

Figura 27 Pregunta 29.

31. ¿Se cumple la ecuación 22 ( $B = \mu_0 i_0 n$ ) para un solenoide de sección transversal cuadrada?
32. El toroide se describe como un solenoide doblado en forma de "rosca". El campo magnético en el exterior de un solenoide ideal no es cero. ¿Qué puede decirse acerca de la intensidad del campo magnético en el exterior de un toroide ideal?
33. Al moverse, los electrones constituyen la corriente en un alambre y esta corriente está acompañada de un campo magnético. ¿Qué corriente y campo magnético mediría un observador que se mueva a lo largo del alambre a la misma velocidad de arrastre del electrón?

## PROBLEMAS

### Sección 35-2 Aplicaciones de la ley de Biot y Savart

1. Un alambre de cobre desnudo #10 (2.6 mm de diámetro) puede conducir una corriente de 50 A sin sobrecalentarse. Para esta corriente, ¿cuál es el campo magnético en la superficie del alambre?
2. Un topógrafo está usando una brújula magnética a 6.3 m debajo de una línea de energía eléctrica en la que existe una corriente estacionaria de 120 A. ¿Interferirá esto seriamente con la lectura de la brújula? La componente horizontal del campo magnético de la Tierra en ese lugar es de  $21 \mu\text{T}$  ( $= 0.21 \text{ gauss}$ ).
3. El cañón de electrones de 25 kV de un tubo de TV proyecta un haz de electrones de 0.22 mm de diámetro hacia la pantalla, llegando  $5.6 \times 10^{14}$  electrones cada segundo. Calcule el campo magnético producido por el haz en un punto a 1.5 mm del eje del haz.
4. En un lugar de las Islas Filipinas, el campo magnético de la Tierra tiene un valor de  $39.0 \mu\text{T}$  y es horizontal y dirigido hacia el norte. El campo neto es cero a 8.13 cm sobre un alambre horizontal recto y largo que conduce una corriente estacionaria. (a) Calcule la corriente y (b) halle su dirección.
5. Un alambre recto y largo conduce una corriente de 48.8 A. Un electrón, que viaja a  $1.08 \times 10^7 \text{ m/s}$ , está a 5.20 cm del alambre. Calcule la fuerza que actúa sobre el electrón si la velocidad del electrón se dirige (a) hacia el alambre, (b) paralela a la corriente y (c) en ángulo recto con las direcciones definidas por (a) y (b).
6. Un conductor recto por el cual fluye una corriente  $i$  se divide en dos curvas semicirculares como se muestra en la figura 28. ¿Cuál es la intensidad del campo magnético en el centro  $C$  del anillo circular así formado?
7. Dos alambres paralelos largos están a 8.10 cm de separación. ¿Qué corrientes iguales deben fluir en los alambres si el campo magnético a la mitad entre ellos ha de tener una magnitud de  $296 \mu\text{T}$ ?

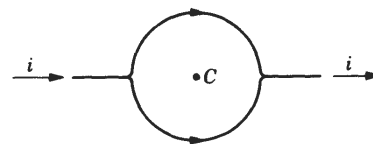


Figura 28 Problema 6.

8. Dos alambres paralelos rectos y largos, separados por 0.75 cm, son perpendiculares al plano de la página como se muestra en la figura 29. El alambre  $W_1$  conduce una corriente de 6.6 A hacia la página. ¿Cuál debe ser la corriente (magnitud y dirección) en el alambre  $W_2$  para que el campo magnético resultante en el punto  $P$  sea cero?

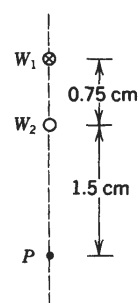


Figura 29 Problema 8.

9. La figura 30a muestra un tramo de alambre que conduce una corriente  $i$  y está doblado formando una bobina circular de una vuelta. En la figura 30b, el mismo tramo de alambre se ha doblado más, para formar una espira doble de radio más pequeño. (a) Si  $B_a$  y  $B_b$  son las magnitudes de los campos magnéticos en los centros de las dos espiras, ¿cuál es la razón  $B_b/B_a$ ? (b) ¿Cuál es la razón de sus momentos dipolares,  $\mu_b/\mu_a$ ?

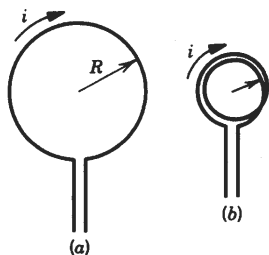


Figura 30 Problema 9.

10. La figura 31 muestra un arreglo conocido como *bobina de Helmholtz*. Consta de dos bobinas circulares coaxiales cada una de  $N$  vueltas y radio  $R$ , separadas por una distancia  $R$ . Conducen corrientes iguales  $i$  en la misma dirección. Halle el campo magnético en  $P$ , a medio camino entre las bobinas.

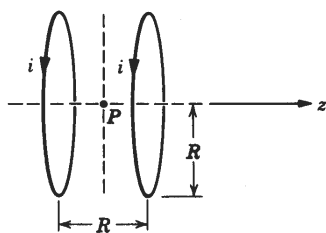


Figura 31 Problemas 10, 26 y 27.

- ✓ 11. Un estudiante fabrica un electroimán al devanar 320 vueltas de alambre alrededor de un cilindro de madera de 4.80 cm de diámetro. La bobina se conecta a una batería que produce una corriente de 4.20 A en el alambre. (a) ¿Cuál es el momento magnético de este dispositivo? (b) ¿A qué distancia axial  $z \gg d$  será de  $5.0 \mu\text{T}$  (aproximadamente un décimo del campo magnético de la Tierra) el campo magnético de este dipolo?
12. Se forma una horquilla larga al doblar un trozo de alambre como se muestra en la figura 32. Si el alambre conduce una corriente  $i = 11.5 \text{ A}$ , (a) ¿cuáles son la magnitud y la dirección de  $\mathbf{B}$  en el punto  $a$ ? (b) ¿En el punto  $b$ , muy alejado de  $a$ ? Considere que  $R = 5.20 \text{ mm}$ .

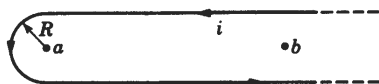


Figura 32 Problema 12.

13. Un alambre que conduce una corriente  $i$  tiene la configuración que se muestra en la figura 33. Dos secciones rectas semi-infinitas, cada una tangente al mismo círculo, están conectadas por un arco circular, de ángulo  $\theta$ , a lo largo de la circunferencia del círculo, estando todas las secciones

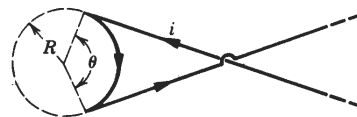


Figura 33 Problema 13.

en el mismo plano. ¿Cuál debe ser  $\theta$  con objeto de que  $B$  sea cero en el centro del círculo?

14. Por un tramo recto de alambre de longitud  $L$  fluye una corriente  $i$ . (a) Demuestre que el campo magnético asociado con este segmento en  $P$ , a una distancia perpendicular  $D$  de un extremo del alambre (véase la Fig. 34), está dado por

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi D} \frac{L}{(L^2 + D^2)^{1/2}}.$$

(b) Demuestre que el campo magnético es cero en el punto  $Q$ , a lo largo de la línea del alambre.

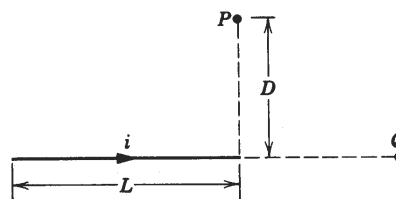


Figura 34 Problema 14.

15. Considere el circuito de la figura 35. Los segmentos curvos son arcos de círculo de radios  $a$  y  $b$ . Los segmentos rectos están a lo largo de los radios. Halle el campo magnético  $\mathbf{B}$  en  $P$ , suponiendo una corriente  $i$  en el circuito.

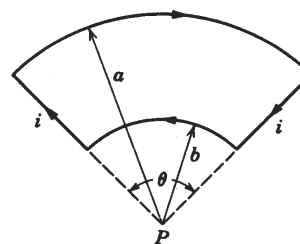


Figura 35 Problema 15.

16. Un segmento recto de alambre de longitud  $L$  conduce una corriente  $i$ . Demuestre que el campo magnético  $\mathbf{B}$  asociado con este segmento, a la distancia  $R$  del segmento a lo largo de una bisectriz perpendicular (véase la Fig. 36), está dado en magnitud por

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R} \frac{L}{(L^2 + 4R^2)^{1/2}}.$$

Demuestre que esta expresión se reduce a un resultado esperado cuando  $L \rightarrow \infty$ .

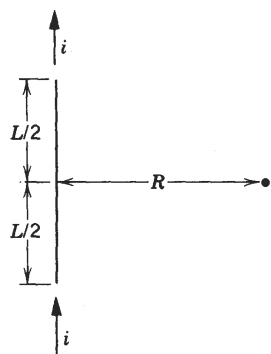


Figura 36 Problema 16.

17. Demuestre que  $B$  en el centro de una espira rectangular de alambre de longitud  $L$  y anchura  $W$ , que conduce una corriente  $i$ , está dado por

$$B = \frac{2\mu_0 i}{\pi} \frac{(L^2 + W^2)^{1/2}}{LW}.$$

Demuestre que esto se reduce a un resultado consistente con el problema 1 cuando  $L \gg W$ .

18. Una espira cuadrada de alambre, de lado  $a$ , conduce una corriente  $i$ . (a) Demuestre que  $B$  para un punto en el eje de la espira y a una distancia  $z$  de su centro está dado por

$$B(z) = \frac{4\mu_0 i a^2}{\pi(4z^2 + a^2)(4z^2 + 2a^2)^{1/2}}.$$

(b) ¿A qué se reduce esto en el centro de la espira?

19. El campo magnético  $B$  en diversos puntos sobre el eje de una espira cuadrada de corriente, de lado  $a$ , está dado en el problema 18. (a) Demuestre que el campo axial de esta espira cuando  $z \gg a$  es el de un dipolo magnético (véase la Ec. 17). (b) Halle el momento dipolar magnético de esta espira.
20. Se le da a usted una longitud  $L$  de alambre por el cual puede fluir una corriente  $i$ . Con el alambre se puede formar un círculo o un cuadrado. Demuestre que el cuadrado produce, en el punto central, un valor mayor de  $B$ .
21. La figura 37 muestra la sección transversal de una cinta larga y delgada de anchura  $w$  que está conduciendo hacia adentro de la página una corriente total  $i$  distribuida uniformemente. Calcule la magnitud y la dirección del campo magnético  $B$  en un punto  $P$  en el plano de la cinta a una distancia  $d$  de su extremo. (Sugerencia: Imagine que la cinta está construida de muchos alambres paralelos, largos y delgados.)
22. Dos alambres paralelos, rectos y largos, que están a 12.2 cm de separación, conducen cada uno una corriente

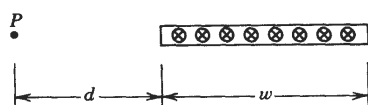


Figura 37 Problema 21.

de 115 A. La figura 38 muestra la sección transversal, con los alambres perpendiculares a la página, y el punto  $P$  que se encuentra en la bisectriz perpendicular a  $d$ . Halle la magnitud y dirección del campo magnético en  $P$ , cuando la corriente por el alambre de la izquierda va hacia afuera de la página y la corriente por el alambre de la derecha va (a) hacia afuera de la página y (b) hacia adentro de la página.

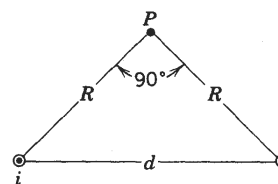


Figura 38 Problema 22.

23. En la figura 7a, suponga que ambas corrientes tengan la misma dirección, hacia afuera del plano de la figura. Demuestre que el campo magnético en el plano definido por los alambres es de

$$B = \frac{\mu_0 i x}{\pi(x^2 - d^2)}.$$

Suponga que  $i = 25$  A y  $d = 2.5$  cm en la figura 7a y grafique  $B$  para los valores entre  $-2.5$  cm  $< x < +2.5$  cm. Considere que los diámetros del alambre son despreciables.

24. Dos alambres largos separados por una distancia  $d$  conducen corrientes antiparalelas iguales  $i$ , como en la figura 39. (a) Demuestre que la intensidad del campo magnético en el punto  $P$ , equidistante de los alambres, está dado por

$$B = \frac{2\mu_0 i d}{\pi(4R^2 + d^2)}.$$

(b) ¿En qué dirección apunta  $B$ ?

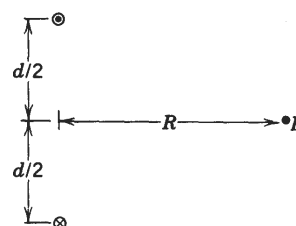


Figura 39 Problema 24.

25. Se le da un circuito cerrado con radios  $a$  y  $b$ , como se muestra en la figura 40, que conduce una corriente  $i$ . Determine el momento dipolar magnético del circuito.
26. Dos bobinas de 300 vueltas cada una, conducen una corriente  $i$ . Están separadas por una distancia igual a sus radios, como se muestra en la figura 31. Para  $R = 5.0$  cm e  $i = 50$  A, grafique a  $B$  como función de la distancia  $z$  a

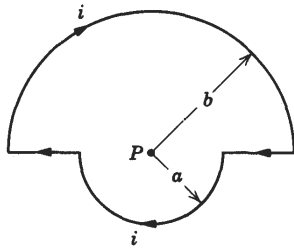


Figura 40 Problema 25.

lo largo del eje común para los valores comprendidos entre  $z = -5$  cm a  $z = +5$  cm, considerando que  $z = 0$  en el punto medio  $P$ . Tales bobinas proporcionan un campo  $B$  especialmente uniforme cerca del punto  $P$ . (Sugerencia: véase la Ec. 15.)

27. En el problema 10 (Fig. 31), considere que la separación de las bobinas sea una variable representada por  $s$  (no necesariamente igual al radio  $R$  de la bobina). (a) Demuestre que la primera derivada del campo magnético ( $dB/dz$ ) es cero en el punto medio  $P$  cualquiera que sea el valor de  $s$ . ¿Por qué esperaría que esto sea cierto al considerar la simetría? (b) Demuestre que la segunda derivada del campo magnético ( $d^2B/dz^2$ ) es también cero en  $P$  cuando  $s = R$ . Esto explica la uniformidad de  $B$  cerca de  $P$  para esta separación en particular de las bobinas.
28. Una espira circular de 12 cm de radio conduce una corriente de 13 A. Una segunda espira de 0.82 cm de radio, que tiene 50 vueltas y una corriente de 1.3 A está en el centro de la primera espira. (a) ¿Qué campo magnético crea la espira grande en su centro? (b) Calcule el momento de torsión que actúa sobre la espira pequeña. Suponga que los planos de las dos espiras están en ángulo recto y que el campo magnético debido a la espira grande es esencialmente uniforme en todo el volumen ocupado por la espira pequeña.
29. (a) Un alambre en forma de un polígono regular de  $n$  lados está justamente encerrado por un círculo de radio  $a$ . Si la corriente por este alambre es  $i$ , demuestre que el campo magnético  $B$  en el centro del círculo está dado, en magnitud, por

$$B = \frac{\mu_0 n i}{2\pi a} \tan(\pi/n).$$

(b) Demuestre que cuando  $n \rightarrow \infty$  este resultado se aproxima al de una espira circular. (c) Encuentre el momento dipolar del polígono.

30. (a) Un alambre largo está doblado en la forma mostrada en la figura 41, sin hacer contacto al cruzarse en  $P$ . El radio de la sección circular es  $R$ . Determine la magnitud y la dirección de  $B$  en el centro  $C$  de la porción circular cuando la corriente  $i$  circula como se indica. (b) La parte circular del alambre se gira sin distorsión alrededor de su diámetro (en trazos) perpendicular a la porción recta del alambre. El momento magnético asociado con el anillo está ahora en la dirección de la corriente en la parte recta del alambre. Determine  $B$  en  $C$  en este caso.

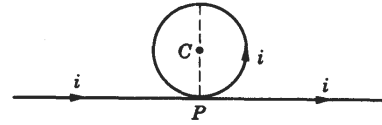


Figura 41 Problema 30.

31. (a) Calcule  $B$  en el punto  $P$  en la figura 42. (b) ¿Es la intensidad del campo en  $P$  mayor o menor que en el centro del cuadrado?

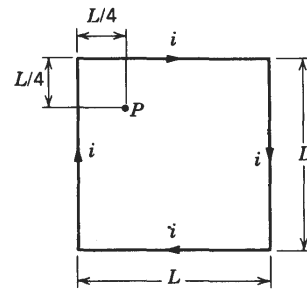


Figura 42 Problema 31.

32. Un disco delgado de plástico de radio  $R$  tiene una carga  $q$  distribuida uniformemente en su superficie. Si el disco gira con una frecuencia angular  $\omega$  alrededor de su eje, demuestre que (a) el campo magnético en el centro del disco es

$$B = \frac{\mu_0 \omega q}{2\pi R}$$

y (b) el momento dipolar magnético del disco es

$$\mu = \frac{\omega q R^2}{4}.$$

(Sugerencia: El disco que gira es equivalente a un conjunto de espiras de corriente.)

33. Considérese que la espira rectangular mostrada en la figura 43 conduce una corriente  $i$ . Un punto  $P$  está ubicado a una distancia  $x$  a partir del centro de la espira. Halle una expresión para el campo magnético en  $P$  debido a la espira

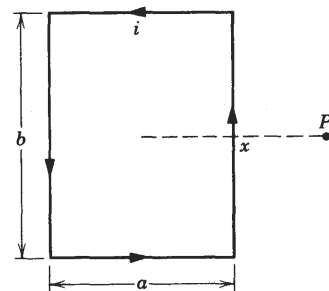


Figura 43 Problema 33.

de corriente, suponiendo que  $P$  está muy alejado. Verifique que la expresión obtenida concuerda con la cantidad apropiada en la tabla 1, cuando  $\mu = iab$ . (Sugerencia: Pueden tratarse simultáneamente los lados opuestos del rectángulo, pero téngase cuidado con las direcciones de  $\mathbf{B}$  debidas a cada lado.)

### Sección 35-4 Dos conductores paralelos

34. La figura 44 muestra cinco alambres paralelos largos en el plano  $xy$ . Cada alambre conduce una corriente  $i = 3.22$  A en la dirección  $x$  positiva. La separación entre alambres contiguos es  $d = 8.30$  cm. Halle la fuerza magnética por metro, en magnitud y dirección, que se ejerce sobre cada uno de los cinco alambres.

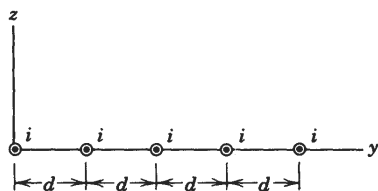


Figura 44 Problema 34.

35. Cuatro alambres largos de cobre son paralelos entre sí y están dispuestos en un cuadro; véase la figura 45. Transportan corrientes iguales  $i$  hacia afuera de la página, como se muestra. Calcule la fuerza por metro en cualquier alambre; dé magnitud y dirección. Suponga que  $i = 18.7$  A y  $a = 24.5$  cm. (Esto se conoce como el efecto de estricción en el caso del movimiento paralelo de las partículas cargadas en un plasma.)

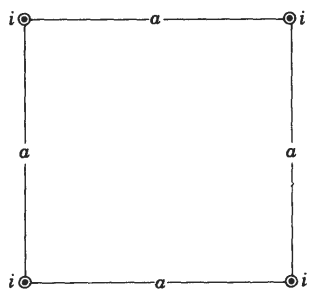


Figura 45 Problema 35.

36. La figura 46 muestra un alambre largo que conduce una corriente  $i_1$ . La espira rectangular conduce una corriente  $i_2$ . Calcule la fuerza resultante que actúa sobre la espira. Suponga que  $a = 1.10$  cm,  $b = 9.20$  cm,  $L = 32.3$  cm,  $i_1 = 28.6$  A e  $i_2 = 21.8$  A.
37. La figura 47 muestra un esquema idealizado de un "cañón electromagnético sobre rieles", diseñado para disparar proyectiles con velocidades hasta de 10 km/s. (Se está estudiando la factibilidad de estos dispositivos como defensa contra los misiles balísticos.) El proyectil  $P$  descan-

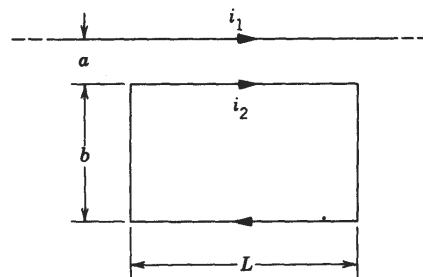


Figura 46 Problema 36.

sa entre dos rieles paralelos (y en contacto con ellos), a lo largo de los cuales puede deslizarse. Un generador  $G$  suministra una corriente que fluye por un riel, cruza el proyectil y regresa al otro riel. (a) Sea  $w$  la distancia entre los rieles,  $r$  el radio de los rieles (supuestos como círculos), e  $i$  la corriente. Demuestre que la fuerza sobre el proyectil es hacia la derecha y está dada aproximadamente por

$$F = \frac{1}{2} \left( \frac{i^2 \mu_0}{\pi} \right) \ln \left( \frac{w+r}{r} \right)$$

(b) Si el proyectil (en este caso una ficha de prueba) arranca del extremo izquierdo del riel en reposo, determine la velocidad  $v$  a la cual es expulsado hacia la derecha. Suponga que  $i = 450$  kA,  $w = 12$  mm,  $r = 6.7$  cm,  $L = 4.0$  m, y que la masa de la ficha es de  $m = 10$  g.

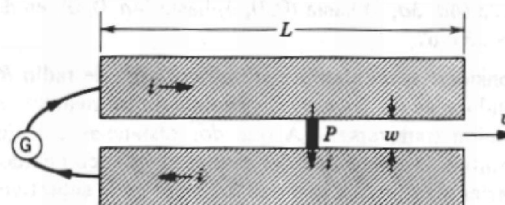


Figura 47 Problema 37.

38. En el problema muestra 4, supóngase que el alambre superior se desplaza hacia abajo una pequeña distancia y luego se suelta. Demuestre que el movimiento resultante del alambre es armónico simple con la misma frecuencia de oscilación que un péndulo simple de longitud  $d$ .

### Sección 35-5 La ley de Ampère

39. Cada uno de los ocho conductores indicados en la figura 48 conduce 2.0 A de corriente hacia adentro o hacia afuera de la página. Están indicadas dos trayectorias por la integral de línea  $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ . ¿Cuál es el valor de la integral para (a) la trayectoria de puntos y (b) la trayectoria de trazos?
40. Ocho alambres cortan la página perpendicularmente en los puntos mostrados en la figura 49. Un alambre denotado por el entero  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, 8$ ) conduce la corriente  $ki_0$ . Para aquéllos con  $k$  impar, la corriente sale de la página;

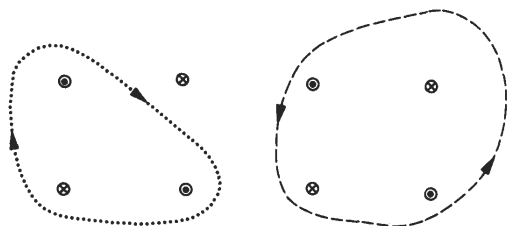


Figura 48 Problema 39.

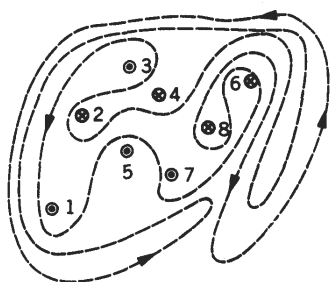


Figura 49 Problema 40.

para los de  $k$  par entra a la página. Evalúe  $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$  a lo largo de la trayectoria cerrada en la dirección que se muestra.

41. En cierta región existe una densidad de corriente uniforme de  $15 \text{ A/m}^2$  en dirección  $z$  positiva. ¿Cuál es el valor de  $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$  cuando la integral de línea se considera a lo largo de los tres segmentos en línea recta desde  $(4d, 0, 0)$  hasta  $(4d, 3d, 0)$  hasta  $(0, 0, 0)$  hasta  $(4d, 0, 0)$ , en donde  $d = 23 \text{ cm}$ ?
42. Considérese un alambre cilíndrico largo de radio  $R$  que conduce una corriente  $i$  distribuida uniformemente en su sección transversal. ¿A qué dos distancias del eje del alambre, la intensidad del campo magnético debido a la corriente es igual a la mitad del valor en la superficie?
43. Demuestre que un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  no puede caer abruptamente a cero conforme uno se mueve en ángulo recto con él, como se indica por la flecha horizontal a través del punto  $a$  en la figura 50. (Sugerencia: Aplique la ley de Ampère a la trayectoria rectangular mostrada por las líneas de trazos.) En los imanes reales siempre ocurre el “efecto de borde” de las líneas de  $\mathbf{B}$ , lo cual significa que  $\mathbf{B}$  tiende a cero en forma gradual. Modifique las líneas de  $\mathbf{B}$  en la figura para indicar una situación más realista.
44. La figura 51 muestra la sección transversal de un conductor cilíndrico hueco de radios  $a$  y  $b$ , que conduce una corriente  $i$  uniformemente distribuida. (a) Usando el anillo amperiano circular mostrado, verifique que  $B(r)$  para el intervalo  $b < r < a$  está dado por

$$B(r) = \frac{\mu_0 i}{2\pi(a^2 - b^2)} \frac{r^2 - b^2}{r}.$$

(b) Compruebe esta fórmula para los casos especiales en los que  $r = a$ ,  $r = b$  y  $b = 0$ . (c) Suponga que  $a = 2.0 \text{ cm}$ ,  $b$

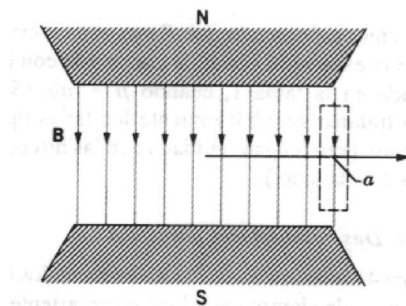


Figura 50 Problema 43.

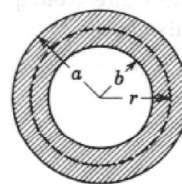


Figura 51 Problema 44.

$= 1.8 \text{ cm}$  e  $i = 100 \text{ A}$  y grafique  $B(r)$  en el intervalo  $0 < r < 6 \text{ cm}$ .

45. La figura 52 muestra la sección transversal de un conductor largo del tipo llamado cable coaxial, de radios  $a$ ,  $b$  y  $c$ . En los conductores existen corrientes  $i$  iguales pero antiparalelas, distribuidas uniformemente. Deduzca expresiones para  $B(r)$  en los intervalos (a)  $r < c$ , (b)  $c < r < b$ , (c)  $b < r < a$ , y (d)  $r > a$ . (e) Pruebe estas expresiones para todos los casos especiales que se le ocurran. (f) Suponga que  $a = 2.0 \text{ cm}$ ,  $b = 1.8 \text{ cm}$ ,  $c = 0.40 \text{ cm}$  e  $i = 120 \text{ A}$ , y grafique  $B(r)$  dentro del intervalo  $0 < r < 3 \text{ cm}$ .

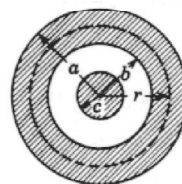


Figura 52 Problema 45.

46. Un conductor consta de un número infinito de alambres adyacentes, cada uno infinitamente largo y conduciendo una corriente  $i_0$ . Demuestre que las líneas de  $\mathbf{B}$  son como se representan en la figura 53 y que  $B$  para todos los puntos arriba y abajo de la lámina infinita de corriente está dado por

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 n i_0,$$

en donde  $n$  es el número de alambres por unidad de longitud. Deduzca tanto por la aplicación directa de la ley de Ampère como considerando que el problema constituye un caso límite del problema muestra 3.

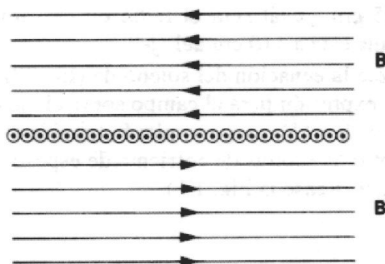


Figura 53 Problema 46.

47. La densidad de corriente a lo largo de un alambre cilíndrico, largo, sólido, de radio  $a$  está en dirección del eje y varía linealmente con la distancia radial  $r$  relativo al eje de acuerdo con  $j = j_0 r/a$ . Determine el campo magnético en el interior del alambre. Exprese la respuesta en función de la corriente total  $i$  que fluye por el alambre.
48. La figura 54 muestra la sección transversal de un conductor cilíndrico largo de radio  $a$  que contiene un orificio cilíndrico largo de radio  $b$ . Los ejes de los dos cilindros son paralelos y están separados por una distancia  $d$ . Una corriente  $i$  se distribuye uniformemente sobre el área rayada en la figura. (a) Use una superposición de ideas para demostrar que el campo magnético en el centro del orificio es

$$B = \frac{\mu_0 i d}{2\pi(a^2 - b^2)}.$$

(b) Analice los dos casos especiales  $b = 0$  y  $d = 0$ . (c) ¿Puede usarse la ley de Ampère para demostrar que el campo magnético en el orificio es uniforme? (Sugerencia: Considere el orificio cilíndrico como si estuviese lleno con dos corrientes iguales moviéndose en direcciones opuestas, de tal manera que se cancelen entre sí. Suponga que cada una de estas corrientes tiene la misma densidad de corriente que la del conductor real. Así, superponemos los campos debidos a los dos cilindros de corriente completos, de radios  $a$  y  $b$ , cada uno de ellos con la misma densidad de corriente.)

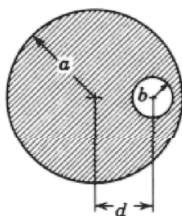


Figura 54 Problema 48.

49. Un tubo circular largo, con un radio exterior de  $R$ , conduce una corriente (distribuida uniformemente) de  $i_0$  (hacia adentro del papel como se muestra en la Fig. 55). Un alambre corre paralelo al tubo a una distancia  $3R$  de centro a centro. Calcule la magnitud y dirección de la corriente en

el alambre que causaría que el campo magnético resultante en el punto  $P$  tenga la misma magnitud, pero la dirección opuesta, que el campo resultante en el centro del tubo.

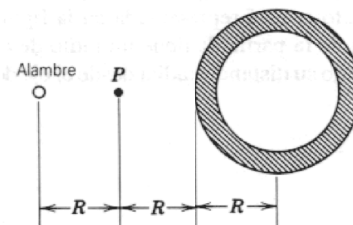


Figura 55 Problema 49.

### Sección 35-6 Solenoides y toroides

50. Un solenoide de 95.6 cm de largo tiene un radio de 1.90 cm, un devanado de 1230 vueltas y conduce una corriente de 3.58 A. Calcule la intensidad del campo magnético en el interior del solenoide.
51. Un solenoide de 1.33 m de largo y 2.60 cm de diámetro conduce una corriente de 17.8 A. El campo magnético en el interior del solenoide es de 22.4 mT. Halle la longitud del alambre que forma al solenoide.
52. Un toroide que tiene una sección transversal cuadrada de 5.20 cm de lado y un radio interior de 16.2 cm tiene 535 vueltas y conduce una corriente de 813 mA. Calcule el campo magnético en el interior del toroide en (a) el radio interior y (b) el radio exterior del toroide.
53. Un solenoide largo tiene 100 vueltas por centímetro. Un electrón se mueve dentro del solenoide en un círculo de 2.30 cm de radio, perpendicular al eje del solenoide. La velocidad del electrón es de  $0.0460c$  ( $c$  = velocidad de la luz). Halle la corriente en el solenoide.
54. Un solenoide largo con 115 vueltas/cm y un radio de 7.20 cm conduce una corriente de 1.94 mA. Una corriente de 6.30 A fluye en un conductor recto a lo largo del eje del solenoide. (a) ¿A qué distancia radial del eje estará la dirección del campo magnético resultante a  $40.0^\circ$  de la dirección axial? (b) ¿Cuál es la magnitud del campo magnético?
55. Un efecto interesante (y frustrante) ocurre cuando uno intenta confinar un conjunto de electrones y de iones positivos (un plasma) dentro del campo magnético de un toroide. Las partículas cuyo movimiento es perpendicular al campo  $B$  no ejecutarán trayectorias circulares porque la

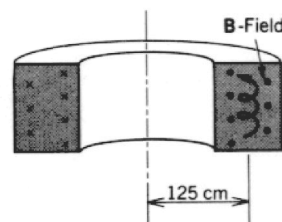


Figura 56 Problema 55.

33. Demuestre que, en el betatrón de la figura 14, las direcciones de las líneas de  $\mathbf{B}$  están trazadas correctamente para ser consistentes con la dirección de circulación mostrada para los electrones.
34. En el betatrón de la figura 14, usted desea aumentar el radio de la órbita imponiendo súbitamente un flujo central adicional  $\Delta\Phi_B$  (generado al establecer súbitamente una corriente en una bobina auxiliar no mostrada). ¿Estarían las líneas de  $\mathbf{B}$ , asociadas a este incremento de flujo, en la misma dirección que las líneas mostradas en la figura, o estarían en la dirección opuesta? Suponga que el campo magnético en la posición de la órbita permanece relativamente sin cambio a causa de este incremento del flujo.
35. En el betatrón de la figura 14, ¿por qué se hace con placas laminadas el núcleo magnético del imán en lugar de ha-

cerse con metal sólido como en el ciclotrón de la sección 34-3?

36. En la figura 16a podemos ver que sobre los portadores de carga en la rama izquierda de la espira actúa una fuerza ( $F_B \cos \theta$ ). Sin embargo, si debe haber una corriente continua en la espira (y en efecto sí la hay) una fuerza de alguna clase debe actuar sobre los portadores de carga en las otras tres ramas de la espira, con el fin de mantener la misma velocidad de arrastre  $v_d$  en estas ramas. ¿Cuál es su fuente? (Sugerencia: Considere que la rama izquierda de la espira era el único elemento conductor, siendo las otras tres no conductoras. ¿No se apilaría una carga positiva en la parte superior de la mitad izquierda y una carga negativa en la parte inferior?)

## PROBLEMAS

### Sección 36-2 La ley de inducción de Faraday

1. En cierto lugar en el hemisferio Norte, el campo magnético de la Tierra tiene una magnitud de  $42 \mu\text{T}$  y apunta hacia abajo formando  $57^\circ$  con la vertical. Calcule el flujo a través de la superficie horizontal de  $2.5 \text{ m}^2$  de área; véase la figura 31.

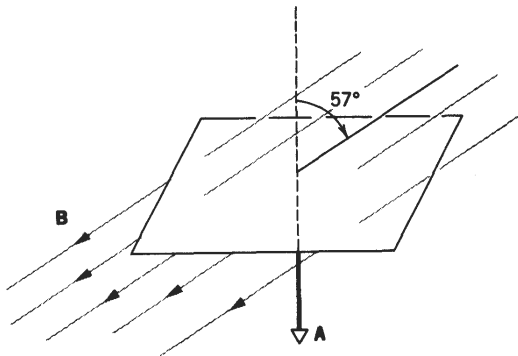


Figura 31 Problema 1.

2. Una antena circular de televisión de UHF (frecuencia ultra-alta) tiene un diámetro de 11.2 cm. El campo magnético de una señal de TV es normal al plano de la espira y, en un instante de tiempo, su magnitud está cambiando a razón de  $157 \text{ mT/s}$ . El campo es uniforme. Halle la fem en la antena.
3. En la figura 32, el flujo magnético a través de la espira mostrada aumenta gradualmente de acuerdo con la relación

$$\Phi_B = 6t^2 + 7t,$$

donde  $\Phi_B$  está en miliwebers y  $t$  está en segundos.

(a) ¿Cuál es el valor absoluto de la fem inducida en la

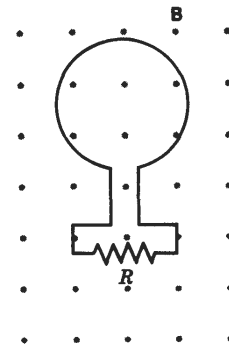


Figura 32 Problemas 3 y 11.

espira cuando  $t = 2.0 \text{ s}$ ? (b) ¿Cuál es la dirección de la corriente que pasa por el resistor?

4. El campo magnético a través de una espira de alambre de una vuelta, de 16 cm de radio y  $8.5 \Omega$  de resistencia cambia con el tiempo como se muestra en la figura 33. Calcule la fem en la espira en función del tiempo. Considere los intervalos de tiempo (a)  $t = 0$  a  $t = 2 \text{ s}$ ; (b)  $t = 2 \text{ s}$  a  $t = 4 \text{ s}$ ; (c)  $t = 4 \text{ s}$  a  $t = 8 \text{ s}$ . El campo magnético (uniforme) está en ángulo recto con el plano de la espira.

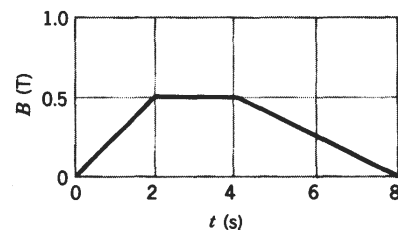


Figura 33 Problema 4.



5. Un campo magnético uniforme es normal al plano de una espira circular de 10.4 cm de diámetro hecha de alambre de cobre (diámetro = 2.50 mm). (a) Calcule la resistencia del alambre. (Véase la tabla 1 en el capítulo 32.) (b) ¿A qué velocidad debe cambiar con el tiempo el campo magnético si se quiere una corriente inducida de 9.66 A en la espira?
6. Una antena de cuadro de área  $A$  y resistencia  $R$  es perpendicular a un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$ . El campo cae linealmente a cero en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ . Halle una expresión para la energía interna total disipada en la antena.
7. Supongamos que la corriente en el solenoide del problema muestra 1 cambia ahora, no como en ese problema muestra, sino de acuerdo con  $i = 3.0t + 1.0t^2$ , donde  $i$  está en amperes y  $t$  está dado en segundos. (a) Grafique la fem inducida en la bobina desde  $t = 0$  hasta  $t = 4$  s. (b) La resistencia de la bobina es de  $0.15 \Omega$ . ¿Cuál es la corriente en la bobina en  $t = 2.0$  s?
- ✓ 8. En la figura 34, una bobina de 120 vueltas de 1.8 cm de radio y  $5.3 \Omega$  de resistencia está situada fuera de un solenoide como el del problema muestra 1. Si la corriente en el solenoide cambia como en el problema muestra, (a) ¿qué corriente aparece en la bobina mientras está cambiando la corriente en el solenoide? (b) ¿Cómo los electrones de conducción en la bobina "captan el mensaje" del solenoide de que tienen que moverse para establecer una corriente? Al fin y al cabo, el flujo magnético se halla confinado por completo dentro del solenoide.

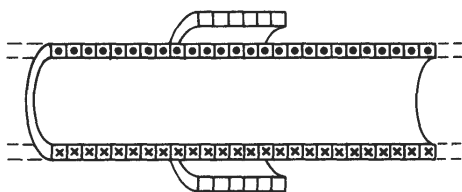


Figura 34 Problema 8.

9. Tenemos un alambre de cobre de 52.5 cm (diámetro = 1.10 mm). Éste tiene la forma de una espira circular y está situado en ángulo recto con un campo magnético uniforme que está aumentando con el tiempo a una velocidad constante de  $9.82 \text{ mT/s}$ . ¿A qué velocidad se genera la energía interna en la espira?
- ✓ 10. Un anillo cerrado de alambre consta de un par de semicírculos idénticos, de 3.7 cm de radio, que se encuentran en planos mutuamente perpendiculares. Éste se formó doblando un anillo circular a lo largo del diámetro hasta que las dos mitades resultaron perpendiculares. Un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$ , de 76 mT de magnitud, está dirigido perpendicularmente al diámetro del doblez, formando ángulos de  $62^\circ$  y  $28^\circ$  con los planos de los semicírculos, como se muestra en la figura 35. El campo magnético se reduce a cero a una velocidad uniforme durante un intervalo de tiempo de 4.5 ms. Determine la fem inducida.

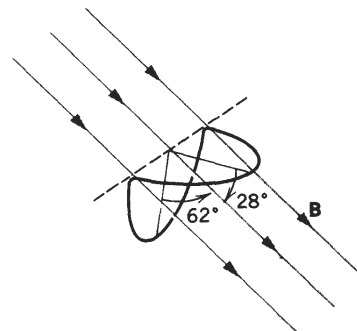


Figura 35 Problema 10.

11. En la figura 32, sea  $\Phi_B(0)$  el flujo para la espira en el tiempo  $t = 0$ . Luego hagamos que el campo magnético  $\mathbf{B}$  varíe de un modo continuo pero no especificado, tanto en magnitud como en dirección, de forma que en el tiempo  $t$  el flujo esté representado por  $\Phi_B(t)$ . (a) Demuestre que la carga neta  $q(t)$  que ha pasado por el resistor  $R$  en el tiempo  $t$  es

$$q(t) = \frac{1}{R} [\Phi_B(0) - \Phi_B(t)],$$

independientemente de la manera que haya cambiado  $\mathbf{B}$ .

(b) Si  $\Phi_B(t) = \Phi_B(0)$  en un caso particular tenemos que  $q(t) = 0$ . ¿Es necesariamente cero la corriente inducida en el intervalo de tiempo de 0 a  $t$ ?

12. Alrededor de un núcleo cilíndrico de  $12.2 \text{ cm}^2$  de área de su sección transversal están devanadas 125 vueltas de alambre de cobre aislado. Las dos terminales están conectadas a un resistor. La resistencia total en el circuito es de  $13.3 \Omega$ . Un campo magnético longitudinal uniforme aplicado externamente en el núcleo cambia de  $1.57 \text{ T}$  en una dirección a  $1.57 \text{ T}$ , en dirección opuesta, en 2.88 ms. ¿Cuánta carga fluye por el circuito? (Sugerencia: Véase el problema 11.)
13. Un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  está cambiando en magnitud a velocidad constante  $dB/dt$ . Se tiene una masa  $m$  de cobre que va a ser estirada para formar un alambre de radio  $r$  el cual formará un anillo circular de radio  $R$ . Demuestre que la corriente inducida en el anillo no depende del calibre del alambre o del tamaño del anillo y, suponiendo a  $\mathbf{B}$  perpendicular al anillo, está dada por

$$i = \frac{m}{4\pi\rho\delta} \frac{dB}{dt},$$

donde  $\rho$  es la resistividad y  $\delta$  la densidad del cobre.

- ✓ 14. Una espira cuadrada de alambre con lados de 2.3 m es perpendicular a un campo magnético uniforme, estando la mitad del área de la espira dentro del campo, como se muestra en la figura 36. La espira contiene una batería de 2.0 V con resistencia interna despreciable. Si la magnitud del campo varía con el tiempo de acuerdo con  $B = 0.042 - 0.87t$ ,  $B$  expresado en teslas y  $t$  en segundos, ¿cuál es la fem total en el circuito?

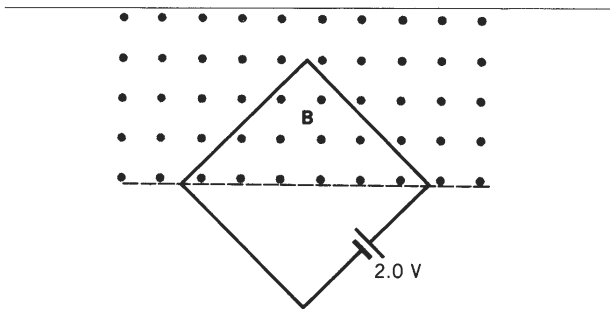


Figura 36 Problema 14.

- ✓15. Un alambre está doblado en tres segmentos circulares de radio  $r = 10.4$  cm como se muestra en la figura 37. Cada segmento es un cuadrante de un círculo, estando  $ab$  en el plano  $xy$ ,  $bc$  en el plano  $yz$ , y  $ca$  en el plano  $zx$ . (a) Si un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  apunta en la dirección  $x$  positiva, halle la fem generada en el alambre cuando  $B$  aumenta a razón de  $3.32$  mT/s. (b) ¿Cuál es la dirección de la fem en el segmento  $bc$ ?

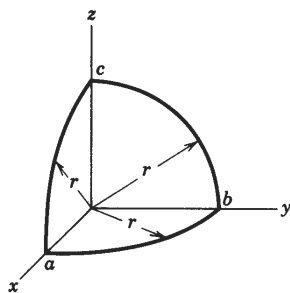


Figura 37 Problema 15.

16. En la situación mostrada en la figura 38,  $a = 12$  cm,  $b = 16$  cm. La corriente en el alambre recto largo está dada por  $i = 4.5t^2 - 10t$ , donde  $i$  está en amperes y  $t$  en segundos. Halle la fem en la espira cuadrada en  $t = 3.0$  s.

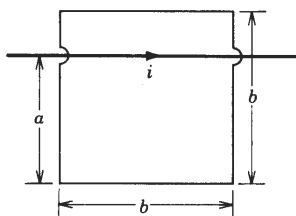


Figura 38 Problema 16.

17. En la figura 39, el cuadrado tiene lados de  $2.0$  cm de longitud. Un campo magnético apunta hacia afuera de la página; su magnitud está dada por  $B = 4t^2$ , donde  $B$  está en teslas,  $t$  en segundos y  $y$  en metros. Determine la fem alrededor del cuadrado en  $t = 2.5$  s y dé su dirección.

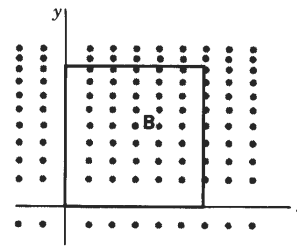


Figura 39 Problema 17.

## Sección 36-4 Fem de movimiento o cinética

18. Un automóvil que tiene una antena de radio de  $110$  cm de largo viaja a  $90$  km/h en una región donde el campo magnético de la Tierra es de  $55 \mu\text{T}$ . Halle el valor máximo posible de la fem inducida.
19. Una espira circular de  $10$  cm de diámetro está situada de modo que su normal forma un ángulo de  $30^\circ$  con la dirección de un campo magnético uniforme de  $0.50$  T. La espira se “bambolea” de modo que su normal gira en un cono con respecto a la dirección del campo a una velocidad constante de  $100$  rev/min; el ángulo entre la normal y la dirección del campo ( $= 30^\circ$ ) permanece sin cambio durante el proceso. ¿Qué fem aparece en la espira?
- ✓20. La figura 40 muestra una barra conductora de longitud  $L$  que, tirando de ella, es atraída a lo largo de rieles conductores horizontales, carentes de fricción, a una velocidad constante  $v$ . Un campo magnético vertical uniforme  $\mathbf{B}$  ocupa la región en que se mueve la barra. Supóngase que  $L = 10.8$  cm,  $v = 4.86$  m/s y  $B = 1.18$  T. (a) Halle la fem inducida en la barra. (b) Calcule la corriente en la espira conductora. Suponga que la resistencia de la barra sea de  $415$  m $\Omega$  y que la resistencia de los rieles sea despreciablemente pequeña. (c) ¿A qué velocidad se está generando la energía interna en la barra? (d) Determine la fuerza que debe aplicarse por un agente externo a la barra para mantener su movimiento. (e) ¿A qué velocidad esta fuerza realiza trabajo sobre la barra? Compare esta respuesta con la respuesta dada a (c).

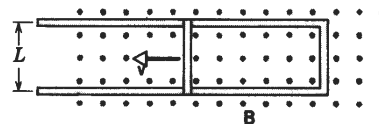


Figura 40 Problema 20.

21. En la figura 41, una barra conductora de masa  $m$  y longitud  $L$  se desliza sin fricción sobre dos rieles horizontales largos. Un campo magnético vertical uniforme  $\mathbf{B}$  ocupa la región en que la barra está en libertad de moverse. El generador  $G$  suministra una corriente  $i$  constante que fluye por un riel, atraviesa la barra, y regresa al generador a lo largo del otro riel. Encuentre la velocidad de la barra en función del tiempo, suponiendo que esté en reposo en  $t = 0$ .

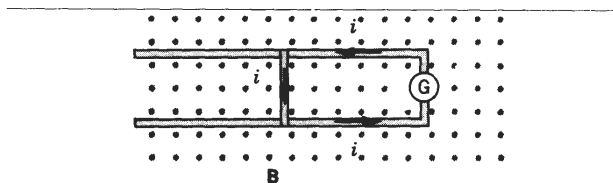


Figura 41 Problemas 21 y 22.

22. En el problema 21 (véase la Fig. 41) el generador G de corriente constante se reemplaza por una batería que suministra una fem constante  $\mathcal{E}$ . (a) Demuestre que la velocidad de la barra tiende ahora a un valor terminal constante  $v$  y dé su magnitud y dirección. (b) ¿Cuál es la corriente en la barra cuando se alcanza esta velocidad terminal? (c) Analice esta situación así como el caso del problema 21 desde el punto de vista de las transferencias de energía.
23. Una espira circular hecha de un material elástico conductor estirado tiene un radio de 1.23 m. Está situada con su plano en ángulo recto con un campo magnético uniforme de 785 mT. Cuando se suelta, el radio de la espira comienza a disminuir a una velocidad instantánea de 7.50 cm/s. Calcule la fem inducida en la espira en ese instante.
24. La figura 42 muestra dos anillos paralelos de alambre que tienen un eje común. El anillo más pequeño (de radio  $r$ ) está arriba del anillo más grande (de radio  $R$ ) a una distancia  $x \gg R$ . Por consiguiente, la magnitud del campo magnético debido a la corriente  $i$  en el anillo más grande es casi constante en todo el anillo más pequeño e igual al valor en el eje. Suponga que  $x$  está creciendo a una velocidad constante  $dx/dt = v$ . (a) Determine el flujo magnético a través del área limitada por el anillo más pequeño en función de  $x$ . (b) Calcule la fem generada en el anillo más pequeño. (c) Determine la dirección de la corriente inducida que fluye en el anillo más pequeño.



Figura 42 Problema 24.

25. Una pequeña barra imantada se jala rápidamente a través de un anillo conductor, a lo largo de su eje. Trace cualitativamente (a) la corriente inducida y (b) la velocidad de la generación de energía interna en función de la posición del centro del imán. Suponga que el polo norte del imán entra al anillo primero y que el imán se mueve a velocidad

constante. Trace la corriente inducida como positiva si circula siguiendo el movimiento de las manecillas del reloj vista en el sentido de la trayectoria del imán.

26. Un alambre rígido doblado en forma de semicírculo de radio  $a$  gira con una frecuencia  $\nu$  dentro de un campo magnético uniforme, como se indica en la figura 43. ¿Cuáles son (a) la frecuencia y (b) la amplitud de la fem inducida en la espira?

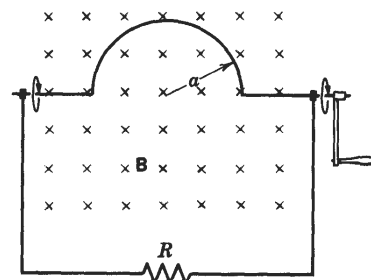


Figura 43 Problema 26.

27. Una espira rectangular de  $N$  vueltas de longitud  $a$  y anchura  $b$  gira con una frecuencia  $\nu$  dentro de un campo magnético uniforme  $B$ , como en la figura 44. (a) Demuestre que en la espira se genera una fem inducida dada por

$$\mathcal{E} = 2\pi\nu NabB \sin 2\pi\nu t = \mathcal{E}_0 \sin 2\pi\nu t$$

Éste es el principio del generador comercial de corriente alterna. (b) Diseñe una espira que produciría una fem con  $\mathcal{E}_0 = 150$  V al girar a razón de 60 rev/s dentro de un campo magnético de 0.50 T.

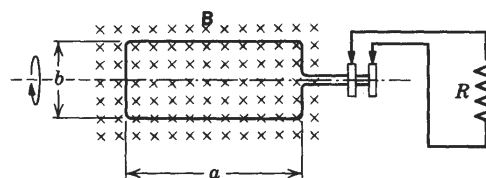


Figura 44 Problema 27.

28. Un alambre conductor de longitud fija  $L$  puede ser devanado en  $N$  vueltas circulares y usado como la armadura de un generador. Para obtener la máxima fem, ¿cuál valor de  $N$  se elegiría?
29. La armadura de un motor tiene 97 vueltas cada una de 190 cm<sup>2</sup> de área y gira dentro de un campo magnético uniforme de 0.33 T. Se aplica una diferencia de potencial de 24 V. Si no está acoplada ninguna carga y si se desprecia la fricción, halle la rapidez de la rotación en el equilibrio.
30. Un generador consta de 100 vueltas de alambre formadas en una bobina rectangular de 50 cm por 30 cm, situada por completo dentro de un campo magnético uniforme de magnitud  $B = 3.5$  T. ¿Cuál es el valor máximo de la fem producida cuando se hace girar a la bobina a razón de

1000 revoluciones por minuto alrededor de un eje perpendicular a  $\mathbf{B}$ ?

31. En cierto lugar, el campo magnético de la Tierra tiene una magnitud de  $B = 59 \mu\text{T}$  y está inclinado hacia abajo formando un ángulo de  $70^\circ$  con la horizontal. Una bobina circular horizontal plana de alambre con un radio de 13 cm tiene 950 vueltas y una resistencia total de  $85 \Omega$ . Está conectada a un galvanómetro de  $140 \Omega$  de resistencia. A la bobina se le da un impulso de media revolución alrededor de un diámetro, de modo que de nuevo esté horizontal. ¿Cuánta carga fluye a través del galvanómetro durante el impulso? (Sugerencia: Véase el problema 11.)
32. En el planteamiento del problema muestra 3 considere que  $B = 1.2 \text{ T}$  y  $R = 5.3 \text{ cm}$ . Si  $\mathcal{E} = 1.4 \text{ V}$ , ¿qué aceleración experimentará un punto situado en el extremo de la barra al girar?
33. La figura 45 muestra una barra de longitud  $L$  a la que se le obliga a moverse a una velocidad constante  $v$  a lo largo de rieles conductores horizontales. En este caso, el campo magnético en que se mueve la barra no es uniforme sino que está provisto por una corriente  $i$  en un alambre paralelo largo. Suponga que  $v = 4.86 \text{ m/s}$ ,  $a = 10.2 \text{ mm}$ ,  $L = 9.83 \text{ cm}$  e  $i = 110 \text{ A}$ . (a) Calcule la fem inducida en la barra. (b) ¿Cuál es la corriente en la espira conductora? Suponga que la resistencia de la barra sea de  $415 \text{ m}\Omega$  y que la resistencia de los rieles es despreciable. (c) ¿Con qué velocidad se está generando la energía interna en la barra? (d) ¿Qué fuerza debe aplicarse a la barra por un agente externo para mantener su movimiento? (e) ¿A qué velocidad este agente externo realiza trabajo sobre la barra? Compare esta respuesta con la de (c).

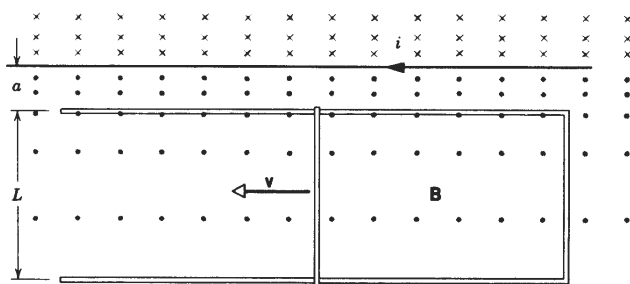


Figura 45 Problema 33.

34. Dos rieles conductores rectos forman un ángulo  $\theta$  en donde se unen sus extremos. Una barra conductora en contacto con los rieles y formando un triángulo isósceles con ellos arranca en el vértice en el momento  $t = 0$  y se mueve a velocidad constante  $v$  hacia la derecha, como se muestra en la figura 46. Un campo magnético  $\mathbf{B}$  apunta hacia afuera de la página. (a) Halle la fem inducida en función del tiempo. (b) Si  $\theta = 110^\circ$ ,  $B = 352 \text{ mT}$  y  $v = 5.21 \text{ m/s}$ , ¿cuándo es la fem inducida igual a  $56.8 \text{ V}$ ?
35. Una espira rectangular de alambre con longitud  $a$ , anchura  $b$  y resistencia  $R$  está situada cerca de un alambre infinitamente largo que conduce una corriente  $i$ , como se muestra en la figura 47. La distancia desde el alambre largo a

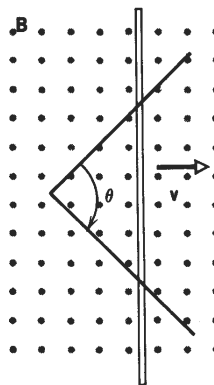


Figura 46 Problema 34.

la espira es  $D$ . Halle (a) la magnitud del flujo magnético a través de la espira y (b) la corriente en la espira al moverse alejándose del alambre largo a una rapidez  $v$ .

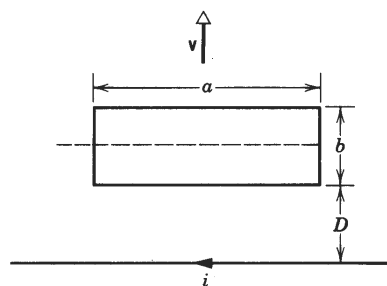


Figura 47 Problema 35.

36. La figura 48 muestra un “generador homopolar”, un dispositivo con un disco conductor sólido como rotor. Esta máquina puede producir una fem más grande que otra que use rotores con espiras de alambre, puesto que puede girar a una velocidad angular mucho mayor antes de que las fuerzas centrífugas destruyan al rotor. (a) Demuestre que la fem producida está dada por

$$\mathcal{E} = \pi v B R^2$$

donde  $v$  es la frecuencia de giro,  $R$  el radio del rotor y  $B$  el campo magnético uniforme perpendicular al rotor. (b) Halle el momento de torsión que debe ser provisto

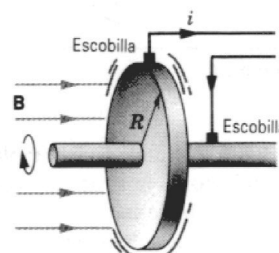


Figura 48 Problema 36.

por el motor al girar el rotor cuando la corriente producida es  $i$ .

37. Una barra de longitud  $L$ , masa  $m$  y resistencia  $R$  se desliza sin fricción por rieles conductores paralelos de resistencia despreciable, como en la figura 49. Los rieles están conectados entre sí en el fondo, como se muestra, formando un anillo de conducción con la barra como un miembro superior. El plano de los rieles forma un ángulo  $\theta$  con la horizontal y en la región existe un campo magnético vertical uniforme  $\mathbf{B}$ . (a) Demuestre que la barra adquiere una velocidad terminal de estado estacionario cuya magnitud es

$$v = \frac{mgR \sin \theta}{B^2 L^2 \cos^2 \theta}.$$

(b) Demuestre que la velocidad a la que se genera energía interna en la barra es igual a la velocidad con la que la barra pierde energía potencial gravitatoria. (c) Analice la situación si  $\mathbf{B}$  estuviese dirigida hacia abajo en lugar de estar hacia arriba.

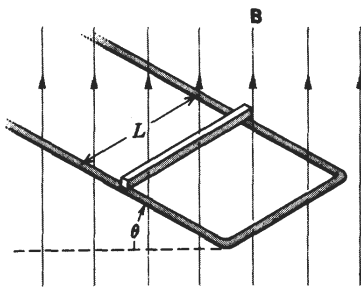


Figura 49 Problema 37.

38. Un alambre cuya área de sección transversal es de  $1.2 \text{ mm}^2$  y cuya resistividad es de  $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  está doblado en forma de arco circular de radio  $r = 24 \text{ cm}$ , como se muestra en la figura 50. Un tramo recto adicional de este alambre,  $OP$ , puede girar libremente alrededor del pivote en  $O$  y forma un contacto deslizante con el arco en  $P$ . Por último, otro tramo recto de este alambre,  $OQ$ , completa el circuito. Todo el sistema está colocado dentro de un campo magnético  $B = 0.15 \text{ T}$  dirigido hacia afuera del plano de la figura. El alambre recto  $OP$  inicia del reposo para  $\theta = 0$  y tiene una aceleración angular constante de  $12 \text{ rad/s}^2$ . (a) Halle la resistencia de la espira  $OPQO$  en función de  $\theta$ . (b) Halle el flujo magnético a través de la espira en función de  $\theta$ . (c) ¿Para qué valor de  $\theta$  la corriente inducida es

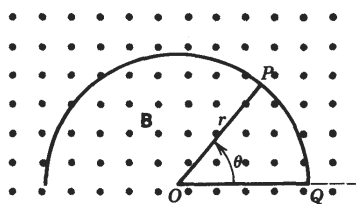


Figura 50 Problema 38.

máxima en la espira? (d) ¿Cuál es el valor máximo de la corriente inducida en la espira?

39. Un freno electromagnético por "corrientes parásitas" consta de un disco de conductividad  $\sigma$  y espesor  $t$  que gira alrededor de un eje que pasa por su centro con un campo magnético  $\mathbf{B}$  aplicado perpendicularmente al plano del disco en una pequeña área  $a^2$  (véase la Fig. 51). Si el área  $a^2$  está a una distancia  $r$  del eje, halle una expresión aproximada para el momento de torsión que tiende a disminuir la velocidad del disco en el instante en que su velocidad angular es igual a  $\omega$ .

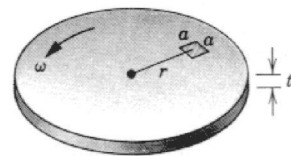


Figura 51 Problema 39.

### Sección 36-5 Campos eléctricos inducidos

40. Un solenoide largo tiene un diámetro de  $12.6 \text{ cm}$ . Cuando pasa una corriente  $i$  por sus devanados, se produce en su interior un campo magnético uniforme  $B = 28.6 \text{ mT}$ . Al disminuir a  $i$ , se causa que el campo disminuya a razón de  $6.51 \text{ mT/s}$ . Calcule la magnitud del campo eléctrico inducido (a) a  $2.20 \text{ cm}$  y (b) a  $8.20 \text{ cm}$  del eje del solenoide.
41. La figura 52 muestra dos regiones circulares  $R_1$  y  $R_2$  con radios  $r_1 = 21.2 \text{ cm}$  y  $r_2 = 32.3 \text{ cm}$ , respectivamente. En  $R_1$  existe un campo magnético uniforme de  $B_1 = 48.6 \text{ mT}$  hacia adentro de la página y en  $R_2$  existe un campo magnético uniforme de  $B_2 = 77.2 \text{ mT}$  hacia afuera de la página (haga caso omiso de cualquier efecto de borde de estos campos). Ambos campos están decreciendo a razón de  $8.50 \text{ mT/s}$ . Calcule la integral  $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$  para cada una de las tres trayectorias indicadas.

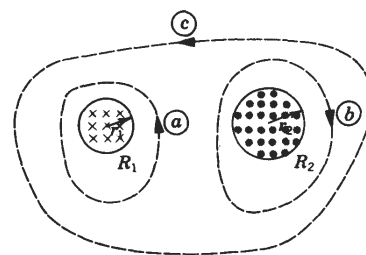


Figura 52 Problema 41.

42. La figura 53 muestra un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  confinado a un volumen cilíndrico de radio  $R$ .  $\mathbf{B}$  está decreciendo en magnitud a una velocidad constante de  $10.7 \text{ mT/s}$ . ¿Cuál es la aceleración instantánea (dirección y magnitud) experimentada por un electrón situado en  $a$ , en  $b$  y en  $c$ ? Suponga que  $r = 4.82 \text{ cm}$ . (El efecto de borde

## PROBLEMAS

## Sección 37-1 La ley de Gauss para el magnetismo

1. El flujo magnético a través de cada una de cinco caras de un dado está dado por  $\Phi_B = \pm N \text{ Wb}$ , donde  $N (= 1 \text{ a } 5)$  es el número de puntos en la cara. El flujo es positivo (hacia afuera) para  $N$  par y negativo (hacia adentro) para  $N$  impar. ¿Cuál es el flujo a través de la sexta cara del dado?
- ✓ 2. Una superficie gaussiana en forma de un cilindro circular recto tiene un radio de 13 cm y una longitud de 80 cm. A través de un extremo existe un flujo magnético hacia adentro de  $25 \mu\text{Wb}$ . En el otro extremo existe un campo magnético uniforme de 1.6 mT, normal a la superficie y dirigido hacia afuera. Calcule el flujo magnético neto a través de la superficie curva.
3. La figura 18 muestra cuatro grupos de pares de pequeñas agujas de brújula, dispuestas en un espacio en que no existe un campo magnético externo. Identifique el equilibrio en cada caso como estable o inestable. Considere para cada par sólo el momento de torsión que actúa sobre una aguja debido al campo magnético creado por la otra. Explique sus respuestas.

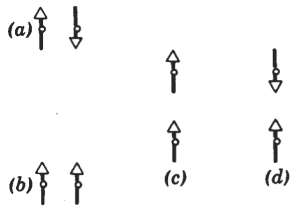


Figura 18 Problema 3.

4. Una barra imantada sencilla pende de un hilo como se muestra en la figura 19. Luego se crea un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  dirigido horizontalmente. Dibuje la orientación resultante del hilo y del imán.

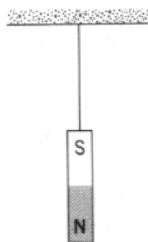


Figura 19 Problema 4.

- ✓ 5. Dos alambres, paralelos al eje  $z$  y a una distancia de  $4r$  entre sí, conducen corrientes iguales  $i$  en direcciones opuestas, como se muestra en la figura 20. Un cilindro circular de radio  $r$  y longitud  $L$  tiene su eje sobre el eje  $z$ , a la mitad entre los alambres. Aplique la ley de Gauss del magnetismo para calcular el flujo magnético neto hacia afuera a través de la

mitad de la superficie cilíndrica que está sobre el eje  $x$ . (Sugerencia: Determine el flujo a través de aquella porción del plano  $xz$  que está dentro del cilindro.)

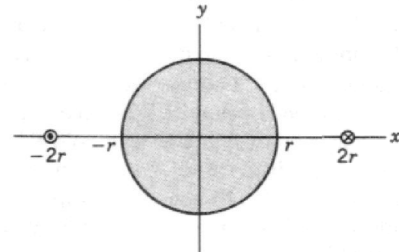


Figura 20 Problema 5.

## Sección 37-2 Magnetismo atómico y nuclear

6. Usando los valores del momento angular de espín  $s$  y el momento magnético de espín  $\mu_s$  dados en la tabla 1 para el electrón libre, verifique numéricamente la ecuación 9.
7. En el estado de mínima energía del átomo de hidrógeno, la distancia más probable entre el único electrón y el protón central es de  $5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$ . Calcule (a) el campo eléctrico y (b) el campo magnético creado por el protón a esta distancia, medido a lo largo del eje de espín del protón. Véase la tabla 1 para el momento magnético del protón.
8. Supóngase que los núcleos (protones) del hidrógeno en 1.50 g de agua pudieran estar perfectamente alineados. Calcule el campo magnético que se produciría a 5.33 m de la muestra a lo largo del eje de alineamiento.
9. Una carga  $q$  está distribuida uniformemente alrededor de un anillo delgado de radio  $r$ . El anillo está girando alrededor de un eje que atraviesa su centro y perpendicularmente a este plano con una velocidad angular  $\omega$ . (a) Demuestre que el momento magnético debido a la carga en rotación es

$$\mu = \frac{1}{2} q \omega r^2.$$

(b) Si  $L$  es el momento angular del anillo, demuestre que  $\mu/L = q/2m$ .

10. Suponga que el electrón es una pequeña esfera de radio  $R$ , estando distribuida su carga y su masa uniformemente en todo su volumen. Un electrón tal tiene un momento angular de "espín"  $L$  y un momento magnético  $\mu$ . Demuestre que  $e/m = 2\mu/L$ . ¿Esta predicción está de acuerdo con el experimento? (Sugerencia: El electrón esférico debe dividirse en anillos de corriente infinitesimales y debe hallarse por integración una expresión para el momento magnético. Este modelo del electrón es demasiado mecanicista para coincidir con la esencia de la física cuántica.)

## Sección 37-3 Magnetización

11. Un imán en forma de barra cilíndrica tiene una longitud de 4.8 cm y un diámetro de 1.1 cm. Tiene una magnetiza-