

Del HALLIDAY Y RESNICK, FÍSICA, PARTE 2  
 ISBN-968-26-0324-2 EDICIÓN 1982

Esta situación resulta clara no sólo por el título de su artículo (traducido del alemán) "En Relación a las Fuerzas Electromagnéticas que Actúan Sobre los Cuerpos en Movimiento", sino que se refuerza en las primeras líneas de su artículo, que dicen:

Es bien sabido que el aplicar la electrodinámica de Maxwell —tal como se entiende actualmente— a cuerpos en movimiento, conduce a asimetrías que no parecen ser inherentes a los fenómenos. Por ejemplo, considérese la acción electrodinámica recíproca entre un imán y un conductor. En este caso, el fenómeno observable sólo depende del movimiento relativo del conductor y del imán, en tanto que la observación personal establece marcadas diferencias según sea si es uno o el otro de los cuerpos el que se mueve. Si es el imán el que se mueve, y el conductor está en reposo, en la vecindad del imán se origina un campo eléctrico de cierta energía, que produce una corriente en aquellos lugares en los que se encuentren porciones del conductor. Pero si el imán está en reposo y es el conductor el que se mueve, no se origina ningún campo eléctrico en las vecindades del imán. Sin embargo, en el conductor se establece una fuerza electromotriz, a la cual no se le puede asociar una energía correspondiente, pero que da lugar —suponiendo que el movimiento relativo es el mismo en los dos casos mencionados— a corrientes eléctricas que siguen las mismas trayectorias, y tienen las mismas intensidades que las producidas por las fuerzas eléctricas del caso anterior.

El lector que desee abundar en este tema, puede leer el Tópico Suplementario V y después puede consultar la referencia *Introduction to Special Relativity* (Cap. IV) de Robert Resnick, John Wiley & Sons (1968).

Suponer que en la Fig. 35-16,  $B = 2.0 \text{ T}$ ,  $l = 10 \text{ cm}$  y  $v = 1.0 \text{ m/s}$ . Calcular (a) el campo eléctrico inducido observado por  $S'$  y (b) la fem inducida en la espira.

(a) El campo eléctrico, que sólo puede ser detectado por  $S'$ , está asociado con el imán en movimiento y su magnitud queda determinada por (véase la Ec. 35-20a)

$$\begin{aligned} E &= vB \\ &= (1.0 \text{ m/s})(2.0 \text{ T}) \\ &= 2.0 \text{ V/m.} \end{aligned}$$

(b) El observador  $S$  calcularía la fem inducida (de movimiento) a partir de

$$\begin{aligned} \varepsilon &= Blv \\ &= (2.0 \text{ T})(1.0 \times 10^{-1} \text{ m})(1.0 \text{ m/s}) \\ &= 0.20 \text{ V.} \end{aligned}$$

Para el observador  $S'$ , la fem no sería de movimiento y utilizaría la relación

$$\begin{aligned} \varepsilon &= El \\ &= (2.0 \text{ V/m})(1.0 \times 10^{-1} \text{ m}) \\ &= 0.20 \text{ V.} \end{aligned}$$

Los valores numéricos de la fem para los dos observadores concuerdan, como debe ser.

## EJEMPLO 6

## preguntas

1. Por simplicidad, en las Figs. 35-1, 35-2, 35-3, etc., se muestran bobinas de una sola vuelta. Explicar qué ventajas tendría el aumentar el número de vueltas.
2. ¿Difieren en algún aspecto las corrientes y las fem "inducidas" de las corrientes y las fem proporcionadas por una batería conectada a una espira conductora? Discutir la respuesta.
3. Aunque estos temas se estudiaron en capítulos anteriores, explicar ahora, con sus propias palabras, la diferencia entre el campo magnético  $\mathbf{B}$  y el flujo del campo magnético  $\Phi_B$ . ¿Se trata de cantidades escalares o vectoriales? ¿En qué unidades se expresan? ¿Cómo se relacionan estas unidades? ¿Alguna de estas cantidades —o ambas o ninguna— es una propiedad de un punto dado del espacio? Discutir con detalle las respuestas.
4. Desde el techo de un cuarto se deja caer un imán a lo largo del eje de una espira de cobre que se encuentra descansando en el piso. Si se fotografía al imán durante su

caída con una cámara secuencial, ¿cuáles son las diferencias, si es que existen, que aparecerán cuando (a) la espira se encuentra a temperatura ambiente y (b) la espira se encuentra en hielo seco?

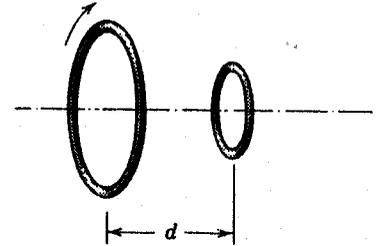


figura 35-17  
Pregunta 5.

5. Dos espiras conductoras se encuentran una frente a la otra separadas una distancia  $d$  (Fig. 35-1). Un observador colocado en su eje común, observa de izquierda a derecha. Súbitamente en la espira grande se establece una corriente  $i$  en el sentido de las manecillas del reloj; ¿cual será el sentido de la corriente inducida en la espira pequeña? ¿Cuál es el sentido de la fuerza (si es que existe) que actúa sobre la espira pequeña?
6. ¿Cuál es el sentido de la fem inducida en la bobina Y de la Fig. 35-18 (a) cuando la bobina Y se mueve hacia la bobina X y (b) cuando la corriente en la bobina X disminuye sin que cambie la posición relativa de las bobinas?

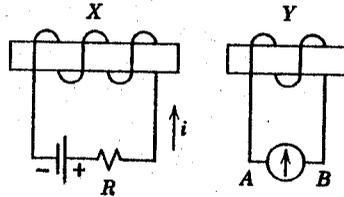


figura 35-18  
Pregunta 6.

7. El polo norte de un imán se mueve alejándose de un anillo metálico, como en la Fig. 35-19. ¿Hacia dónde apunta la corriente en la parte del anillo más alejada del lector?
8. *Corrientes de vórtice.* Una lámina de cobre se coloca en un campo magnético, como se muestra en la Fig. 35-20. Si se tratara de tirar de la lámina hacia afuera del campo, o de empujarla hacia adentro, aparecería automáticamente una fuerza de resistencia. Explicar su origen. (Sugerencia: Sobre la lámina se inducen corrientes, llamadas corrientes de vórtice, en tal forma que se oponen al movimiento.)
9. Un solenoide que transporta corriente se mueve hacia una espira conductora, tal como se muestra en la Fig. 35-21. ¿Cuál es el sentido de la corriente que circula en la espira, según lo ve el observador mostrado?
10. Si aumenta el valor de la resistencia  $R$  mostrada en la parte izquierda del circuito de la Fig. 35-22, ¿cuál es el sentido de la corriente inducida en la parte derecha del circuito?

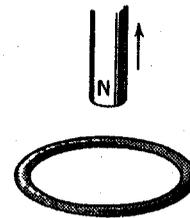


figura 35-19  
Pregunta 7.

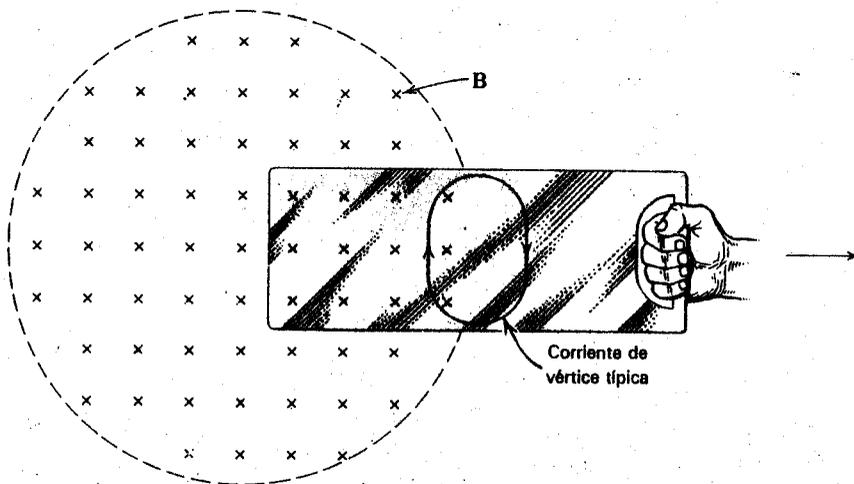


figura 35-20  
Pregunta 8.

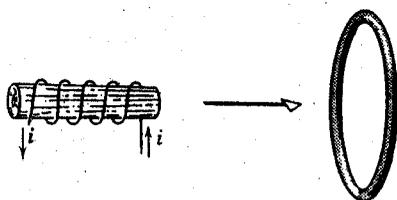


figura 35-21  
Pregunta 9.

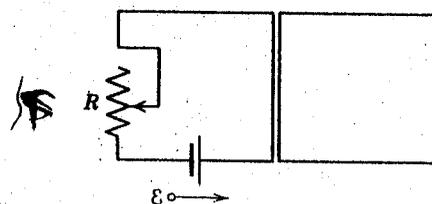


figura 35-22  
Pregunta 10.

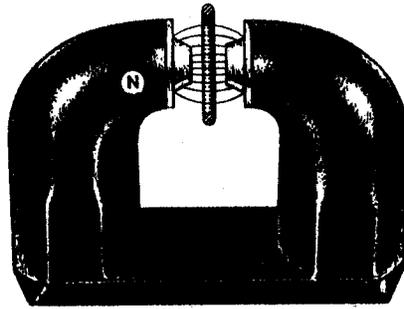


figura 35-23  
Pregunta 11.

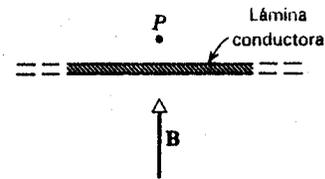


figura 35-24  
Pregunta 12.

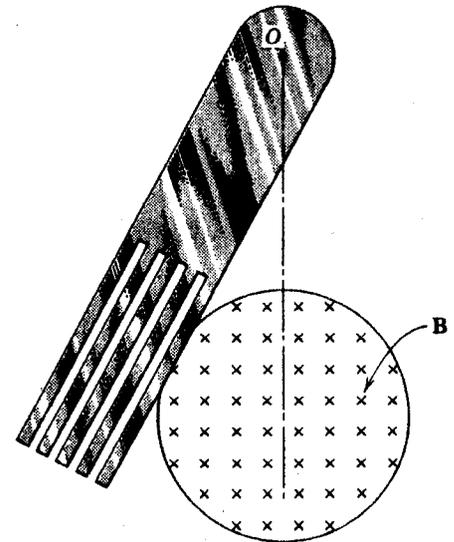


figura 35-25  
Pregunta 13.

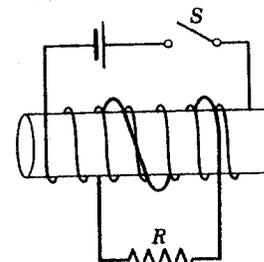


figura 35-26  
Pregunta 14.

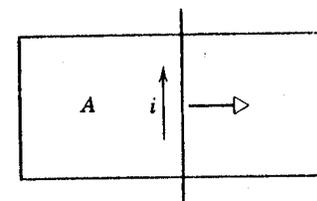


figura 35-27  
Pregunta 15.

11. La espira de la Fig. 35-23 se saca verticalmente hacia arriba alejándola del imán. (a) ¿Cuál es el sentido de la corriente inducida? (b) ¿Se necesita aplicar alguna fuerza para alejar a la espira? (c) ¿Depende del tiempo la cantidad total de energía térmica producida al extraer a la espira?
12. *Escudamiento magnético.* Considérese una lámina conductora contenida en un plano perpendicular a un campo magnético  $B$ , como se muestra en la Fig. 35-24. (a) Si el valor de  $B$  cambia súbitamente, el cambio total de  $B$  no se detecta de inmediato en la región  $P$ . Explicar por qué. (b) Si la resistividad de la lámina es cero, nunca se detecta un cambio en el punto  $P$ . Explicar por qué (c) Si  $B$  cambia en forma periódica con una gran frecuencia y si el conductor está fabricado con un material de poca resistividad, la región vecina a  $P$  queda escudada casi en forma total respecto de los cambios en el flujo. Explicar por qué (d) ¿Se puede utilizar este tipo de conductor como escudo en contra de campos magnéticos estáticos? Explicar la respuesta.
13. *Amortiguamiento magnético.* Una tira de cobre se suspende como un péndulo en el punto  $O$  de la Fig. 35-25 y puede oscilar libremente a través de un campo magnético perpendicular a la página. Si la tira tiene ranuras cortadas en la forma mostrada, oscila libremente a través del campo. Si se sustituye a esta tira por una que no esté ranurada, el movimiento oscilatorio se amortigua mucho. Explicar este efecto. (Sugerencia: Utilizar la ley de Lenz: considérense las trayectorias que deben seguir los transportadores de carga en la tira para oponerse al movimiento.)
14. ¿Cuál es el sentido de la corriente, si es que existe, en el resistor  $R$  de la Fig. 35-26 (a) inmediatamente después de cerrar el interruptor  $S$ , (b) cierto tiempo después de que se ha cerrado  $S$  y (c) inmediatamente después de que se abre el interruptor  $S$ ? (d) Una vez que se ha cerrado  $S$ , ¿qué extremo de la bobina larga actúa como polo norte? (e) ¿Cómo se enteran las cargas libres de la bobina conectada a  $R$  del flujo provocado en la bobina larga? ¿Qué es lo que realmente hace que inicien su movimiento estas cargas libres?
15. El alambre de la Fig. 35-27 se mueve hacia la derecha e induce la corriente mostrada. ¿Cuál es el sentido de  $B$  en la región  $A$ ?
16. Explicar cualitativamente las configuraciones de las líneas de  $B$  de las Figs. 35-6b y 35-6c.
17. ¿Cómo cambiaría la Fig. 35-8 si se tomase en cuenta la curvatura (necesaria) del campo magnético  $B$  de la Fig. 35-7?
18. (a) ¿Tiene que ser una espira conductora el círculo de radio  $r$  de la Fig. 35-10 para que puedan existir  $E$  y  $\mathcal{E}$ ? (b) ¿Cambiará el valor de  $\mathcal{E}$  si el círculo de radio  $r$  no fuese concéntrico con el radio  $R$  (por ejemplo, que estuviese desplazado un poco hacia la izquierda)? (c) ¿Existirá alguna fem en algún círculo concéntrico con los anteriores, de radio  $r$ , pero tal que  $r > R$ ? ¿Existirá algún campo eléctrico?
19. Dos anillos, uno de cobre y el otro de madera y de las mismas dimensiones, se colocan en el mismo flujo magnético cambiante. ¿Cómo son entre sí los campos eléctricos inducidos en cada anillo?
20. ¿En qué condiciones pueden ser iguales las fem inducidas en las trayectorias 1 y 2 de la Fig. 35-12? Los campos eléctricos inducidos son mucho más débiles en las vecindades de la trayectoria 1 que en las vecindades de la trayectoria 2, como lo muestra el espaciamiento de las líneas de fuerza (véase también la Fig. 35-11).
21. Visto desde arriba, en cierto betatrón los electrones giran en contra de las manecillas del reloj. ¿En qué dirección debe apuntar el campo magnético y cómo debe ser su cambio con el tiempo a medida que los electrones se aceleran?

22. ¿Por qué razón un betatrón sólo se puede utilizar durante un cuarto de ciclo para producir aceleración?
23. Para hacer que los electrones en un betatrón tuvieran órbitas espirales hacia afuera, ¿sería necesario aumentar o disminuir el flujo central? Supóngase que  $\mathbf{B}$  en la región orbital permanece esencialmente constante.
24. El ciclotrón (véase la Sec. 33-7) es un instrumento de los llamados *dispositivos de resonancia*. ¿Depende el funcionamiento del betatrón de la resonancia? Discutir la respuesta.
25. En la Fig. 35-16a se puede ver que sobre los transportadores de carga de la rama izquierda de la espira actúa una fuerza ( $F_m \cos \theta$ ). Sin embargo, si sobre la espira ha de haber una corriente continua, y la hay, entonces debe existir algún tipo de fuerza que actúa sobre los transportadores de las otras ramas de la espira, de tal manera que se mantenga la misma rapidez de arrastre  $v$ , en todas las ramas. ¿Qué es lo que origina esta fuerza? (*Sugerencia*: Considerar que la rama izquierda de la espira fuese el único elemento conductor, en tanto que las otras tres ramas fuesen no conductoras. ¿No se acumularían cargas positivas en la mitad superior izquierda y cargas negativas en la mitad inferior?)
26. Demostrar que un volt = un weber/segundo.

SECCION 35-2 **LEY DE FARADAY**

*problemas*

1. Perpendicularmente a un anillo de 10 cm de diámetro, hecho con alambre de cobre del Núm. 10 (diámetro = 0.10 plg), existe un campo magnético uniforme  $B$ . ¿Con qué ritmo debe cambiar  $B$  con el tiempo para inducir una corriente de 10 A en el anillo  
*Respuesta*: 1.3 T/s.
2. Una espira circular de 50 cm de longitud, de alambre de cobre del Núm. 18 (diámetro = 0.040 plg), se coloca perpendicularmente a un campo magnético uniforme que aumenta con el tiempo con un ritmo constante de 0.010 T/s. ¿Cuál es el ritmo (en watts) con el que se genera energía térmica en la espira?
3. En torno a un cilindro de hierro, de sección transversal  $0.001 \text{ m}^2$ , se enrollan 100 vueltas de un alambre de cobre aislado y se conectan a un resistor. La resistencia total del circuito es de  $10 \Omega$ . Si el campo magnético longitudinal en el hierro cambia de 1.0 T en una dirección a 1.0 T en la dirección opuesta, ¿qué cantidad de carga fluye a través del circuito?  
*Respuesta*:  $2.0 \times 10^{-2} \text{ C}$ .
4. La corriente en el solenoide del Ej. 1 cambia según la siguiente ecuación  $i = 3.0 t + 1.0 t^2$ , en donde  $i$  está expresada en amperes y  $t$  en segundos. (a) Hacer una gráfica cuantitativa de la fem inducida en la bobina desde  $t = 0$  hasta  $t = 4.0 \text{ s}$ . (b) La resistencia de la bobina es de  $0.15 \Omega$ . ¿Cuál es la corriente instantánea en la bobina en  $t = 2.0 \text{ s}$ ?
5. Una espira pequeña de área  $A$  se encuentra dentro de un solenoide largo de  $n$  vueltas por unidad de longitud y en el cual circula una corriente  $i$ ; el eje de la espira está en la misma dirección que el eje del solenoide. Si  $i = i_0 \sin \omega t$ , determinar la fem  $\mathcal{E}$  en la espira.  
*Respuesta*:  $\mu_0 n A i_0 \omega \cos \omega t$ .
6. *Generador de corriente alterna*. Una espira rectangular de  $N$  vueltas, longitud  $a$  y ancho  $b$ , gira con una frecuencia  $\nu$  en un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$ , tal como se muestra en la Fig. 35-28. (a) Demostrar que sobre la espira aparece una fem inducida dada por la expresión

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

Este es el principio de operación de los generadores comerciales de corriente alterna. (b) Diseñar una espira que produciría una fem de  $\mathcal{E}_0 = 150 \text{ V}$  cuando gira a 60 rev/s en un campo de 0.50 T.

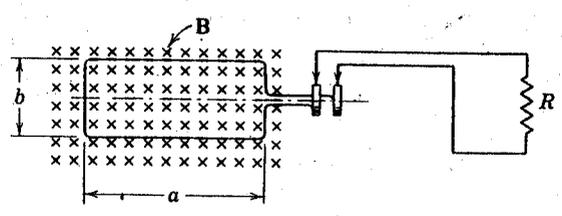


figura 35-28  
Prob. 6.

7. Una espira de cobre de una sola vuelta y resistencia total de  $5.0 \Omega$  se coloca fuera de un solenoide como el del Ej. 1 (véase la Fig. 35-29). Si la corriente en el solenoide cambia en ese ejemplo, (a) ¿cuál es la corriente que aparece en la espira a medida que cambia la corriente en el solenoide? (b) ¿Cómo se enteran las cargas libres de la espira del "mensaje" enviado por el solenoide en el sentido de que deben iniciar su movimiento (para establecer la corriente)? Después de todo, el flujo magnético está restringido totalmente al interior del solenoide

Respuesta: (a)  $2.1 \times 10^{-4} \text{ A}$ .

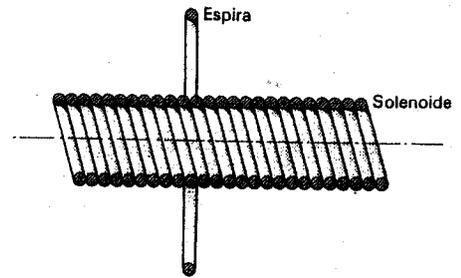


figura 35-29  
Prob. 7.

8. La Fig. 35-30 muestra una barra de cobre que se mueve sobre unas vías conductoras con una velocidad  $v$  paralela a un alambre recto, largo, que transporta una corriente  $i$ . Calcular la fem  $\mathcal{E}$  inducida en la barra, suponiendo que  $v = 5.0 \text{ m/s}$ ,  $i = 100 \text{ A}$ ,  $a = 1.0 \text{ cm}$  y  $b = 20 \text{ cm}$ .

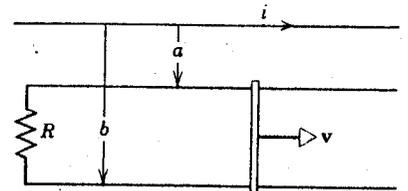


figura 35-30  
Prob. 8.

9. Una bobina de alambre circular, de  $10 \text{ cm}$  de diámetro, se coloca de tal manera que su normal forme un ángulo de  $30^\circ$  con la dirección de un campo magnético uniforme de  $0.50 \text{ T}$ . A la bobina se le comunica un movimiento de tal forma que su normal gira en torno a la dirección del campo magnético con un ritmo constante de  $100 \text{ rpm}$ ; el ángulo entre la normal y la dirección del campo ( $30^\circ$ ) no cambia durante este proceso. ¿Cuál es la fem que aparece en la espira? Respuesta: Cero.

10. Un alambre rígido doblado en forma de un semicírculo de radio  $R$  gira con una frecuencia  $\nu$  en un campo uniforme  $\mathbf{B}$ , tal como se muestra en la Fig. 35-31. ¿Cuál es la amplitud y la frecuencia de la fem inducida y de la corriente inducida cuando la resistencia interna del medidor  $M$  es  $R_M$  y el resto del circuito tiene una resistencia que se puede ignorar?

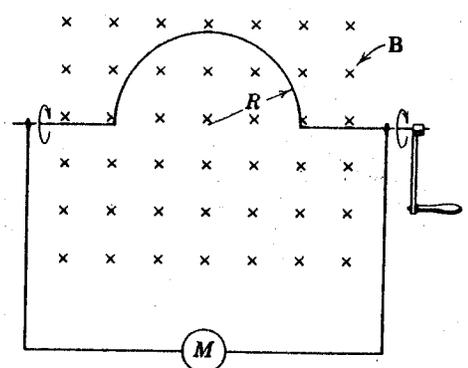


figura 35-31  
Prob. 10.

11. La Fig. 35-32 muestra una barra de cobre que se mueve con una velocidad  $v$  paralela a un alambre recto largo que transporta una corriente  $i$ . Calcular la fem inducida en la barra, suponiendo que  $v = 5.0 \text{ m/s}$ ,  $i = 100 \text{ A}$ ,  $a = 1.0 \text{ cm}$  y  $b = 20 \text{ cm}$ . Respuesta:  $3.0 \times 10^{-4} \text{ V}$ .

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

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

13. Una espira circular de radio  $r$  ( $10 \text{ cm}$ ) se coloca en un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  ( $0.80 \text{ T}$ ) perpendicular al plano de la espira. El radio de la espira empieza a disminuir con un ritmo constante  $dr/dt$  ( $80 \text{ cm/s}$ ). (a) ¿Cuál es la fem  $\mathcal{E}$  inducida en la espira? (b) ¿Cuál sería el ritmo constante de decrecimiento del área para inducir esta misma fem?

Respuesta: (a)  $0.40 \text{ V}$ . (b)  $0.50 \text{ m}^2/\text{s}$ .

14. Probar que el campo eléctrico  $\mathbf{E}$  en un capacitor cargado de placas paralelas no puede decaer a cero a medida que uno se mueve perpendicularmente a él, como lo sugiere la flecha de la Fig. 35-33 (véase el punto a). En los capacitores reales siempre se produce una curvatura de las líneas de fuerza, lo cual significa que  $\mathbf{E}$  se aproxima de una manera continua y gradual a cero. Véase el Prob.

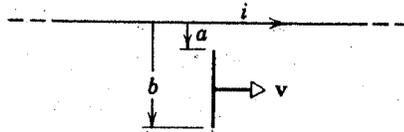


figura 35-32  
Prob. 11.

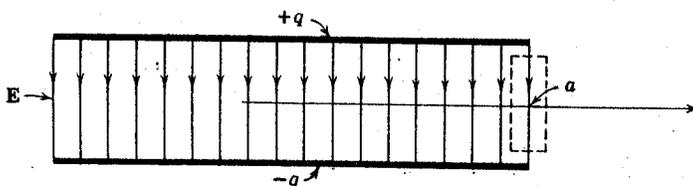


figura 35-33  
Prob. 14.

34-2. (Sugerencia: Aplicar la ley de Faraday a la trayectoria rectangular mostrada por las líneas de trazos.)

15. Un freno electromagnético con "corriente de vórtice" consiste en un disco de conductividad  $\sigma$  y espesor  $t$  que gira en torno a un eje que pasa a través de su centro y de un campo magnético  $\mathbf{B}$  perpendicular al plano del disco en una pequeña área  $a^2$  (véase la Fig. 35-34). Si el área  $a^2$  se encuentra a una distancia  $r$  del eje, determinar la expresión aproximada de la torca que tiende a disminuir la rotación del disco cuando su velocidad angular instantánea es igual a  $\omega$ .  
 Respuesta:  $\tau = B^2 a^2 r^2 \omega \sigma t$ .

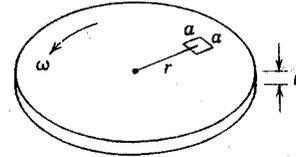


figura 35-34  
 Prob. 15.

SECCION 35-3

LEY DE LENZ

16. A lo largo del eje de una espira conductora se hace pasar rápidamente un imán de barra. Hacer una gráfica cualitativa (a) de la corriente inducida y (b) del ritmo de producción de energía térmica como función de la posición del centro del imán. Supóngase que primero entra a la espira el polo norte del imán y que éste se mueve con rapidez constante. En la gráfica, representar la corriente inducida como positiva si está en el sentido de las manecillas del reloj, según se ve a lo largo de la trayectoria del imán.
17. Un alambre metálico de masa  $m$  resbala sin fricción sobre dos rieles separados una distancia  $d$ , tal como se muestra en la Fig. 35-35. La vía se encuentra en un campo uniforme vertical  $\mathbf{B}$ . (a) Proveniente del generador  $G$  circula una corriente constante  $i$  a lo largo de un riel, a través del alambre y de regreso por el otro riel. Encontrar la velocidad (en magnitud y en dirección) del alambre como función del tiempo, suponiendo que en  $t = 0$  estaba en reposo. (b) Se reemplaza al generador por una batería de fem  $\mathcal{E}$  constante. Ahora la velocidad del alambre se aproxima a un valor final constante. ¿Cuál es esta velocidad terminal? (c) ¿Qué corriente circula en la parte (b) cuando se ha alcanzado la velocidad terminal?  
 Respuesta: (a)  $Bd^2/m$  alejándose de  $G$ . (b)  $\mathcal{E}/Bd$ . (c) Cero.

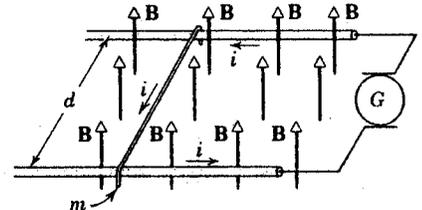


figura 35-35  
 Prob. 17.

18. El flujo magnético a través de la espira de la Fig. 35-26 es perpendicular al plano de la espira, está dirigido hacia adentro de la página y varía de acuerdo con la relación  
 $\Phi_B = 6t^2 + 7t + 1$ , LA ESPIRA ?

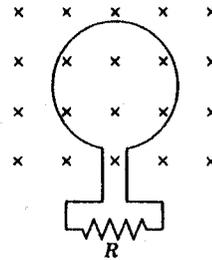


figura 35-36  
 Prob. 18.

en donde  $\Phi_B$  está dado en miliwebers ( $1 \text{ mWb} = 10^{-3} \text{ Wb}$ ) y  $t$  está en segundos. (a) ¿Cuál es la magnitud de la fem inducida en la espira después de  $t = 2.0 \text{ s}$ ? ¿Cuál es la dirección de la corriente a través de  $R$ ?

SECCION 35-4

Estudio Cuantitativo de la inducción

19. Con la misma disposición del Ej. 3, sean  $B = 1.2 \text{ T}$  y  $L = 5.0 \text{ cm}$ . Si  $\mathcal{E} = 1.0 \text{ V}$ , ¿cuál será la aceleración de un punto en el extremo de la barra que gira?  
 Respuesta:  $2300 \text{ "g"}$ .
20. La barra conductora  $AB$  de la Fig. 35-37 hace contacto con dos rieles metálicos  $AD$  y  $BC$  separados  $50 \text{ cm}$  en un campo magnético uniforme de  $1.0 \text{ T}$  perpendicular al plano de la página. La resistencia total del circuito  $ABCD$  es de  $0.4 \Omega$  (supuesta constante). (a) ¿Cuál es la magnitud y el sentido de la fem inducida en la barra cuando se mueve hacia la izquierda con una rapidez de  $8.0 \text{ m/s}$ ? (b) ¿Qué fuerza se necesita para mantener a la barra en movimiento? (c) Comparar el ritmo con el cual la fuerza  $\mathbf{F}$  realiza trabajo mecánico con el ritmo de aumento de la energía térmica en el circuito.
21. En la Fig. 35-38, sean  $l = 2.0 \text{ m}$ ,  $v = 50 \text{ cm/s}$  y  $\mathbf{B}$  el campo magnético terrestre en dirección perpendicular hacia afuera de la página y con una magnitud de  $6.0 \times 10^{-5} \text{ T}$ . La resistencia del circuito  $ADCB$ , supuesta constante (explicar cómo se podría lograr esto, aproximadamente), es  $R = 1.2 \times 10^{-5} \Omega$ . (a) ¿Cuál es la fem inducida en el circuito? (b) ¿Cuál es el campo eléctrico en el alambre  $AB$ ? (c) ¿Qué fuerza experimenta cada uno de los electrones debido al movimiento del alambre en el campo magnético? (d) ¿Cuál es la magnitud y la dirección de la corriente en el alambre? (e) ¿Qué fuerza debe ejercer un agente externo para hacer que el alambre se mueva con velocidad constante? (f) Calcular el ritmo con que realiza trabajo el agente externo. (g) Calcular el ritmo con el cual se está convirtiendo la energía eléctrica en energía térmica.  
 Respuesta: (a)  $6.0 \times 10^{-5} \text{ V}$ . (b)  $3.0 \times 10^{-5} \text{ V/m}$ . (c)  $4.8 \times 10^{-24} \text{ N}$ . (d)  $5.0 \text{ A}$ . (e)  $6.0 \times 10^{-4} \text{ N}$ . (f)  $3.0 \times 10^{-4} \text{ W}$ . (g)  $3.0 \times 10^{-4} \text{ W}$ .
22. Un alambre cuadrado de longitud  $l$ , masa  $m$  y resistencia  $R$  resbala sin fricción a lo largo de dos rieles paralelos de resistencia ignorable, tal como se muestra en la Fig.

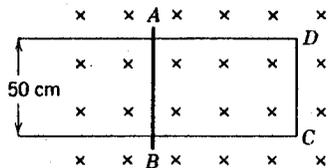


figura 35-37  
 Prob. 20.

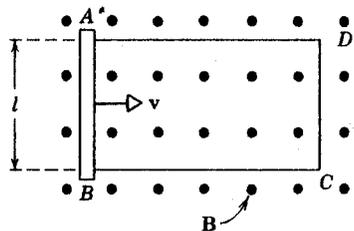


figura 35-38  
 Prob. 21.

35-39. Los rieles están conectados en su extremo final mediante una tira conductora paralela al alambre y sin resistencia, de tal forma que el alambre y los rieles forman una espira rectangular conductora. El plano de los rieles forma un ángulo  $\theta$  con la horizontal y a través de esta región existe un campo magnético uniforme vertical  $\mathbf{B}$ . (a) Demostrar que el alambre adquiere una rapidez constante cuya magnitud es

$$v = \frac{mgR \operatorname{sen} \theta}{B^2 l^2 \cos^2 \theta}$$

(b) Demostrar que este resultado concuerda con el principio de la conservación de la energía. (c) ¿Qué cambios, si es que existen, se producirían si  $\mathbf{B}$  estuviera dirigido hacia abajo en vez de estarlo hacia arriba?

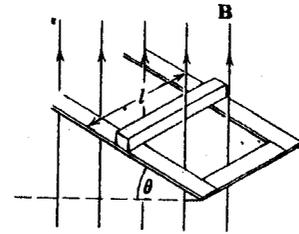


figura 35-39  
Prob. 22.

SECCION 35-5 Campos Magnéticos que varían con el tiempo

- 23. Un solenoide largo de radio  $r$  (2.5 cm) y  $n$  (100/cm) vueltas por unidad de longitud tiene una corriente inicial  $i_0$  (1.0 A). En torno al solenoide se coloca una espira de alambre de diámetro  $D$  (10 cm) cuyo eje coincide con el del solenoide. La corriente se reduce uniformemente hasta  $i$  (0.50 A) en un tiempo  $T$  (0.010 s). ¿Cuál es la fem inducida  $\mathcal{E}$  en la espira durante este cambio de la corriente?  
*Respuesta:*  $1.2 \times 10^{-3}$  V.
- 24. Con un alambre de resistencia  $R$  (10  $\Omega$ ) se fabrica una bobina circular de radio  $r$  (10 cm) que se coloca en un campo magnético  $\mathbf{B}$  perpendicular al plano de la bobina. (a) ¿Con qué rapidez (constante) debe aumentar  $B$  para que se establezca una corriente estacionaria  $i$  (0.010 A) en el circuito? (b) ¿Cuál es la potencia disipada en la resistencia?
- 25. (a) ¿Cuál sería la corriente inducida en la espira rectangular de la Fig. 34-28 si la corriente en el alambre disminuye uniformemente de 30 A a cero en 1.0 s? Suponer que no existía una corriente inicial en la espira y que la resistencia de la misma es de 0.020  $\Omega$ . (b) ¿Cuánta energía se transfiere a la espira en el intervalo de 1.0 s? Suponer que  $a = 1.0$  cm,  $b = 8.0$  cm y  $l = 30$  cm.  
*Respuesta:* (a)  $1.9 \times 10^{-4}$  A. (b)  $7.2 \times 10^{-10}$  J.
- 26. Perpendicularmente a una espira circular de una vuelta de alambre cuya resistencia es ignorable hay un campo magnético  $B$  que cambia con el tiempo, según la gráfica de la Fig. 35-40. La espira tiene un radio  $r$  (10 cm) y está conectada a un resistor  $R$  (10  $\Omega$ ). (a) Representar gráficamente la fem a través del resistor. (b) Representar en una gráfica la corriente  $i$  a través del resistor  $R$ . (c) Representar en forma gráfica el ritmo de producción de energía térmica en el resistor.

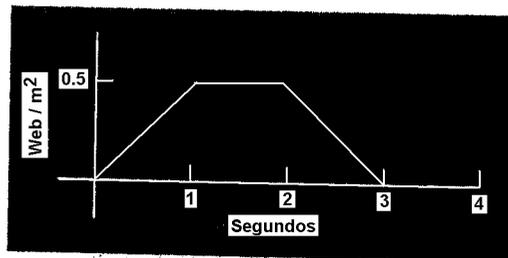


figura 35-40  
Prob. 26.

- 27. Una espira de alambre de área  $A$  se conecta a un resistor  $R$ . Si la espira está inmersa en un campo  $\mathbf{B}$  que varía con el tiempo (véase la Fig. 35-41). (a) Obtener una expresión para la carga total transferida a través del resistor entre  $t = t_1$  y  $t = t_2$ . Demostrar que la respuesta es proporcional a la diferencia  $\Phi_B(t_2) - \Phi_B(t_1)$  y que, fuera de esto, es independiente de la manera en que cambia  $\mathbf{B}$ . (b) Suponer que el cambio en el flujo  $\Phi_B(t_2) - \Phi_B(t_1)$  es cero. ¿Se puede concluir, entonces, que no se ha producido energía térmica durante este intervalo de tiempo?

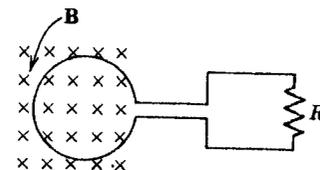


figura 35-41  
Prob. 27.

*Respuesta:* (a)  $Q = -\frac{1}{R} [\Phi_B(t_2) - \Phi_B(t_1)]$ . (b) No.

- 28. La Fig. 35-42 muestra a dos espiras de alambre de una sola vuelta que tienen el mismo eje. La espira pequeña está por encima de la grande a una distancia  $x$  que es

grande comparada con el radio  $R$  de la espira mayor. Por lo tanto, con la corriente  $i$  indicada en la espira grande, el campo magnético producido por ésta es prácticamente constante en la región delimitada por la superficie plana  $\pi r^2$  de la espira pequeña. Considérese el caso en el que  $x$  no es constante, sino que cambia con un ritmo constante  $dx/dt = v$  (con  $x$  aumentando). (a) Determinar el flujo magnético  $\Phi_B$  como función de  $x$  a través del área delimitada por la espira pequeña. (b) Calcular la fem  $\mathcal{E}$  generada en la espira pequeña en el instante en el que  $x = NR$ . (c) Determinar la dirección de la corriente inducida en la espira pequeña si  $v > 0$ .

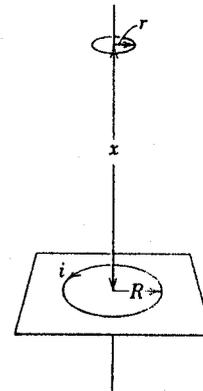


figura 35-42  
Prob. 28.

29. Un alambre se dobla en tres segmentos semicirculares de radio  $r$  (10 cm), tal como se muestra en la Fig. 35-43. Cada segmento constituye el cuadrante de un círculo de tal forma que  $ab$  está en el plano  $xy$ ,  $bc$  en el plano  $yz$  y  $ca$  en el plano  $zx$ . (a) Si existe un campo magnético uniforme (espacialmente)  $\mathbf{B}$  que apunta en la dirección  $x$ , ¿cuál es la magnitud de la fem inducida en el alambre cuando  $\mathbf{B}$  aumenta con un ritmo de  $3.0 \times 10^{-3} \text{ T/s}$ ? (b) ¿Cuál es la dirección de la corriente en el segmento  $bc$ ?  
Respuesta: (a)  $2.4 \times 10^{-5} \text{ V}$ . (b) De  $c$  a  $b$ .

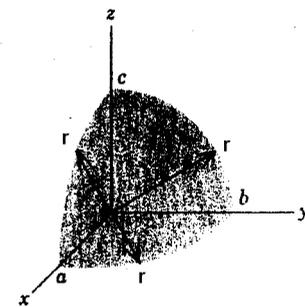


figura 35-43  
Prob. 29.

30. La Fig. 35-44 muestra a un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  restringido a un volumen cilíndrico de radio  $R$ . La magnitud de  $\mathbf{B}$  disminuye con ritmo constante de  $0.010 \text{ T/s}$ . ¿Cuál es la aceleración instantánea (en dirección y en magnitud) que experimentaría un electrón colocado en  $a$ , en  $b$  y en  $c$ ? Suponer que  $r = 5.0 \text{ cm}$ . (La curvatura, necesaria, del campo más allá de  $R$  no cambia la respuesta, siempre y cuando exista simetría axial respecto de un eje perpendicular al plano de la figura y que pase por  $b$ .)

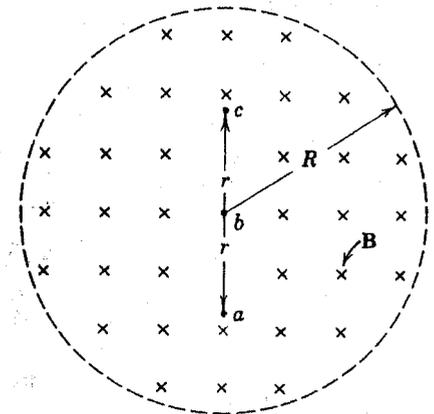


figura 35-44  
Prob. 30.

31. Una espira cerrada de alambre está formada por dos semicírculos de  $3.70 \text{ cm}$  de radio contenidos en planos mutuamente perpendiculares. La espira se formó doblando una espira circular a lo largo de un diámetro hasta que las dos mitades quedaron perpendiculares. Un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  cuya magnitud es de  $0.076 \text{ T}$ , está dirigido perpendicularmente a la línea de intersección de los planos de los semicírculos y forma el mismo ángulo ( $45^\circ$ ) con los planos, tal como se muestra en la Fig. 35-45a. (a) El campo magnético se reduce a cero, con un ritmo uniforme, en un intervalo de  $4.5 \times 10^{-3} \text{ s}$ . Determinar la fem inducida y el sentido de la corriente inducida en la espira en este intervalo. (b) ¿Cómo cambiarían las respuestas de (a) si  $\mathbf{B}$  estuviera dirigido como se muestra en la Fig. 35-45b; esto es, perpendicular a la primera dirección, pero aún perpendicular a la línea de intersección de los planos?  
Respuesta: (a)  $51 \times 10^{-3} \text{ V}$ . (b)  $\mathcal{E} = 0$ .

32. Un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  llena el volumen de un cilindro de radio  $R$ . Dentro del campo, y en la forma mostrada en la Fig. 35-46, se coloca una barra metálica de longitud  $l$ . Si  $B$  cambia con el tiempo a un ritmo  $dB/dt$ , demostrar que el campo magnético cambiante produce una fem entre los extremos de la barra, que está determinada por

$$\mathcal{E} = \frac{dB}{dt} \frac{l}{2} \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}$$

SECCION 35-6 EL BETATRÓN.

33. En la tabla siguiente se indican algunas medidas del campo magnético máximo como función del radio para el betatrón descrito en la pág. 236:

$r, \text{ cm}$	$B, \text{ T}$	$r, \text{ cm}$	$B, \text{ T}$
0	0.400	81.2	0.409
10.2	0.950	83.7	0.400
68.2	0.950	88.9	0.381
73.2	0.528	91.4	0.372
75.2	0.451	93.5	0.360
77.3	0.428	95.5	0.340

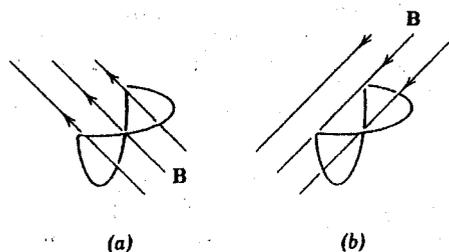


figura 35-45  
Prob. 31.

Demostrar, mediante un análisis gráfico, que en el radio de la órbita ( $R = 84 \text{ cm}$ ) se cumple la relación  $\bar{B} = 2B_R$ .\* (Sugerencia: Notar que  $\bar{B} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R B(r)(2\pi r) dr$  y calcular gráficamente la integral.)

SECCION 35-7

34. (a) Estimar el valor de  $\theta$  en la Fig. 35-16a. Recordar que (véase la Sec. 31-1)  $v_e = 4 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$  es un caso típico. Suponer que  $v = 10 \text{ cm/s}$ . (b) Resulta claro que el valor de  $\theta$  será pequeño. Sin embargo, ¿se debe cumplir que  $\theta \neq 0$  para que sean válidos los argumentos asociados con esta figura?

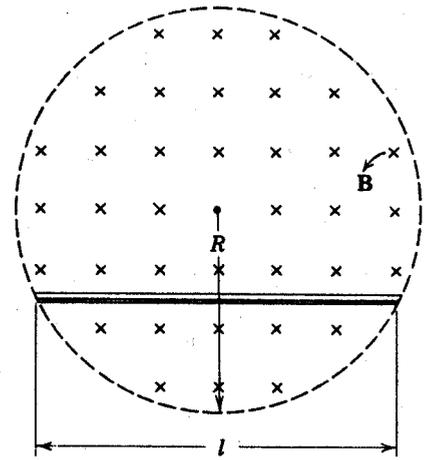


figura 35-46  
Prob. 32.

\*  $B_R$  es el valor del campo cuando  $r = R$ . (N. del T.)