a descargarse, la corriente se incrementa desde cero. La ecuación nos dice que  $L di/dt = -q/C$ ; por lo tanto, afirma que  $L di/dt$  es negativo. Explique cómo puede ser negativo  $L di/dt$  si la corriente va en aumento.

**P30.11.** En el circuito  $R$ - $L$  que se ilustra en la figura 30.11, cuando se cierra el interruptor  $S_1$ , el potencial  $v_{ab}$  cambia súbitamente y en forma discontinua, no así la corriente. Explique por qué el voltaje puede cambiar de pronto pero la corriente no.

**P30.14.** En un circuito  $R$ - $L$ - $C$ , ¿qué criterio podría emplearse para decidir si el sistema está sobreamortiguado o subamortiguado? Por ejemplo, ¿podríamos comparar la máxima energía almacenada durante un ciclo con la energía disipada durante un ciclo? Explique.

**30.2.** Dos bobinas están devanadas alrededor de la misma forma cilíndrica, como las del ejemplo 30.1. Cuando la corriente en la primera bobina disminuye a una tasa de  $-0.242$  A/s, la fem inducida en la segunda tiene una magnitud de  $1.65 \times 10^{-3}$  V. *a)* ¿Cuál es la inductancia mutua del par de bobinas? *b)* Si la segunda bobina tiene 25 espiras, ¿cuál es el flujo a través de cada espira cuando la corriente en la primera bobina es igual a 1.20 A? *c)* Si la corriente en la segunda bobina aumenta a razón de 0.360 A/s, ¿cuál es la magnitud de la fem inducida en la primera bobina?

**30.6.** Un solenoide toroidal tiene 500 espiras, área de sección transversal de  $6.25$  cm<sup>2</sup>, y radio medio de 4.00 cm. *a)* Calcule la autoinductancia de la bobina. *b)* Si la corriente disminuye de manera uniforme de 5.00 A a 2.00 A en 3.00 ms, calcule la fem autoinducida en la bobina. *c)* La corriente se dirige de la terminal  $a$  de la bobina a la  $b$ . El sentido de la fem inducida, ¿es de  $a$  a  $b$ , o de  $b$  a  $a$ ?

**30.7.** En el instante en que la corriente en un inductor aumenta a razón de 0.0640 A/s, la magnitud de la fem autoinducida es 0.0160 V. *a)* ¿Cuál es la inductancia del inductor? *b)* Si el inductor es un solenoide con 400 espiras, ¿cuál es el flujo magnético medio a través de cada espira, cuando la corriente es de 0.720 A?

**30.13.** Un solenoide toroidal lleno de aire tiene un radio medio de 15.0 cm y área de sección transversal de 5.00 cm<sup>2</sup>. Cuando la corriente es de 12.0 A, la energía almacenada es de 0.390 J. ¿Cuántas espiras tiene el devanado?

**30.18.** Se ha propuesto almacenar  $1.00$  kW · h =  $3.60 \times 10^6$  J de energía eléctrica en un campo magnético uniforme con magnitud de 0.600 T. *a)* ¿Qué volumen (en el vacío) debe ocupar el campo magnético para almacenar esa cantidad de energía? *b)* Si en vez de lo anterior, esa cantidad de energía fuera a almacenarse en un volumen (en el vacío) equivalente a un cubo de 40.0 cm por lado, ¿cuál sería el campo magnético que se requiere?

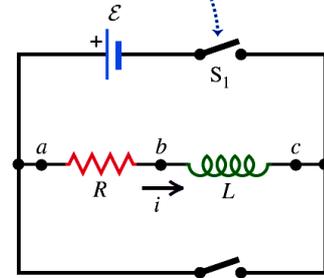
**30.20.** Un resistor de 15.0  $\Omega$  y una bobina se encuentran conectados en serie con una batería de 6.30 V con resistencia interna despreciable y un interruptor cerrado. *a)* 2.00 ms después de abrir el interruptor, la corriente ha disminuido a 0.210 A. Calcule la inductancia de la bobina. *b)* Calcule la constante de tiempo en el circuito. *c)* ¿Cuánto tiempo después de haber cerrado el interruptor la corriente alcanzará el 1.00% de su valor original?

**30.22.** En la figura 30.11, el interruptor  $S_1$  está cerrado mientras el interruptor  $S_2$  se encuentra abierto. La inductancia es  $L = 0.115$  H y la resistencia es  $R = 120$   $\Omega$ . *a)* Cuando la corriente ha alcanzado su valor final, la energía almacenada en el inductor es de 0.260 J. ¿Cuál es la

fem  $\mathcal{E}$  de la batería? *b)* Después de que la corriente ha alcanzado su valor final, se abre  $S_1$  y se cierra  $S_2$ . ¿Cuánto tiempo se requiere para que la energía almacenada en el inductor disminuya a 0.130 J, la mitad de su valor original?

### 30.11 Un circuito $R$ - $L$ .

Al cerrar el interruptor  $S_1$  se conecta la combinación  $R$ - $L$  en serie con una fuente de fem  $\mathcal{E}$ .



Al cerrar el interruptor  $S_2$  al mismo tiempo que se abre  $S_1$  se desconecta la combinación de la fuente.

**30.25.** En la figura 30.11, suponga que  $\mathcal{E} = 60.0$  V,  $R = 240$   $\Omega$  y  $L = 0.160$  H. Con el interruptor  $S_2$  abierto, se deja cerrado el  $S_1$  hasta que se establece una corriente constante. Después se cierra el  $S_2$  se abre el  $S_1$ , y se retira la batería del circuito. *a)* ¿Cuál es la corriente inicial en el resistor, inmediatamente después de haber cerrado  $S_2$  y de abrir  $S_1$ ? *b)* ¿Cuál es la corriente en el resistor en  $t = 4.00 \times 10^{-4}$  s? *c)* ¿Cuál es la diferencia de potencial entre los puntos  $b$  y  $c$  en  $t = 4.00 \times 10^{-4}$  s? ¿Cuál punto está a un potencial mayor? *d)* ¿Cuánto tiempo se requiere para que la corriente disminuya a la mitad de su valor inicial?

**30.31. Oscilaciones de  $L$ - $C$ .** Un capacitor con capacitancia de  $6.00 \times 10^{-5}$  F se carga conectándolo a una batería de 12.0 V. El capacitor se desconecta de la batería y se conecta entre los extremos de un inductor con  $L = 1.50$  H. *a)* ¿Cuáles son la frecuencia angular  $\omega$  de las oscilaciones eléctricas y el periodo de estas oscilaciones (el tiempo de una oscilación)? *b)* ¿Cuál es la carga inicial en el capacitor? *c)* ¿Cuánta energía hay almacenada inicialmente en el capacitor? *d)* ¿Cuál es la carga en el capacitor 0.0230 s después de haberlo conectado con el inductor? Interprete el signo de la respuesta. *e)* En el momento citado en el inciso *d)*, ¿cuál es la corriente en el inductor? Interprete el signo de su respuesta. *f)* En el momento citado en el inciso *d)*, ¿cuánta energía eléctrica hay almacenada en el capacitor y cuánta en el inductor?

**30.32. Circuito de sintonización de un radio.** La capacitancia mínima de un capacitor variable de un radio es de 4.18 pF. *a)* ¿Cuál es la inductancia de una bobina conectada a este capacitor si la frecuencia de oscilación del circuito  $L$ - $C$  es de  $1600 \times 10^3$  Hz, correspondiente a un extremo de la banda de radiodifusión de AM, cuando se ajusta el capacitor a su capacitancia mínima? *b)* La frecuencia en el otro extremo de la banda de difusión es de  $540 \times 10^3$  Hz. ¿Cuál es la capacitancia máxima del capacitor si la frecuencia de oscilación es ajustable en todo el intervalo de la banda de difusión?

**30.33.** Un circuito  $L$ - $C$ , que contiene un inductor de 80.0 mH y un capacitor de 1.25 nF, oscila con una corriente máxima de 0.750 A. Calcule: *a)* la carga máxima en el capacitor y *b)* la frecuencia de oscilación del circuito. *c)* Suponiendo que el capacitor tiene su carga máxima en el momento  $t = 0$ , calcule la energía almacenada en el inductor después de 2.50 ms de oscilación.

**30.34.** En un circuito  $L$ - $C$ ,  $L = 85.0$  mH y  $C = 3.20$   $\mu$ F. Durante las oscilaciones, la corriente máxima en el inductor es de 0.850 mA. *a)* ¿Cuál es la carga máxima en el capacitor? *b)* ¿Cuál es la magnitud de la carga en el capacitor en el instante en que la corriente en el inductor tiene una magnitud de 0.500 mA?

**30.43.** Un solenoide está centrado dentro de otro. El solenoide exterior tiene una longitud de 50.0 cm y contiene 6750 espiras, mientras que el solenoide interior coaxial mide 3.0 cm de largo, 0.120 cm de diámetro y contiene 15 espiras. La corriente en el solenoide exterior cambia a 37.5 A/s. *a)* ¿Cuál es la inductancia mutua de los solenoides? *b)* Calcule la fem inducida en el solenoide interno.

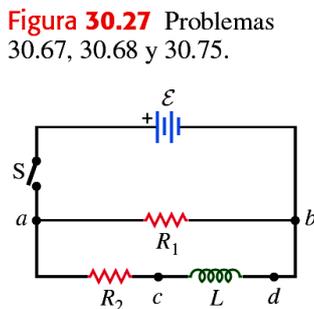
**30.46.** Un inductor de 0.250 H conduce una corriente variable en el tiempo, dada por la expresión  $i = (124 \text{ mA}) \cos[(240\pi/s) t]$ . *a)* Encuentre una expresión para la fem inducida como función del tiempo. Grafique la corriente y la fem inducida como funciones del tiempo, de  $t = 0$  a  $t = \frac{1}{60}$  s. *b)* ¿Cuál es la fem máxima? ¿Cuál es la corriente cuando la fem inducida es máxima? *c)* ¿Cuál es la corriente máxima? ¿Cuál es la fem inducida cuando la corriente es máxima?

**30.50.** Un solenoide toroidal tiene un radio medio  $r$  y área de sección transversal  $A$ , y está devanado de manera uniforme con  $N_1$  espiras. Un segundo solenoide toroidal con  $N_2$  espiras está devanado de manera uniforme alrededor del primero. Las dos bobinas están devanadas en el mismo sentido. *a)* Obtenga una expresión para la inductancia  $L_1$  cuando sólo se usa la primera bobina, y otra expresión para  $L_2$  cuando sólo se utiliza la segunda bobina. *b)* Demuestre que  $M^2 = L_1 L_2$ .

**30.52.** Un inductor está conectado a las terminales de una batería que tiene una fem de 12.0 V y resistencia interna insignificante. La corriente es de 4.86 mA a 0.725 ms después de completar la conexión. Transcurrido un tiempo largo, la corriente es de 6.45 mA. ¿Cuáles son *a)* la resistencia  $R$  del inductor y *b)* la inductancia  $L$  del inductor?

**30.57. Alarma electromagnética para automóvil.** Su invento más reciente es una alarma para automóvil que produce un sonido de una frecuencia particularmente molesta de 3500 Hz. Para lograrlo, los circuitos de la alarma deben producir una corriente eléctrica alterna de la misma frecuencia. Ésa es la razón por la que su diseño incluye un inductor y un capacitor en serie. El voltaje máximo entre los extremos del capacitor va a ser de 12.0 V (el mismo que la batería del vehículo). Para producir un sonido suficientemente fuerte, el capacitor debe almacenar 0.0160 J de energía. ¿Qué valores de capacitancia e inductancia se deben elegir para el circuito de la alarma?

**30.67.** En el circuito que se presenta en la figura 30.27,  $\mathcal{E} = 60.0$  V,  $R_1 = 40.0$   $\Omega$ ,  $R_2 = 25.0$   $\Omega$  y  $L = 0.300$  H. El interruptor  $S$  se cierra en  $t = 0$ . Inmediatamente después de cerrar el interruptor, *a)* ¿cuál es la diferencia de potencial  $v_{ab}$  entre los extremos del resistor  $R_1$ ? *b)* ¿cuál punto,  $a$  o  $b$ , está a un potencial más alto?; *c)* ¿cuál es la diferencia de potencial  $v_{cd}$  entre los extremos del inductor  $L$ ? *d)* ¿Cuál punto,  $c$  o  $d$ , está a un potencial más alto? Se deja cerrado el interruptor durante mucho tiempo y después se abre. Inmediatamente después de abrir el interruptor, *e)* ¿cuál es la diferencia de potencial  $v_{ab}$  entre los extremos del resistor  $R_1$ ?; *f)* ¿cuál punto,  $a$  o  $b$ , está a un potencial más alto?; *g)* ¿cuál es la diferencia de potencial  $v_{cd}$  entre los extremos del inductor  $L$ ?; *h)* ¿cuál punto,  $c$  o  $d$ , está a un potencial más alto?



## PRÁCTICA 11

### Corriente alterna

**P31.2.** La corriente en una línea de energía de ca cambia de sentido 120 veces por segundo, y su valor medio es de cero. Explique cómo es posible que se transmita energía en un sistema así.

**P31.5.** Las lámparas fluorescentes utilizan con frecuencia un inductor, llamado bobina de inductancia, para limitar la corriente entre los tubos. ¿Por qué es mejor usar un inductor en vez de un resistor para tal propósito?

**P31.9.** En un circuito en serie  $L$ - $R$ - $C$ , ¿cuáles son el ángulo de fase  $\phi$  y el factor de potencia  $\cos \phi$  cuando la resistencia es mucho menor que la reactancia inductiva o capacitiva y el circuito funciona alejado de la resonancia? Explique su respuesta.

**P31.12.** Una bombilla eléctrica y un capacitor de placas paralelas con aire entre ellas están conectados en serie a una fuente de ca. ¿Qué pasa con el brillo de la bombilla cuando se inserta un dieléctrico entre las placas del capacitor? Explique su respuesta.

**P31.13.** Una bobina de alambre enrollado alrededor de un tubo hueco y una bombilla eléctrica están conectadas en serie a una fuente de ca. ¿Qué pasa con el brillo de la bombilla cuando se inserta una varilla de hierro en el tubo?

**P31.15.** Un circuito consiste en una bombilla eléctrica, un capacitor y un inductor conectados en serie a una fuente de ca. ¿Es posible retirar tanto el capacitor como el inductor sin que esto altere el brillo que emite la bombilla? Explique su respuesta.

**P31.16.** ¿Un transformador se puede utilizar con cd? Explique por qué. ¿Qué sucede si un transformador diseñado para ca a 120 V se conecta a una línea de cd a 120 V?

**31.8.** *a)* Calcule la reactancia de un inductor de 0.450 H a frecuencias de 60.0 Hz y 600 Hz. *b)* Calcule la reactancia de un capacitor de 2.50  $\mu$ F a las mismas frecuencias. *c)* ¿A qué frecuencia la reactancia de un inductor de 0.450 H es igual a la de un capacitor de 2.50  $\mu$ F?

**31.12.** Un resistor de 250  $\Omega$  está conectado en serie con un capacitor de 4.80  $\mu$ F. El voltaje en las terminales del capacitor es  $v_C = (7.60 \text{ V}) \sin [(120 \text{ rad/s})t]$ . *a)* Determine la reactancia capacitiva del capacitor. *b)* Obtenga una expresión para el voltaje  $v_R$  entre las terminales del resistor.

**31.13.** Un resistor de 150  $\Omega$  está conectado en serie con un inductor de 0.250 H. El voltaje en las terminales del resistor es  $v_R = (3.80 \text{ V}) \cos [(720 \text{ rad/s})t]$ . *a)* Obtenga una expresión para la corriente de circuito. *b)* Determine la reactancia inductiva del inductor. *c)* Obtenga una expresión para el voltaje  $v_L$  en las terminales del inductor.

**31.14.** Usted tiene un resistor de 200  $\Omega$ , un inductor de 0.400 H y un capacitor de 6.00  $\mu$ F. Suponga que toma el resistor y el inductor y construye un circuito en serie con una fuente de voltaje que tiene una amplitud de 30.0 V y una frecuencia angular de 250 rad/s. *a)* ¿Cuál es la impedancia del circuito? *b)* ¿Cuál es la amplitud de corriente? *c)* ¿Cuáles son las amplitudes de voltaje en las terminales del resistor y en las terminales del inductor? *d)* ¿Cuál es el ángulo de fase  $\phi$  del voltaje de fuente con respecto de la corriente? ¿La fuente de voltaje se adelanta o se atrasa en relación con la corriente? *e)* Construya el diagrama de fasores.

**31.16.** Repita el ejercicio 31.14 pero considerando que el circuito consiste sólo en el capacitor y el inductor en serie. Para el inciso *c)*, calcule las amplitudes de voltaje a través del capacitor y a través del inductor.

**31.17.** Repita el ejercicio 31.14 pero considerando que el circuito consiste sólo en el resistor y el capacitor en serie. Para el inciso *c)*, calcule las amplitudes de voltaje a través del resistor y a través del capacitor.

**31.19.** El resistor, el inductor, el capacitor y la fuente de voltaje descritos en el ejercicio 31.14 están conectados de manera que forman un circuito  $L$ - $R$ - $C$  en serie. *a)* ¿Cuál es la impedancia del circuito? *b)* ¿Cuál es la amplitud de corriente? *c)* ¿Cuál es el ángulo de fase del voltaje de fuente con respecto a la corriente? ¿El voltaje en la fuente se retrasa o se adelanta con respecto a la corriente? *d)* ¿Cuáles son las amplitudes de voltaje a través del resistor, del inductor y del capacitor? *e)* Explique cómo es posible que la amplitud de voltaje sea mayor a través del capacitor que a través de la fuente.

**31.27.** *a)* Demuestre que para un circuito  $L$ - $R$ - $C$  en serie, el factor de potencia es igual a  $R/Z$  (*Sugerencia:* Use el diagrama de fasores; consulte la figura 31.13b.) *b)* Demuestre que para cualquier circuito de ca, no sólo uno que nada más contenga una resistencia pura, la potencia media entregada por la fuente de voltaje está dada por  $P_{\text{med}} = I_{\text{rms}}^2 R$ .

**31.28.** Un circuito  $L$ - $R$ - $C$  en serie está conectado a una fuente de ca de 120 Hz que tiene  $V_{\text{rms}} = 80.0 \text{ V}$ . El circuito tiene una resistencia de 75.0  $\Omega$  y una impedancia a esta frecuencia de 105  $\Omega$ . ¿Cuál es potencia media que la fuente entrega al circuito?

**31.38. Transformador elevador.** Un transformador conectado a una línea de ca de 120 V (rms) debe suministrar 13,000 V (rms) para un anuncio de neón. Para reducir el peligro de una descarga, se inserta un fusible en el circuito primario, el cual se funde cuando la corriente rms en el circuito secundario rebasa los 8.50 mA. *a)* ¿Cuál es la razón entre las espiras del primario y el secundario del transformador? *b)* ¿Cuál es la potencia que debe suministrarse al transformador cuando la corriente rms en el secundario es de 8.50 mA? *c)* ¿Cuál es la corriente nominal que debe tener el fusible en el circuito primario?