

pueden usar diferenciales para encontrar el cambio del ángulo.)

**35.43.** Dos altavoces, separados por una distancia de 2.50 m, son alimentados por el mismo oscilador de audio de manera que cada uno produce un sonido que consiste en *dos* frecuencias distintas, 0.900 kHz y 1.20 kHz. La rapidez del sonido en la habitación es de 344 m/s. Calcule todos los ángulos con respecto a la línea central habitual frente a (y lejos de) los altavoces con los que *ambas* frecuencias interfieren constructivamente.

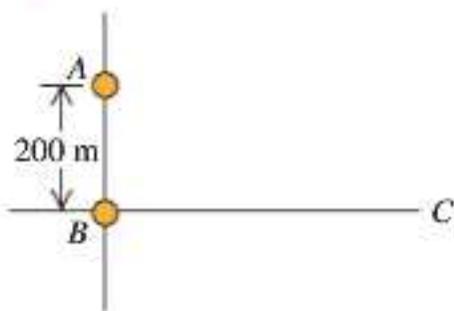
**35.44.** Dos antenas de radio que irradian en fase están colocadas en los puntos *A* y *B*, separadas por una distancia de 200 m (figura 35.23). Las ondas de radio tienen una frecuencia de 5.80 MHz. Se desplaza un receptor de radio desde el punto *B* a lo largo de una línea perpendicular a la línea que

une *A* con *B* (línea *BC* en la figura 35.23). ¿A qué distancias de *B* habrá interferencia *destructiva*? [Nota: la distancia entre el receptor y las fuentes no es grande en comparación con la separación de las fuentes, por lo que no se aplica la ecuación (35.5).]

**35.45.** Una cara redonda de un tubo cilíndrico y sólido de plástico de 3.25 m está cubierta con un recubrimiento delgado negro que bloquea la luz por completo. La cara opuesta está cubierta por un recubrimiento fluorescente que brilla cuando lo toca la luz. En el centro de la cara negra se hacen dos ranuras paralelas, rectas y delgadas, separadas por 0.225 mm. Cuando a través de estas ranuras pasa luz láser con longitud de onda de 632.8 nm y perpendicular a la cara negra, se encuentra que la franja brillante central en la cara opuesta es de 5.82 mm de ancho, medida entre las bandas oscuras que la limitan a cada lado. ¿Cuál es el índice de refracción del plástico?

**35.46.** Una película delgada uniforme de material con índice de refracción de 1.40 cubre una placa de vidrio con índice de refracción de

Figura 35.23 Problema 35.44.



de  $1.40 \sin \theta$  y  $1.40 \cos \theta$  en el tiempo  $t$  está dada por la ecuación (35.5). **35.49.** Considere que las dos fuentes  $S_1$  y  $S_2$  que se ilustran en la figura 35.3 están colocadas en  $y = d$  y  $y = -d$ , respectivamente. a) Vuelva a escribir la ecuación (35.1) en términos de las coordenadas  $x$  y  $y$  de un punto  $P$  en la figura 35.3 en el que ocurra interferencia constructiva. b) Su expresión en el inciso a) es la ecuación para las curvas antinodales que se muestran en la figura 35.3. Demuestre que estas curvas son hipérbolas. (Sugerencia: tal vez quiera revisar la definición de hipérbola en la geometría analítica.) c) Repita el inciso a) para la ecuación (35.2), que describe puntos en los que ocurre interferencia *destructiva*, y demuestre que las curvas *nodales* (no aparecen en la figura 35.3) también son hipérbolas.

**35.50.** Considere un experimento de interferencia con dos ranuras de diferente ancho. Según se mide en una pantalla distante, la amplitud de la onda procedente de la primera ranura es  $E$ , mientras que la amplitud de la onda procedente de la segunda ranura es  $2E$ . a) Demuestre que la intensidad en cualquier punto en el patrón de interferencia es

$$I = I_0 \left( \frac{5}{9} + \frac{4}{9} \cos \phi \right)$$

donde  $\phi$  es la diferencia de fase entre las dos ondas medidas en un punto particular en la pantalla, e  $I_0$  es la intensidad máxima en el patrón. b) Grafique  $I$  contra  $\phi$  (como en la figura 35.10). ¿Cuál es el valor mínimo de la intensidad, y para qué valores de  $\phi$  ocurre?

**35.51.** Se coloca una película delgada uniforme con índice de refracción de 1.750 sobre una lámina de vidrio con índice de refracción de 1.50. A temperatura ambiente (20.0 °C), la película tiene espesor apenas suficiente para que la luz con longitud de onda de 582.4 nm que se refleja en la parte superior de ella sea cancelada por la luz reflejada en la parte superior del vidrio. Después de colocar el vidrio en un horno y calentarlo con lentitud a 170 °C, se encuentra que la película cancela la luz reflejada con longitud de onda de 588.5 nm. ¿Cuál es el coeficiente de expansión lineal de la película? (Ignore

**36.15.** Se ilumina una ranura de 0.240 mm de ancho con rayos luminosos paralelos, cuya longitud de onda es de 540 nm. Se observa el patrón de difracción en una pantalla situada a 3.00 m de la ranura. La intensidad en el centro del máximo central ( $\theta = 0^\circ$ ) es de  $6.00 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$ . *a)* En la pantalla ¿cuál es la distancia del máximo central al primer mínimo? *b)* ¿Cuál es la intensidad en un punto de la pantalla intermedio entre el centro del máximo central y el primer mínimo?

**36.16.** Luz láser con longitud de onda de 632.8 nm incide con dirección normal sobre una rendija que mide 0.0250 mm de ancho. La luz transmitida se ve sobre una pantalla distante, donde la intensidad en el centro de la franja brillante central es de  $8.50 \text{ W/m}^2$ . *a)* Determine el número máximo de franjas totalmente oscuras sobre la pantalla, suponiendo que ésta es suficientemente grande para mostrarlas todas. *b)* ¿A qué ángulo se presenta la franja oscura que está más alejada del centro? *c)* ¿Cuál es la intensidad máxima de la franja brillante que se presenta inmediatamente antes de la franja oscura en el inciso *b)*? Aproxime el ángulo al que se presenta esta franja, suponiendo que está a medio camino entre los ángulos y las franjas oscuras a cada lado de ella.

**36.17.** En un patrón de difracción de una sola ranura, creado por radiación electromagnética monocromática de una fuente distante que pasa a través de una ranura de 0.105 mm de ancho. ¿En qué punto del patrón a  $3.25^\circ$  del centro del máximo central, la diferencia total de fase entre las onditas provenientes de los extremos superior e inferior de la ranura es de 56.0 rad. *a)* ¿Cuál es la longitud de onda de la radiación? *b)* ¿Cuál es la intensidad en este punto, si la intensidad en el centro del máximo central es  $I_0$ ?

## Problemas de desafío

**36.73.** Es posible calcular la intensidad del patrón de difracción de Fraunhofer de una sola ranura *sin* emplear el método de fasores de la sección 36.3. Sea  $y'$  la posición de un punto dentro de la ranura de ancho  $a$  de la figura 36.5a, con  $y' = 0$  en el centro de la ranura, de modo que ésta se extiende de  $y' = -a/2$  a  $y' = a/2$ . Imaginemos que dividimos la ranura en tiras infinitesimales de ancho  $dy'$ , cada una de las cuales actúa como fuente de onditas secundarias. *a)* La amplitud de la onda total en el punto  $O$  de la pantalla distante de la figura 36.5a es  $E_0$ . Explique por qué la amplitud de la ondita proveniente de cada tira infinitesimal de la ranura es  $E_0(dy'/a)$ , por lo que el campo eléctrico de la ondita a una distancia  $x$  de la tira infinitesimal es  $dE = E_0(dy'/a) \text{sen}(kx - \omega t)$ . *b)* Explique por qué la ondita proveniente de cada tira, tal como se detecta en el punto  $P$  de la figura 36.5a, se puede expresar como

$$dE = E_0 \frac{dy'}{a} \text{sen}[k(D - y' \text{sen } \theta) - \omega t]$$

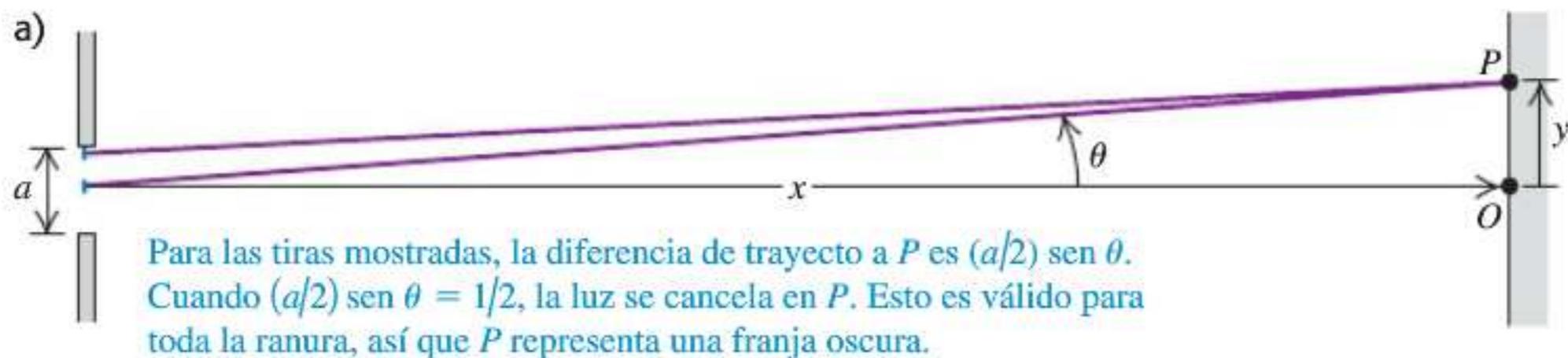
donde  $D$  es la distancia del centro de la ranura al punto  $P$  y  $k = 2\pi/\lambda$ . *c)* Integrando las contribuciones  $dE$  de todas las partes de la ranura, demuestre que la onda total que se detecta en el punto  $P$  es

$$\begin{aligned} E &= E_0 \text{sen}(kD - \omega t) \frac{\text{sen}[ka(\text{sen } \theta)/2]}{ka(\text{sen } \theta)/2} \\ &= E_0 \text{sen}(kD - \omega t) \frac{\text{sen}[\pi a(\text{sen } \theta)/\lambda]}{\pi a(\text{sen } \theta)/\lambda} \end{aligned}$$

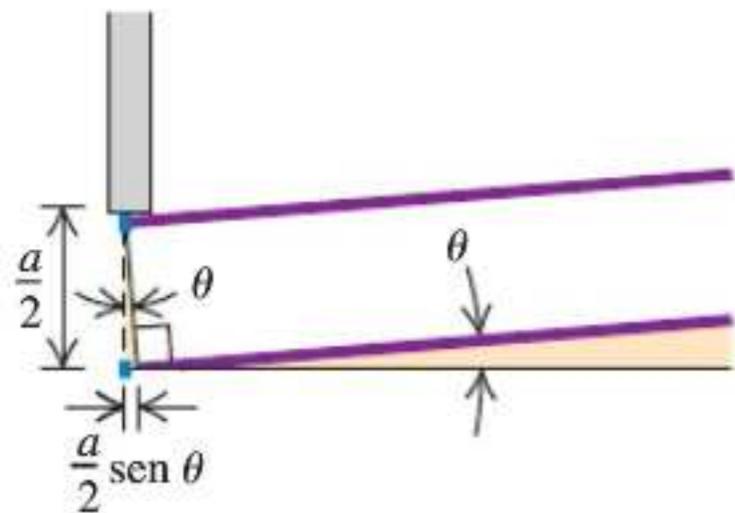
(Le serán útiles las identidades trigonométricas del Apéndice B.) Demuestre que en  $\theta = 0$ , correspondiente al punto  $O$  de la figura 36.5a, la onda es  $E = E_0 \text{sen}(kD - \omega t)$  y su amplitud es  $E_0$ , como se indica en el inciso *a)*. *d)* Con base en el resultado del inciso *c)*, demuestre que, si la intensidad en el punto  $O$  es  $I_0$ , entonces la intensidad en un punto  $P$  está dada por la ecuación (36.7).

**36.74. Distribución de intensidades de  $N$  ranuras.** *a)* Considere una formación de  $N$  ranuras por una distancia  $d$  entre ranuras adyacentes.

**36.5** Vista lateral de una ranura horizontal. Cuando la distancia  $x$  a la pantalla es mucho mayor que el ancho de ranura  $a$ , los rayos provenientes de puntos separados por una distancia  $a/2$  se pueden considerar como paralelos.



b) Vista aumentada de la mitad superior de la ranura



$$y_m = x \frac{m\lambda}{a}.$$