

13. En una novela de Julio Verne, un trozo de hielo se talla para formar una lupa que permite enfocar la luz solar e iniciar una fogata. ¿Es esto posible?
14. Con un espejo cóncavo para reflejar y enfocar la luz solar en un horno, es posible construir un horno solar. ¿Qué factores en el diseño del espejo de reflexión garantizarían una temperatura muy elevada?
15. La figura PC36.15 muestra una litografía de M. C. Escher titulada *Mano con una esfera de reflexión (Autorretrato en un espejo esférico)*. Escher dijo en relación con este trabajo: “La imagen muestra un espejo esférico que descansa en una mano izquierda. Pero como un grabado muestra el inverso del dibujo original en piedra, la que se ilustra es mi mano derecha. (Dado que soy zurdo, necesitaba mi mano izquierda para ejecutar el trabajo.) Esta reflexión globular reúne prácticamente todo lo que rodea a la imagen en forma de disco. La totalidad de la habitación, las cuatro paredes, el piso, el techo, todo, aunque distorsionado, queda comprimido en ese pequeño



M.C. Escher's "Hand with Reflecting Sphere" © 2009 The M.C. Escher Company-Holland. Todos los derechos reservados. www.mcescher.com

Figura PC36.15

círculo. Su propia cabeza o más precisamente el punto entre sus ojos, es el centro absoluto. Sin importar que se dé vuelta o se retuerza, no le es posible salirse del punto central. Se ha vuelto sin ninguna posibilidad de cambio, el foco, el núcleo inamovible de su mundo”. Comente la precisión de la descripción hecha por Escher.

16. Si se coloca un cilindro de vidrio sólido o de plástico transparente por encima de las palabras OXIDO DE PLOMO y se ve desde el otro lado, como se muestra en la figura PC36.16, la palabra PLOMO aparece invertida, pero la palabra OXIDO no lo hace. Explique.

Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC



Figura PC36.16

17. ¿Las ecuaciones  $1/p + 1/q = 1/f$  y  $M = -q/p$  se aplican a la imagen formada por un espejo plano? Explique su respuesta.

## Problemas

1. sencillo; 2. intermedio; 3. retador

1. solución completa disponible en el *Manual de soluciones del estudiante/Guía de estudio*

### Sección 36.1 Imágenes formadas por espejos planos

1. Determine la altura mínima de un espejo plano vertical en el que una persona de 178 cm de altura puede verse de cuerpo entero. (Sugerencia: puede resultar útil dibujar un diagrama de rayos.)
2. En el balcón interior de una iglesia para el coro, dos paredes paralelas están separadas 5.30 m. El grupo coral se coloca contra la pared norte. La organista le da la cara a la pared sur, a 0.800 m de separación. Para que ella pueda ver el coro, se ha instalado un espejo plano de 0.600 m de ancho sobre la pared sur, justo enfrente de ella. ¿Qué ancho de la pared norte alcanza a ver? Sugerencia: dibuje un diagrama desde arriba para justificar su respuesta.
3. (a) ¿El espejo de su cuarto de baño lo hace ver más viejo o más joven de lo que realmente es? (b) Calcule una estimación del orden de magnitud de la diferencia en edad, en función de los datos que especifique.
4. Una persona entra en una habitación que tiene dos espejos planos en paredes opuestas y produce múltiples imágenes de la persona. Considere *sólo* las imágenes formadas en el espejo de la izquierda. Cuando la persona está colocada

a 2.00 m del espejo de la pared izquierda y a 4.0 m del espejo de la pared derecha, determine la distancia que hay de las tres primeras imágenes que se ven en el espejo de la izquierda a la persona.

5. El uso de un periscopio (figura P36.5) es útil para observar objetos que no es posible ver de manera directa. Resulta útil en los submarinos y para observar los torneos de golf o los desfiles entre la muchedumbre. Suponga que un objeto está a una distancia  $p_1$  del espejo superior y que los cen-

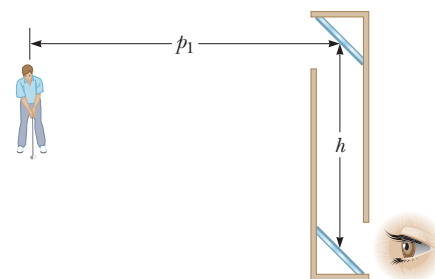


Figura P36.5

- tros de los dos espejos planos están separados una distancia  $h$ . (a) ¿Cuál es la distancia de la imagen final al espejo inferior? (b) ¿La imagen final es real o virtual? (c) ¿Está vertical o hacia abajo? (d) ¿Cuál es el aumento? (e) ¿La imagen está invertida de izquierda a derecha?
6. Dos espejos planos tienen sus superficies reflectantes una frente a la otra, con el borde de un espejo en contacto con el borde del otro, de modo que el ángulo entre los espejos es  $\alpha$ . Cuando se coloca un objeto entre los espejos, se forman una serie de imágenes. En general, si el ángulo  $\alpha$  es tal que  $n\alpha = 360^\circ$ , donde  $n$  es un número entero, el número de imágenes formadas es  $n - 1$ . Gráficamente, encuentre todas las posiciones de la imagen para el caso  $n = 6$  cuando un objeto puntual se encuentra entre los espejos (pero no en la bisectriz del ángulo).
7. Dos espejos planos están uno frente al otro, a 3.00 m de distancia, y una mujer se interpone entre ellos. La mujer se ve en uno de los espejos desde una distancia de 1.00 m y tiene el brazo izquierdo a un lado de su cuerpo con la palma de la mano frente al espejo más cercano. (a) ¿Cuál es la posición aparente de la imagen más cercana de su mano izquierda, medida perpendicularmente desde la superficie del espejo frente a ella? (b) ¿Muestra la palma de la mano o el dorso de la mano? (c) ¿Cuál es la posición de la siguiente imagen más cercana? (d) ¿Muestra la palma de la mano o el dorso de la mano? (e) ¿Cuál es la posición de la tercera imagen más cercana? (f) ¿Muestra la palma de la mano o el dorso de la mano? (g) ¿Cuál de las imágenes es real y cuál es virtual?

### Sección 36.2 Imágenes formadas por espejos esféricos

8. Un objeto se coloca a 50.0 cm de un espejo esférico cóncavo con distancia focal de magnitud 20.0 cm. (a) Encuentre la ubicación de la imagen. (b) ¿Cuál es el aumento de la imagen? (c) ¿La imagen es real o virtual? (d) ¿La imagen está en posición vertical o invertida?
9. Un espejo esférico cóncavo tiene un radio de curvatura de 20.0 cm. (a) Determine la localización de la imagen para distancias objeto de (i) 40.0 cm, (ii) 20.0 cm y (iii) 10.0 cm. En cada caso, diga si la imagen es (b) real o virtual y (c) si está vertical o invertida. (d) Determine el aumento para cada caso.
10. Un objeto se coloca a 20.0 cm de un espejo esférico cóncavo que tiene una longitud focal de magnitud 40.0 cm. (a) Use papel cuadriculado para construir un diagrama de rayos preciso de esta situación. (b) A partir de su diagrama de rayos, determine la ubicación de la imagen. (c) ¿Cuál es el aumento de la imagen? (d) Compruebe sus respuestas a los incisos (b) y (c) utilizando la ecuación del espejo.
11. Un espejo esférico convexo tiene un radio de curvatura de 40.0 cm. Determine la posición de la imagen virtual, así como el aumento para distancias objeto de (a) 30.0 cm y (b) 60.0 cm. (c) ¿Las imágenes son verticales o invertidas?
12. En la intersección de los pasillos de un hospital, en la parte superior, sobre la pared, se montó un espejo convexo que ayuda a que las personas eviten chocar con otras. El espejo tiene un radio de curvatura de 0.550 m. (a) Localice la imagen de un paciente a 10.0 m del espejo. (b) Indique si la imagen está vertical o invertida. (c) Determine el aumento de la imagen.
13. Un objeto de 2.00 cm de altura se coloca a 30.0 cm de un espejo esférico convexo de distancia focal de magnitud 10.0 cm. (a) Encuentre la ubicación de la imagen. (b) Indique si la imagen es vertical o invertida. (c) Determine la altura de la imagen.
14. Un dentista usa un espejo para examinar un diente. El diente está 1.00 cm enfrente del espejo y la imagen se forma 10.0 cm detrás del espejo. Determine (a) el radio de curvatura del espejo y (b) el aumento de la imagen.
15. Una sala de gran tamaño en un museo tiene un nicho en una pared. En el plano del museo aparece como una hendidura semicircular con un radio de 2.50 m. Una persona está de pie en la línea central del nicho, a 2.00 m de su punto más profundo, y murmura "Hola". ¿Dónde se concentra el sonido después de haberse reflejado desde la pared del fondo del nicho?
16. ¿Por qué es imposible la siguiente situación? En una esquina oculta en un centro comercial al aire libre, un espejo convexo está montado para que los peatones puedan ver alrededor de la esquina antes de llegar allí y toparse con alguien que viaja en dirección perpendicular. Los instaladores del espejo no tuvieron en cuenta la posición del Sol y el espejo concentra los rayos del Sol en un arbusto cercano y le prende fuego.
17. A fin de ajustar los lentes de contacto a los ojos del paciente es útil un *keratómetro* que mide la curvatura de la superficie frontal del ojo, la córnea. El instrumento coloca un objeto iluminado de tamaño conocido a una distancia  $p$ , también conocida de la córnea. Ésta refleja parcialmente la luz del objeto, formando una imagen del mismo. El aumento  $M$  de la imagen se mide con un pequeño telescopio ocular que permite comparar la imagen formada por la córnea con una segunda imagen calibrada que se proyecta en el campo visual gracias a un arreglo de prismas. Determine el radio de curvatura de la córnea en el caso de que  $p = 30.0$  cm y  $M = 0.0130$ .
18. Un cierto adorno navideño está constituido por una esfera plateada de 8.50 cm de diámetro. (a) Determine la ubicación de un objeto en donde el tamaño de la imagen reflejada sea tres cuartas partes las dimensiones del objeto. (b) Use un diagrama de rayos principales para describir la imagen.
19. (a) Un espejo cóncavo forma una imagen invertida cuatro veces mayor que el objeto. Determine la distancia focal del espejo si la distancia entre la imagen y el objeto es de 0.600 cm. (b) ¿Qué pasaría si? Suponga que el espejo es convexo. La distancia entre la imagen y el objeto es la misma que en el inciso (a), pero la imagen es 0.500 el tamaño del objeto. Determine la distancia focal del espejo.
20. (a) Un espejo cóncavo forma una imagen invertida diferente en tamaño al objeto por un factor  $a > 1$ . La distancia entre el objeto y la imagen es  $d$ . Determine la distancia focal del espejo. (b) ¿Qué pasaría si? Suponga que el espejo es convexo, la imagen es vertical y  $a < 1$ . Determine la distancia focal del espejo.
21. Un objeto de 10.0 cm de altura se coloca en la marca cero de un metro de madera. Un espejo esférico, colocado en algún

punto sobre el metro, crea una imagen del objeto que está vertical, tiene 4.00 cm de altura y se encuentra en la marca de los 42.0 cm en el metro. (a) ¿El espejo es convexo o cóncavo? (b) ¿Dónde se encuentra? (c) ¿Cuál es su distancia focal?

22. Un espejo esférico cóncavo tiene un radio de curvatura de magnitud 24.0 cm. (a) Determine la posición del objeto para el que la imagen resultante está en posición vertical y es mayor que el objeto por un factor de 3.00. (b) Dibuje un diagrama de rayos para determinar la posición de la imagen. (c) ¿La imagen es real o virtual?
23. Un entusiasta de los automóviles deportivos pule las superficies interior y exterior de un tapón de rueda que tiene la forma de una sección de esfera. Cuando mira en uno de los lados del tapón, ve una imagen de su cara 30.0 cm detrás del tapón mismo. Ahora hace girar el tapón y entonces ve otra imagen de su cara, a 10.0 cm por detrás de éste. (a) ¿A qué distancia está su cara en relación con el tapón? (b) ¿Cuál es el radio de curvatura del tapón?
24. Un espejo esférico convexo tiene una distancia focal de magnitud 8.00 cm. (a) ¿Cuál es la ubicación de un objeto para el que la magnitud de la distancia de la imagen equivale a un tercio de la magnitud de la distancia del objeto? (b) Encuentre el aumento de la imagen y (c) indique si es vertical o invertida.
25. Un espejo esférico es utilizado para formar una imagen de 5.00 veces el tamaño de un objeto en una pantalla situada a 5.00 m desde el objeto. (a) ¿El espejo que se requiere es cóncavo o convexo? (b) ¿Cuál es el radio de curvatura requerido del espejo? (c) ¿Dónde debe estar colocado el espejo con respecto al objeto?
26. **Problema de repaso.** Se deja caer una pelota en el tiempo  $t = 0$  desde el reposo a 3.00 m directamente por encima del vértice de un espejo cóncavo que tiene un radio de curvatura de 1.00 m y que yace en un plano horizontal. (a) Describa el movimiento de la imagen de la pelota en el espejo. (b) ¿En qué momento coinciden la pelota y su imagen?
27. De manera subconsciente, el ser humano estima la distancia a un objeto desde el ángulo que subtende en su campo visual. Este ángulo  $\theta$  en radianes está relacionado con la altura lineal  $h$  del objeto y la distancia  $d$ , de acuerdo con  $\theta = h/d$ . Suponga que está manejando un automóvil y que otro vehículo de 1.50 m de altura está a 24.0 m detrás de usted. (a) Suponga que su automóvil tiene un espejo retrovisor de tipo plano en el lado del pasajero, a 1.55 m de sus ojos. ¿A qué distancia de sus ojos está la imagen del automóvil que le viene siguiendo? (b) ¿Cuál es el ángulo subtendido por la imagen que aparece en su campo visual? (c) **¿Qué pasaría si?** Ahora suponga que su automóvil tiene un espejo retrovisor convexo con un radio de curvatura de 2.00 m (como sugiere la figura 36.15). ¿Qué tan lejos de sus ojos está la imagen del automóvil que viene atrás? (d) ¿Cuál es el ángulo que subtende la imagen en sus ojos? (e) En términos de su tamaño angular, ¿qué tan lejos parece estar el automóvil que lo viene siguiendo?
28. Un hombre de pie a 1.52 m delante de un espejo para afeitarse produce una imagen invertida a 18.0 cm enfrente del espejo. ¿Qué tan cerca del espejo debe pararse si quiere formar una imagen vertical de su barbilla que tenga dos veces el tamaño real de la barbilla?

### Sección 36.3 Imágenes formadas por refracción

29. El extremo de una larga varilla de vidrio ( $n = 1.50$ ) se moldea formando una superficie convexa con un radio de curvatura de 6.00 cm. Un objeto está colocado en el aire a lo largo del eje de la varilla. Determine las posiciones de las imágenes que correspondan a distancias objeto de (a) 20.0 cm, (b) 10.0 cm y (c) 3.00 cm del extremo de la varilla.
30. Un bloque cúbico de hielo de 50.0 cm de lado está colocado sobre un grano de polvo a nivel del piso. Determine la localización de la imagen del grano visto desde arriba. El índice de refracción del hielo es de 1.309.
31. La parte superior de una piscina está a nivel del suelo. Si la piscina tiene 2.00 m de profundidad, ¿qué tan abajo del nivel del suelo parece estar situado el fondo de la piscina cuando (a) la piscina está completamente llena de agua? (b) ¿Cuando se llena hasta la mitad con agua?
32. El aumento de la imagen formada por una superficie de refracción está dada por

$$M = -\frac{n_1 q}{n_2 p}$$

donde  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $p$  y  $q$  se definen como son para la figura 36.17 y la ecuación 36.8. Un pisapapeles está hecho de un hemisferio de vidrio sólido con índice de refracción 1.50. El radio de la sección transversal circular es 4.00 cm. El hemisferio se coloca sobre su superficie plana, con el centro directamente sobre una línea dibujada de 2.50 mm de longitud en una hoja de papel. ¿Cuál es la longitud de esta línea, cómo es vista por alguien mirando verticalmente hacia abajo en el hemisferio?

33. Una placa de vidrio flint descansa sobre el fondo de un tanque de acuario. La placa es de 8.00 cm de espesor (dimensión vertical) y se cubre con una capa de agua de 12.0 cm de profundidad. Calcule el espesor aparente de la placa recta según se ve desde encima del agua.
34. La figura P36.34 muestra una superficie curva que separa un material con índice de refracción  $n_1$  de un material con índice  $n_2$ . La superficie forma una imagen  $I$  del objeto  $O$ . El rayo que se muestra en rojo pasa a través de la superficie a lo largo de la línea radial. Sus ángulos de incidencia y refracción son cero, de modo que su dirección no cambia en la superficie. Para el rayo que se muestra en azul, la dirección cambia de acuerdo con  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ . Para rayos paraxiales, se supone que  $\theta_1$  y  $\theta_2$  son pequeños, así que puede escribir  $n_1 \tan \theta_1 = n_2 \tan \theta_2$ . El aumento se define como  $M = h'/h$ . Demuestre que el aumento está dado por  $M = -n_1 q/n_2 p$ .

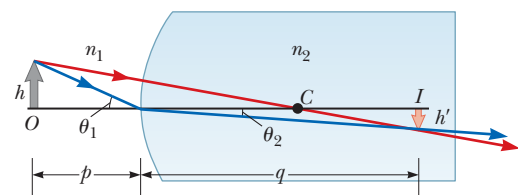


Figura P36.34

35. Una esfera de vidrio ( $n = 1.50$ ) con un radio de 15.0 cm tiene una pequeña burbuja de aire a 5.00 cm por encima de su centro. La esfera se observa mirando hacia abajo a lo largo del

radio que contiene a la burbuja. ¿Cuál es la profundidad aparente de la burbuja por debajo de la superficie de la esfera?

36. Como se muestra en la figura P36.36, Benjamín y Jacobo echan un vistazo a un acuario que tiene un frente curvo de plástico con espesor uniforme y un radio de curvatura de magnitud  $R = 2.25$  m. (a) Localice las imágenes de los peces que se encuentran a (i) 5.00 cm y (ii) 25.0 cm de la pared frontal del acuario. (b) Encuentre el aumento de las imágenes (i) y (ii) del inciso (a). (Véase el problema 32 para encontrar una expresión para el aumento de una imagen formada por una superficie refractante.) (c) Explique por qué usted no necesita saber el índice de refracción del plástico para resolver este problema. (d) Si este acuario es muy largo desde el frente hacia atrás, ¿la imagen de un pez pudo estar aún más lejos de la superficie frontal que los peces en sí? (e) En caso negativo, explique por qué no. Si es así, dé un ejemplo y encuentre el aumento.



Chris Candela

Figura P36.36

37. Una carpa japonesa dorada nada a una velocidad de 2.00 cm/s hacia la pared delantera de un acuario rectangular. ¿Cuál es la rapidez aparente del pez medida por un observador que mira al acuario desde el exterior?

#### Sección 36.4 Imágenes formadas por lentes delgadas

38. Una lente delgada tiene una distancia focal de 25.0 cm. Localice y describa la imagen cuando el objeto se coloca delante de la lente (a) a 26.0 cm y (b) a 24.0 cm.
39. Un objeto localizado a 32.0 cm por delante de una lente forma una imagen en una pantalla a 8.00 cm por detrás de la lente. (a) Determine su distancia focal. (b) Determine su aumento. (c) ¿Es la lente convergente o divergente?
40. Un objeto se encuentra a 20.0 cm a la izquierda de una lente divergente de distancia focal  $f = -32.0$  cm. Determine (a) la localización y (b) el aumento de la imagen. (c) Elabore un diagrama de rayos para esta disposición.
41. La lente de proyección de cierto proyector de transparencias es delgada y simple. Debe proyectar una transparencia de 24 mm de altura de forma que su imagen llene una pantalla de 1.80 m de altura. La distancia de la transparencia a la pantalla es de 3.00 m. (a) Determine la distancia focal de la lente de proyección. (b) ¿A qué distancia de la transparencia deberá colocarse la lente a fin de formar la imagen en la pantalla?

42. La distancia de un objeto a partir de una lente convergente es 5.00 veces la distancia focal. (a) Determine la ubicación de la imagen. Exprese la respuesta como una fracción de la distancia focal. (b) Encuentre el aumento de la imagen e indique si está (c) en posición vertical o invertida, y si es (d) real o virtual.
43. Una lente de contacto está hecha de plástico con un índice de refracción de 1.50. La lente tiene un radio de curvatura exterior de +2.00 cm y un radio de curvatura interior de +2.50 cm. ¿Cuál es su distancia focal?
44. Una lente convergente tiene una distancia focal de 10.0 cm. Construya diagramas precisos de rayos para distancias objeto de (i) 20.0 cm y (ii) 5.00 cm. (a) A partir de los diagramas de rayos, determine la ubicación de cada imagen. (b) ¿La imagen es real o virtual? (c) ¿La imagen está en posición vertical o invertida? (d) ¿Cuál es el aumento de la imagen? (e) Compare los resultados con los valores encontrados algebraicamente. (f) Comente las dificultades en la construcción de la gráfica que podrían dar lugar a diferencias entre las respuestas gráficas y algebraicas.
45. Una lente convergente tiene una distancia focal de 10.0 cm. Encuentre el objeto si una imagen real se encuentra a una distancia de la lente de (a) 20.0 cm y (b) 50.0 cm. **¿Qué pasaría si?** Rehaga los cálculos si las imágenes son virtuales y están situadas a una distancia de la lente de (c) 20.0 cm y (d) 50.0 cm.
46. Una lente divergente tiene una distancia focal de 20.0 cm. (a) Localice la imagen para una distancia objeto de (i) 40.0 cm, (ii) 20.0 cm y (iii) 10.0 cm. En cada caso diga si la imagen es (b) real o virtual y (c) si está hacia arriba o invertida. (d) Determine también los aumentos para cada caso.

47. La imagen de la moneda de cinco centavos de la figura P36.47 tiene el doble de diámetro que la moneda en sí y está a 2.84 cm frente a la lente. Determine la distancia focal de ésta.



Figura P36.47

48. Suponga que un objeto tiene un espesor  $dp$  de manera que sobresale de la distancia objeto  $p$  hasta la distancia  $p + dp$ . (a) Demuestre que el espesor  $dq$  de su imagen se conoce por  $(-q^2/p^2)dp$ . (b) El aumento longitudinal del objeto es  $M_{\text{long}} = dq/dp$ , ¿cuál es el aumento lateral  $M$ ?
49. La cara izquierda de una lente biconvexa tiene un radio de curvatura de 12.0 cm, y la derecha de 18.0 cm. El índice de refracción del vidrio es de 1.44. (a) Calcule la distancia focal de la lente para una luz que incide desde la izquierda. (b) **¿Qué pasaría si?** Después la lente se gira para intercambiar los radios de curvatura de las dos caras. Calcule la distancia focal de la lente para una luz que incide desde la izquierda.
50. En la figura P36.50, una lente convergente delgada con distancia focal de 14.0 cm forma una imagen del cuadrado  $abcd$ , que tiene de alto  $h_c = h_b = 10.0$  cm y se encuentra entre las distancias de  $p_d = 20.0$  cm y  $p_a = 30.0$  cm del lente. Sean  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$  y  $d'$  las esquinas respectivas de la imagen. Sea  $q_a$  la distancia imagen para los puntos  $a'$  y  $b'$ ,  $q_d$