

# Cuestiones previas (página 372)

1. ¿Cómo se ven las imágenes cuando nos miramos en un espejo plano?

La imagen que vemos en un espejo plano es virtual (se forma detrás del espejo), tiene el mismo tamaño que el objeto y presenta inversión lateral izquierda-derecha.

2. ¿Qué tipo de espejo se utiliza en algunos cruces de calles? ¿Por qué?

Se suelen utilizar espejos convexos porque permiten una amplia visión al aparecer la imagen disminuida.

3. ¿Para qué sirven las lentes? ¿Qué clase de lentes conoces?

Las lentes sirven sobretodo para el aumento de la imagen, corrección de problemas visuales, etcétera.

Se utilizan para la fabricación de lupas, telescopios, prismáticos, objetivos de cámara, etcétera.

Las lentes delgadas que pueden ser convergentes o divergentes.

4. ¿Qué es la distancia focal? ¿Qué es lo que hacemos cuando «enfocamos» el objetivo de una cámara?

Es la distancia entre el centro óptico O y el foco F.

Cuando enfocamos el objetivo de una cámara estamos variando la distancia focal para que la imagen se vea con mayor nitidez.

5. ¿Representan lo mismo los aumentos microscópicos que los aumentos telescópicos?

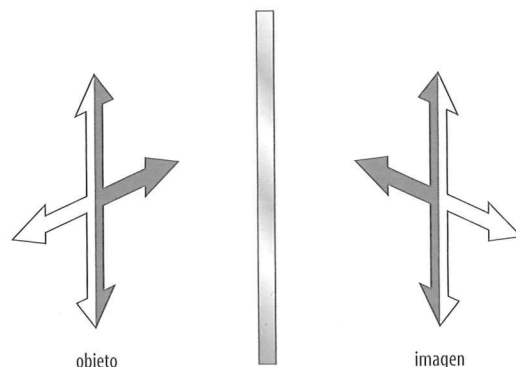
No representan lo mismo, los aumentos telescópicos son angulares y los microscópicos son laterales.

6. ¿Cuáles son los defectos más habituales de la visión ocular?

Los más habituales son: miopía, hipermetropía, astigmatismo, vista cansada o presbicia y cataratas.

2. Si los espejos planos producen inversión lateral, ¿por qué no originan inversión vertical?

Esto ocurre por la propia naturaleza de la reflexión. Como puede observarse en el dibujo, la imagen de la flecha superior es otra flecha superior (por tanto, no presenta inversión vertical), pero invertida lateralmente.



3. Una persona de 1,70 m de altura se coloca delante de un espejo plano a una distancia de 0,80 m.

a) ¿Qué tamaño tiene la imagen?

b) ¿Cuál debe ser la altura mínima del espejo para que la persona se vea de cuerpo entero?

a) La imagen en un espejo plano tiene el mismo tamaño que la persona.

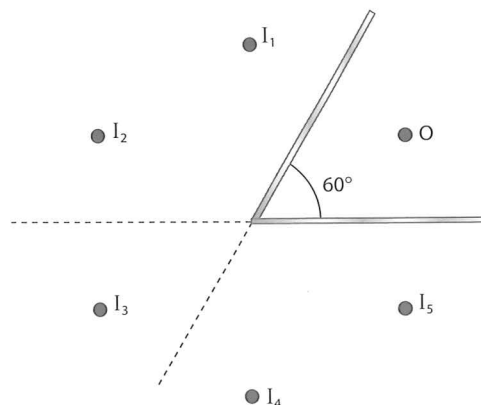
b) Como puede comprobarse en la cuestión resuelta número 1 de la página 318 del *Libro del alumno*, la altura mínima del espejo ha de ser de 85 cm, es decir, la mitad de la altura de la persona. La parte superior del espejo ha de estar a la altura del punto medio de la frente de la persona. La distancia a la que la persona se sitúe con respecto al espejo carece de toda importancia.

4. Comenta la formación de las siete imágenes del objeto O que aparecen cuando los dos espejos forman un ángulo de 45°, como se indica en la figura 11.12.

Las imágenes  $I_1$  e  $I_7$  son las imágenes directas de O en el espejo plano e inclinado, respectivamente. La imagen  $I_6$  puede considerarse como la imagen o proyección de  $I_1$  en el espejo inclinado, mientras que  $I_2$  es la imagen de  $I_7$  en el espejo plano. A su vez,  $I_3$  puede considerarse la proyección o imagen de  $I_6$  en el espejo plano. Por último,  $I_4$  sería la imagen de  $I_3$  en el espejo oblicuo, e  $I_5$ , la de  $I_4$  en el espejo plano.

5. ¿Cuántas imágenes de O se obtendrán si los espejos planos forman 60°? Localízalas.

Se formarían cinco imágenes, como puede comprobarse en el dibujo.

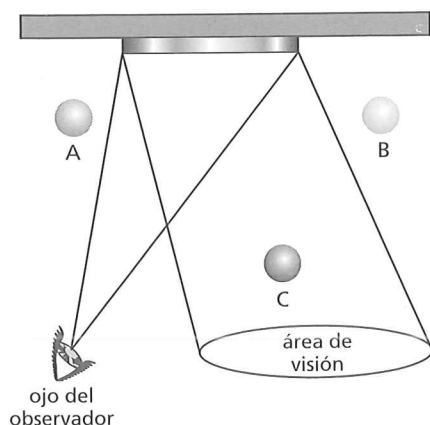


## Actividades (páginas 289/317)

1. Razona cuál de los objetos, A, B o C es visible a través del espejo para el observador de la figura 11.7.

Los objetos observables a través del espejo son los que se encuentran dentro del área abarcada por los «rayos límite» que se reflejan en los bordes del espejo, según la ley de la reflexión, para confluir en el ojo del observador.

En consecuencia, como puede apreciarse, solo el objeto C es visible para el observador a través del espejo.



Las imágenes  $I_1$  e  $I_3$  son las producidas directamente por  $O$  en los espejos oblicuo y horizontal, respectivamente. La imagen de  $I_1$  es  $I_4$  en el espejo horizontal, mientras que  $I_2$  es la imagen de  $I_3$  en el oblicuo. Por último,  $I_3$  puede considerarse la imagen de  $I_4$  en el espejo oblicuo o la de  $I_2$  en el plano.

- 6** Comprueba que en los casos de las actividades 4 y 5 se cumplen las propiedades:

- Todos los puntos (tanto los del objeto como los de las imágenes) se encuentran en una circunferencia centrada en el punto de corte del sistema.
- El número de imágenes que se obtiene para ángulos divisores exactos de  $360^\circ$  responde a la expresión:

$$N = \frac{360^\circ}{\theta} - 1$$

Efectivamente, si se toma un compás, se comprobará que en ambos casos, todas las imágenes, junto con el objeto, se encuentran en la circunferencia centrada en la intersección de los espejos. Obsérvese, igualmente, que los dos supuestos cumplen con la expresión expuesta:

- Ángulo de  $45^\circ$ :

$$N = \frac{360^\circ}{45^\circ} - 1 = 7$$

- Ángulo de  $60^\circ$ :

$$N = \frac{360^\circ}{60^\circ} - 1 = 5$$

También puede comprobarse esto en el caso que se aprecia en la figura 11.8 (ángulo de  $90^\circ$ ):

$$N = \frac{360^\circ}{90^\circ} - 1 = 3$$

- 7** Explica en qué lado se forma la imagen en un espejo esférico cóncavo cuando:

- a)**  $s_o < f$ .      **b)**  $s_o = f$ .      **c)**  $s_o > f$ .

Las tres posibilidades pueden deducirse a partir de la expresión:

$$\frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s_o}$$

- a)** Si  $s_o < f$ , entonces:

$$\frac{1}{s_o} > \frac{1}{f}$$

Por tanto, la distancia  $s_i < 0$ , es decir, la imagen se forma en el lado virtual.

- b)** Si  $s_o = f$ , entonces:

$$\frac{1}{s_i} = 0$$

Es decir,  $s_i = \infty$ , por lo que no se forma imagen.

- c)** Si  $s_o > f$ , entonces  $s_i > 0$ , y la imagen se forma en el lado real.

- 8** Un objeto se encuentra situado a 20 cm del vértice de un espejo esférico convexo de 25 cm de radio de curvatura. Determina la posición de la imagen.

Al ser un espejo convexo, y según el criterio de signos, la distancia focal  $f = r/2$  es negativa. Dicha distancia es de 12,5 cm. Así pues, sustituyendo los datos en:

$$\frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s_o}$$

tenemos:

$$\frac{1}{s_i} = \frac{1}{-12,5 \text{ cm}} - \frac{1}{20 \text{ cm}} \Rightarrow s_i = -7,69 \text{ cm}$$

Por tanto, la imagen se forma en el lado virtual, a 7,69 cm del vértice.

- 9** Se desea formar una imagen invertida de 30 cm de altura sobre una pantalla que se encuentra a 4,2 m del vértice de un espejo esférico cóncavo. El objeto que produce la imagen mide 5 mm. Determina:

- a)** La distancia respecto del espejo a la que debe colocarse el objeto.

- b)** La distancia focal y el radio de curvatura del espejo.

- a)** Puesto que la imagen es invertida,  $h' = -30$  cm, mientras que  $h = 0,5$  cm, y  $s_i = 420$  cm, lugar donde queremos que se forme la imagen. Con estos datos, podemos calcular la distancia a la que debe situarse el objeto a partir de:

$$\frac{h'}{h} = -\frac{s_i}{s_o} \Rightarrow s_o = -s_i \frac{h}{h'}$$

Sustituyendo los datos:

$$s_o = 7 \text{ cm}$$

Por consiguiente, el objeto debe situarse a 7 cm del espejo.

- b)** A partir de la ecuación de los espejos:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}$$

y sustituyendo los datos:

$$\frac{1}{7 \text{ cm}} + \frac{1}{420 \text{ cm}} = \frac{1}{f}$$

se obtiene que la distancia focal vale:

$$f = 6,88 \text{ cm}$$

y como esta distancia es la mitad del radio:

$$r = 2f = 13,76 \text{ cm}$$

- 10** Un objeto de 10 cm de altura se sitúa a 1 m de un espejo esférico convexo cuya distancia focal es de 3 m. Describe la imagen que se formará.

La distancia a la que se formará la imagen se obtiene de la ecuación de los espejos, teniendo en cuenta que  $f < 0$ . Así:

$$\frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s_o}$$

de donde:

$$\frac{1}{s_i} = \frac{1}{-3 \text{ m}} - \frac{1}{1 \text{ m}} \Rightarrow s_i = -0,75 \text{ m}$$

Así pues, la imagen es virtual.

Analicemos ahora el aumento de la imagen:

$$\frac{h'}{h} = -\frac{s_i}{s_o} \Rightarrow \frac{h'}{h} = -\frac{0,75}{1}$$

De modo que el tamaño de la imagen es:

$$h' = 0,75 \cdot h = 7,5 \text{ cm}$$

Se comprueba, pues, que la imagen es virtual ( $s_i < 0$ ), derecha ( $h'/h > 0$ ) y disminuida ( $h' < h$ ).

- 11** ¿Qué tipo de espejo necesitamos y con qué radio de curvatura si deseamos que un objeto situado a 1 m de su vértice produzca una imagen derecha que tenga la mitad de su tamaño?

Obviamente tiene que ser convexo, pues las imágenes derechas que se obtienen con los cóncavos son siempre aumentadas y con los planos son de tamaño natural. Si el aumento ha de ser 0,5, entonces:

$$\frac{h'}{h} = -\frac{s_i}{s_o} = 0,5 \Rightarrow s_i = -0,5 \cdot s_o$$

Conocidas  $s_i$  y  $s_o$ , podemos calcular el radio de curvatura mediante la expresión:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{2}{r} \Rightarrow \frac{1}{1 \text{ m}} + \frac{1}{-0,5 \text{ m}} = \frac{2}{r} \Rightarrow r = -2 \text{ m}$$

El signo negativo de  $r$  nos confirma que es un espejo convexo.

- 12 PAU** Desde el interior de una pecera de forma esférica de 50 cm de diámetro, un pez observa los ojos de un gato que se encuentran a 20 cm de la superficie de la pecera. Describe la imagen que ve el pez (distancia a la que se produce, aumento y características de la imagen). Dato:  $n_{\text{agua}} = 1,333$
- Consideramos  $n_1 = 1$ , y  $n_2 = 1,333$ . Los datos que nos ofrece el problema son  $s_o = 20$  cm, y  $r = 25$  cm, ambos positivos. Por tanto, aplicando la ecuación del dioptrio esférico:

$$\frac{n_1}{s_o} + \frac{n_2}{s_i} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

cabe concluir:

$$\frac{1,333}{s_i} = \frac{0,333}{25 \text{ cm}} - \frac{1}{20 \text{ cm}} \Rightarrow s_i = -36,34 \text{ cm}$$

Por otra parte, el aumento de la imagen será:

$$\frac{h'}{h} = -\frac{n_1 s_i}{n_2 s_o}$$

que, al sustituir los datos, nos da:

$$\frac{h'}{h} = -\frac{1 \cdot (-36,34 \text{ cm})}{1,333 \cdot 20 \text{ cm}} = 1,36$$

Es decir, el pez verá al gato como si estuviera algo más alejado (a 36,34 cm de la pecera), pero lo percibe con un tamaño 1,36 veces mayor que el real. Puesto que el signo de aumento es positivo, lo ve derecho.

- 13** Una superficie convexa separa dos medios de índices 1 y 1,6, respectivamente. Si un objeto que se encuentra a 40 cm del vértice en el primer medio tiene su imagen en el segundo a 64 cm, ¿cuál es el radio de curvatura de la superficie?

Aplicamos directamente la ecuación del dioptrio esférico:

$$\frac{n_1}{s_o} + \frac{n_2}{s_i} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

Sustituyendo los datos, y teniendo en cuenta que  $s_o = 40$  cm, y  $s_i = 64$  cm (positiva según el criterio para la refracción):

$$\frac{1}{40 \text{ cm}} + \frac{1,6}{64 \text{ cm}} = \frac{0,6}{r} \Rightarrow r = 12 \text{ cm}$$

- 14** ¿Cuáles serían las distancias focales objeto e imagen de la superficie de la actividad 13?

La distancia focal objeto correspondería al caso en que  $s_i = \infty$ , por lo que:

$$f_o = \frac{n_1}{n_2 - n_1} r = 20 \text{ cm}$$

mientras que la distancia focal imagen correspondería al caso en que  $s_o = \infty$ , por lo que:

$$f_i = \frac{n_2}{n_2 - n_1} r = 32 \text{ cm}$$

- 15 PAU** Una varilla de vidrio de gran longitud tiene un extremo en forma de superficie semiesférica convexa con un radio de curvatura de 10 cm. Teniendo en cuenta que el índice de refracción del vidrio es 1,5, halla dónde se formará la imagen de un objeto puntual y describe el tipo de imagen en los siguientes casos:

- a) El objeto está situado sobre el eje, en el aire, a 30 cm de la superficie.  
b) El objeto está situado a 5 cm de la superficie.  
c) El objeto está muy alejado de la superficie.

Teniendo en cuenta que  $r = 10$  cm,  $n_1 = 1$ , y  $n_2 = 1,5$  y aplicando la ecuación del dioptrio:

$$\frac{n_1}{s_o} + \frac{n_2}{s_i} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

llegamos a:

$$\frac{n_2}{s_i} = \frac{n_2 - n_1}{r} - \frac{n_1}{s_o}$$

- a) Como  $s_o = 30$  cm, la imagen se forma a 90 cm en el interior de la varilla, es decir:

$$s_i = +90 \text{ cm}$$

Si se tratara de un objeto no puntual, la imagen tendría el doble de tamaño y sería invertida.

- b) En este caso,  $s_o = 5$  cm, por lo que  $s_i = -10$  cm. Es decir, la imagen se forma en el lado de incidencia (fuera de la varilla) a 10 cm de la superficie. Si el objeto no fuese puntual, la imagen sería derecha y estaría aumentada 1,33 veces.

- c) Si  $s_o = \infty$ , la imagen se forma en el foco imagen:

$$f_i = \frac{n_2}{n_2 - n_1} r = 30 \text{ cm}$$

En este caso, la imagen es puntual.

- 16 PAU** En algunas zonas del planeta aún existen pueblos que pescan peces sirviéndose de lanzas. Si una de estas personas desea atrapar una pieza, ¿hacia dónde crees que tendría que apuntar?

Deberá apuntar un poco más abajo, ya que la profundidad aparente del pez es, concretamente, 3/4 partes la profundidad real.

- 17** ¿A qué profundidad real estaría una piedra del fondo de un río si la vemos como si se hallase a 40 cm de distancia con respecto a la superficie?

Su profundidad real sería:

$$s_o = -\frac{n_1}{n_2} s_i = -\frac{1,333}{1} \cdot (-40 \text{ cm}) = 53,32 \text{ cm}$$

- 18** ¿Cuál es la profundidad a la que vemos un objeto bajo el agua, en comparación con su profundidad real? ¿Depende dicha profundidad aparente del ángulo desde el que mire el observador? Ayúdate de los diagramas de rayos.

Se verá siempre a tres cuartas partes de la profundidad real. Dicha profundidad aparente no depende del ángulo desde el que mire el observador, pues la relación entre el ángulo de incidencia y el de refracción es siempre constante e igual a  $n_2/n_1 = 0,75$ , factor que determina la distancia a la que se forma la imagen.

- 19 PAU** Se tiene un sistema constituido por dos lentes delgadas biconvexas de distancias focales 10 cm y 15 cm respectivamente, separadas 10 cm entre sí. Describe las características de la imagen formada de un objeto de 5 cm de altura situado a 20 cm de la primera lente. Dibuja posteriormente el diagrama de rayos correspondiente.

La imagen formada por la primera lente se obtiene de la expresión:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f_i}$$

Sustituyendo los datos:

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{10} \Rightarrow s_i = 20 \text{ cm}$$

Esta imagen es ahora objeto para la segunda lente. Dado que si  $s_i > d$ , la distancia objeto  $s'_o = -10$  cm, pues está en el lado de transmisión de la segunda lente, por lo que:

$$\frac{1}{s'_o} + \frac{1}{s'_i} = \frac{1}{f_2}$$

Sustituyendo sus respectivos valores:

$$\frac{1}{-10} + \frac{1}{s'_i} = \frac{1}{15} \Rightarrow s'_i = 6 \text{ cm}$$

Por otra parte, el aumento total es igual al producto de los aumentos de cada lente:

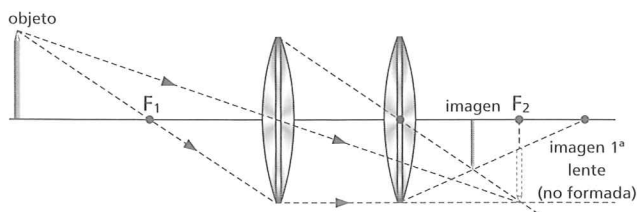
$$M_{\text{total}} = M_1 \cdot M_2$$

siendo:

$$M_1 = -\frac{s_i}{s_o} = -1 \quad M_2 = -\frac{s'_i}{s'_o} = -\frac{6}{-10} = 0,6$$

Por lo que el aumento total es  $M_{\text{total}} = -0,6$

Lo que quiere decir que la imagen se forma a 6 cm de la segunda lente, es real, invertida y de tamaño igual a 3 cm como vemos en el siguiente dibujo:



- 20 IPAU** Un sistema óptico está formado por dos lentes: la primera es biconcava (convergente) y con distancia focal de 20 cm, y la segunda, situada a 50 cm de la primera, es biconvexa (divergente) y con una distancia focal de 15 cm. Delante de la primera se sitúa un objeto de 4 cm de altura a una distancia de 40 cm.

- Halla la posición de la imagen producida por el sistema.
  - Describe la naturaleza y el tamaño de la imagen final producida por el sistema óptico.
  - Dibuja mediante el trazado de rayos la imagen que produce el sistema óptico.
- a) La imagen producida por la primera lente viene dada por la expresión:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f_i}$$

Sustituyendo los valores del problema,  $s_o = 40$  cm y  $f_i = 20$  cm, obtenemos  $s_i = 40$  cm.

Puesto que la separación entre lentes es de 50 cm, entonces la imagen de la primera lente actúa como objeto situado a 10 cm de la segunda lente.

En este caso, siendo biconvexa, se tiene:

$$\frac{1}{s'_o} + \frac{1}{s'_i} = \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{s'_i} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{s'_o}$$

por lo que:

$$s'_i = -6 \text{ cm.}$$

- b) Así pues, la imagen final se forma 6 cm por delante de la segunda lente. El aumento total es el producto de los momentos de cada lente,  $M_{\text{total}} = M_1 \cdot M_2$ , siendo:

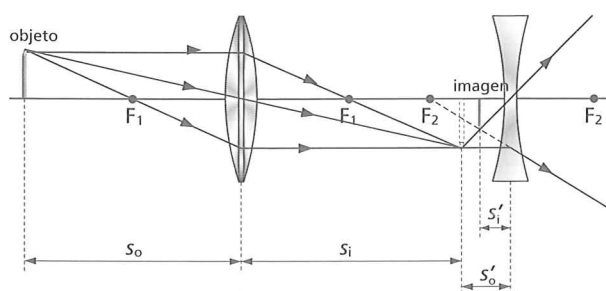
$$M_1 = -\frac{s_i}{s_o} = -1 \quad M_2 = -\frac{s'_i}{s'_o} = -\frac{-6}{10} = 0,6$$

Así pues es aumento total será:

$$M_{\text{total}} = -0,6$$

Lo que significa que la imagen es virtual, invertida y de 2,4 cm de tamaño.

- c) El dibujo de la imagen obtenida mediante el diagrama de rayos es el siguiente:



- 21** «Observa» tu punto ciego. Sitúate a unos 30 cm del papel y, con un ojo tapado, fija tu vista en la X de la figura 11.58. Si te acercas lentamente, llegará un momento en el que no verás la B. Si sigues aproximándote, la B reaparecerá y desaparecerá la A.

Actividad de observación.

- 22** Se desea obtener un aumento 300x en un microscopio compuesto. ¿Cuál es la distancia focal del ocular si el aumento lateral que produce el objetivo es de 30x y la imagen se forma en el punto próximo a 25 cm del ojo?

El aumento total,  $m$ , es:

$$m = m_{\text{obj}} \frac{x_p}{f_{\text{ocular}}}$$

Por tanto:

$$f_{\text{ocular}} = \frac{m_{\text{obj}} x_p}{m} = 2,5 \text{ cm}$$

- 23** Un telescopio Schmidt-Cassegrain tiene una focal de objetivo de 2000 mm. Determina los aumentos que se consiguen en cada caso si se utilizan oculares de focales de 4 mm, 12 mm, 20 mm y 40 mm.

Los aumentos angulares obtenidos son, en cada caso:

Para el ocular de 4 mm:  $M_1 = \frac{D_{\text{objetivo}}}{d_{\text{ocular}}} = \frac{2000}{4} = 500$  aumentos.

Para el ocular de 12 mm:  $M_2 = \frac{D_{\text{objetivo}}}{d_{\text{ocular}}} = \frac{2000}{12} = 167$  aumentos.

Para el ocular de 20 mm:  $M_3 = \frac{D_{\text{objetivo}}}{d_{\text{ocular}}} = \frac{2000}{20} = 100$  aumentos.

Para el ocular de 40 mm:  $M_4 = \frac{D_{\text{objetivo}}}{d_{\text{ocular}}} = \frac{2000}{40} = 50$  aumentos.

## Cuestiones y problemas (páginas 320/321)

### Guía de repaso

- 1** ¿Sobre qué conjunto de leyes se estructura la denominada óptica geométrica?

Sobre las leyes de propagación rectilínea de la luz, independencia de los rayos luminosos, reflexión, refracción y reciprocidad.

- 2** ¿Cuáles son las características de la imagen formada en un espejo plano? aumento angular que produce?

Es virtual, del mismo tamaño que el objeto y presenta inversión lateral (izquierda-derecha).

- 3** ¿Puede conseguirse, mediante espejos planos, que la imagen no presente inversión lateral? ¿Cómo?

Puede conseguirse mediante un sistema de dos espejos planos que formen ángulo recto, por ejemplo. Véase el subepígrafe 2.2.

- 4** ¿Qué es la aproximación paraxial? ¿Por qué motivo se hace uso de ella?

La aproximación paraxial consiste en considerar que la imagen de un objeto O se forma en un único punto, I.

Se hace uso de ella para determinar con claridad la posición de la imagen.

- 5** ¿Cuál es la ecuación de los espejos en función del radio de curvatura? ¿Qué signo tiene dicho radio si el espejo es cóncavo? ¿Y si es convexo?

Véase la expresión 11.4. En cuanto al signo, es positivo si el espejo es cóncavo y negativo si es convexo.

- 6** ¿Cuál es la ecuación de los espejos en función de la distancia focal? ¿Qué relación tiene la distancia focal con el radio de curvatura del espejo?

Véase la expresión 11.7. La distancia focal es la mitad del radio de curvatura.

- 7** ¿Qué criterio de signos se emplea para los espejos?

Se emplea el signo positivo cuando las distancias ( $s_o$ ,  $s_i$ ,  $r$ ,  $f$ ) están por delante del espejo o en el lado real y signo negativo cuando las distancias ( $s_o$ ,  $s_i$ ,  $r$ ,  $f$ ) quedan por detrás del espejo o en el lado denominado virtual.

- 8** Detalla en qué consiste el procedimiento del diagrama de rayos en el caso de los espejos.

El diagrama de rayos nos permite averiguar como es la imagen formada y consiste en trazar tres rayos: Rayo 1. Se traza desde la parte superior del objeto y transcurre paralelo al eje óptico. Al reflejarse según la ley de la reflexión, pasará por el foco F. Rayo 2. Se traza desde la parte superior del objeto y pasa por el centro de curvatura C. El rayo reflejado tiene la misma dirección que el incidente. Rayo 3. Se traza desde la parte superior del objeto y pasa por el foco F. El rayo reflejado sale paralelo al eje óptico.

- 9** ¿Cómo podemos averiguar el aumento de la imagen que produce un espejo esférico?

Mediante la expresión 11.8.

- 10** Valiéndote de los diagramas de rayos correspondientes, describe de forma resumida cómo son las imágenes formadas en un espejo esférico cóncavo, según la distancia entre el objeto y el vértice del espejo.

Si  $s_o > r$ ; real, invertida, disminuida; si  $s_o = r$ , real, invertida, tamaño natural; si  $r > s_o > f$ ; real, invertida, aumentada; si  $s_o > f$ ; no se forma imagen nítida; si  $s_o < r$ , virtual, derecha, aumentada.

- 11** Repite la cuestión anterior para el caso de un espejo esférico convexo.

Para cualquier posición es virtual, derecha y aumentada.

- 12** ¿Cuál es la ecuación de un dioptrio esférico teniendo en cuenta la aproximación paraxial?

Véase la expresión 11.12.

- 13** ¿Cómo puede determinarse el aumento de la imagen formada por refracción al pasar de un medio a otro de distinto índice?

Véase la expresión 11.13.

- 14** ¿Cuántas distancias focales tiene un dioptrio esférico? ¿Cuáles son y qué significado físico tienen? ¿Qué relación existe entre ellas?

Tiene dos; la distancia focal imagen,  $f_i$ , es la distancia donde convergen todos los rayos refractado y la distancia focal objeto,  $f_o$ , es la distancia al punto desde donde deberían partir los rayos incidentes para que salieran refractados.

Se relacionan a través de la expresión 11.16 y son directamente proporcionales a sus respectivos índices de refracción.

- 15** ¿Qué tipos de lentes conoces en función de la forma de sus superficies?

Lentes convergentes o convexas (biconvexa, plano-convexa y menisco-convexa) y lentes divergentes o cóncavas (bicóncava, plano-cóncava y menisco-cóncava).

- 16** ¿Cuál es la fórmula de las lentes delgadas? Escríbela también considerando la distancia focal de la lente.

Véanse las expresiones 11.17 y 11.18.

- 17** ¿A qué se llama potencia de una lente? ¿En qué unidades se mide?

La potencia de una lente es la inversa de su distancia focal,  $f$ .

Cuando  $f$  se mide en metros, la potencia viene dada en dioptrías.

- 18** ¿De qué factores depende la distancia focal de una lente? Desea usarse un espejo esférico para configurar

Como vemos en la expresión 11.18 depende del índice de refracción del medio y del radio de curvatura de la lente.

- 19** Describe el procedimiento conocido como diagrama de rayos para la formación de imágenes en el caso de las lentes delgadas.

Rayo 1; es paralelo al eje óptico y, tras ser refractado en la lente, pasa por el foco imagen de la misma.

Rayo 2; pasa por el centro óptico de la lente y atraviesa la lente en línea recta.

Rayo 3; pasa por el foco anterior a la lente, foco objeto, y, tras ser refractado en la lente, emerge paralelo al eje óptico.

- 20** ¿Cómo se calcula el aumento de la imagen producido por una lente?

Mediante la expresión 11.20.

- 21** ¿Cómo es el tipo de imagen formada por una lente biconvexa en función de la distancia del objeto comparada con la focal de la lente? Ayúdate de los diagramas de rayos.

$s_i > s_o > 2f$ ; real, invertida, disminuida; si  $s_o = 2f$ , real, invertida, tamaño natural; si  $2f > s_o > f$ ; real, invertida, aumentada; si  $s_o = f$ ; no se forma imagen nítida; si  $s_o < r$ , virtual, derecha, aumentada.

- 22** Repite la cuestión anterior con una lente bicóncava.

Para cualquier posición la imagen es virtual, derecha y disminuida.

- 23** ¿Cuáles son las partes principales del ojo humano? ¿Qué defectos visuales son los más comunes? ¿En qué consisten y cómo se corrigen?

Las partes más principales del ojo son: la córnea, el iris, el cristalino, el humor vítreo, la coroides y la retina.

Los defectos visuales más comunes son: la miopía, que se debe a una deformación del globo ocular y se corrige con lentes ligeramente divergentes; hipermetropía, que es la alteración opuesta a la miopía y se corrige con lentes ligeramente convergentes; astigmatismo, que se debe a irregularidades en la cornea, se corrige también con el uso de lentes.

- 24** ¿Cómo funciona una lupa? ¿Cómo se determina el aumento angular que produce?

Una lupa es una lente biconvexa y si se sitúa prácticamente pegado al ojo se forma la imagen en el infinito y será derecha, virtual y aumentada.

Se determina el aumento mediante la expresión 11.21.

- 25** ¿Qué diferencia existe entre los aumentos de un telescopio y los de un microscopio?

Los aumentos de los telescopios son angulares y los de un microscopio son laterales.

- 26** ¿Cómo se determinan los aumentos de un telescopio?

Mediante la expresión 11.25.

## Óptica de la reflexión. Espejos

- 27** Indica las características de la imagen de un objeto situado ante un espejo cóncavo que se encuentra en el punto medio entre el foco y el centro del espejo.

Si el objeto está situado en el punto medio entre el foco y el centro de curvatura del espejo, entonces  $s_o = 3/2 \cdot f$ . En consecuencia, usando la fórmula de los espejos, se obtiene:

$$\frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s_o} = \frac{1}{f} \left( 1 - \frac{2}{3} \right) = \frac{1}{3 \cdot f}$$

Por tanto,  $s_i = 3 \cdot f$ , es decir, la imagen se forma delante del espejo (lado real) y a una distancia igual al triple de la distancia focal. Por otra parte, el aumento de la imagen será igual a  $-s_i/s_o$ . Sustituyendo los valores, podemos comprobar que el resultado de esta expresión es  $-2$ . Así pues, la imagen es real, invertida y aumentada al doble del tamaño del objeto y se forma a una distancia igual al triple de la focal.

- 28** Indica las condiciones necesarias para que se forme en un espejo esférico, ya sea cóncavo o convexo:

- a) Una imagen real.
- b) Una imagen disminuida.
- c) Una imagen derecha (no invertida).

- a) Una imagen real solo se puede formar con un espejo cóncavo siempre que el objeto se sitúe a una distancia mayor que la focal.
- b) Una imagen disminuida puede conseguirse con un espejo cóncavo si el objeto se sitúa a una distancia superior al radio de curvatura del espejo o en cualquier otra circunstancia siempre y cuando se emplee un espejo convexo.
- c) Una imagen derecha se forma con un espejo cóncavo si el objeto se sitúa a una distancia menor que la focal o en cualquier otra posición en un espejo convexo.

- 29** Sirviéndote de diagramas de rayos, describe las características de la imagen de un objeto en un espejo esférico cóncavo cuando dicho objeto se encuentra:

- a) Entre el foco y el vértice.
- b) A una distancia mayor que el radio de curvatura.

a) Véase la figura 11.24.e.

b) Véanse las figuras 11.24.a y 11.24.b.

- 30** Completa la tabla de la actividad referida a espejos esféricos (las distancias se dan en cm).

Las expresiones que hay que utilizar para completar la tabla son las siguientes:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}; r = 2f; \text{aumento} = -\frac{s_i}{s_o}$$

|                  | Cóncavo | Cóncavo | Convexo | Convexo |
|------------------|---------|---------|---------|---------|
| $f$              | +30     | +16,66  | -20     | -25     |
| $r$              | +60     | +33,33  | -40     | -50     |
| $s_i$            | -15     | +25     | -4      | -11,1   |
| $s_o$            | +10     | +50     | +5      | +20     |
| Aumento          | +1,5    | -0,5    | 0,8     | 0,55    |
| Imagen real      | No      | Sí      | No      | No      |
| Imagen invertida | No      | Sí      | No      | No      |

- 31** **PAU** Un objeto de 10 cm de altura se sitúa a 1,5 m de un espejo esférico convexo de  $-3,5$  m de distancia focal. Determina las características de la imagen formada.

La distancia a la que se forma la imagen responde a la siguiente expresión:

$$\frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s_o}$$

Es decir:

$$\frac{1}{s_i} = \frac{1}{-3,5 \text{ m}} - \frac{1}{1,5 \text{ m}} \Rightarrow s_i = -1,05 \text{ m}$$

Y su tamaño será:

$$h' = -\frac{s_i h}{s_o} = -\frac{-1,05 \text{ m}}{1,5 \text{ m}} \cdot 10 \text{ cm} = 7 \text{ cm}$$

Puesto que  $h'$  es positiva, la imagen es derecha.

Por tanto, la imagen es virtual ( $s_i = -1,05$  m), derecha ( $h' > 0$ ) y disminuida ( $h' = 7$  cm), como corresponde a un espejo convexo.

- 32** **PAU** Desea usarse un espejo esférico para configurar una imagen 4 veces mayor que el tamaño del objeto en una pantalla situada a 4 m de este. Describe el tipo de espejo que se requiere y dónde deberá colocarse con relación al objeto.

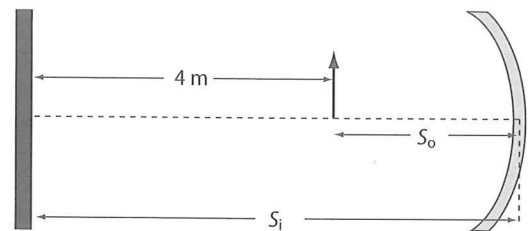
El espejo ha de ser cóncavo, pues uno convexo produce imágenes virtuales y disminuidas.

Puesto que  $s_i = 4$  m, y  $-s_i/s_o = -4$  (pues la imagen es invertida si es real), entonces  $s_o = 1$  m.

El espejo debe situarse, por tanto, a 1 m del objeto.

El enunciado del problema puede dar lugar a otra interpretación, que es considerar que la pantalla se sitúa a 4 m del objeto y no a 4 m del espejo.

En este caso, el problema sería distinto y también la solución. Como se ve en el dibujo:



$$s_i = 4 + s_o$$

Como la imagen es real (pues se proyecta en pantalla) y, en consecuencia, invertida, se cumplirá:

$$-\frac{s_i}{s_o} = -4 \Rightarrow \frac{4 + s_o}{s_o} = 4$$

despejando queda:

$$s_o = 1,33 \text{ m}$$

Es decir, el espejo habría de situarse a 1,33 m del objeto.

- 33** **PAU** Se tiene un espejo esférico cóncavo de 40 cm de distancia focal. Determina la distancia que debe situarse un objeto para que la imagen sea:

a) Real y de doble tamaño que el objeto.

b) Virtual y de doble tamaño que el objeto.

a) Si la imagen ha de ser real (si y so positivas) y de doble tamaño, debe cumplirse:

$$-\frac{s_i}{s_o} = -2 \Rightarrow s_i = 2s_o$$

Utilizando esta expresión en la ecuación de espejo, tenemos:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{2s_o} = \frac{1}{40} \Rightarrow s_o = 60 \text{ cm}$$

b) En este caso, si la imagen ha de ser virtual y de doble tamaño, se cumplirá:

$$-\frac{s_i}{s_o} = -2 \Rightarrow s_i = 2s_o$$

Que, aplicada a la ecuación del espejo, conduce a:

$$s_o = 20 \text{ cm}$$

## Óptica de la refracción. Lentes delgadas

- 34** ¿De qué manera puede producir una lente un aumento igual a +1? ¿Y a -1?

Un aumento igual a +1 podría conseguirse con una lente biconvexa si el objeto estuviera pegado a la lente. En ese caso, la imagen sería virtual y, como puede comprobarse mediante el diagrama de rayos, tendría el mismo tamaño que el objeto y estaría derecha. Podemos comprobar esto considerando que  $s_o \ll f$ , en cuyo caso  $1/s_o \gg 1/f$ . De este modo, aplicando la ecuación de las lentes en la forma:

$$\frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s_o}$$

podemos concluir que:

$$\frac{1}{s_i} \approx -\frac{1}{s_o} \Rightarrow s_i = -s_o$$

En consecuencia, el aumento es igual a +1 y la imagen es virtual. Puedes comprobar este hecho pegando una lupa al objeto: lo verás de tamaño natural y derecho. Un aumento igual a -1 supone que  $s_i = s_o$ , situación que, aplicada a la ecuación de las lentes, conduce a que  $s_o = 2 \cdot f$ . Así pues, se obtendrá situando el objeto a una distancia igual al doble de la focal de la lente biconvexa.

En el caso de una lente bicóncava, solo podría conseguirse un aumento igual a +1 aplicando las mismas condiciones que para la lente biconvexa, es decir, con el objeto pegado a la lente. Sin embargo, nunca conseguiríamos un aumento de -1.

- 35** ¿A qué distancia de una lente biconvexa debe situarse un objeto para que la imagen tenga su mismo tamaño?

Como acabamos de ver en la cuestión anterior, habría que situarlo a una distancia igual a  $2 \cdot f$  o pegado a la lente.

- 36** Razona si es verdadera o falsa la siguiente afirmación: «Una lente biconvexa siempre es convergente».

La afirmación es falsa, pues la distancia focal y, en consecuencia, el carácter convergente o divergente de la lente no dependen tan solo de las características estructurales de la lente, sino de la relación que existe entre el índice de refracción del vidrio de la lente y el del medio en el que está inmersa, de modo que, si este último índice de refracción es mayor que el de la lente, esta se comportará como divergente.

- 37** Indica razonadamente cuál es el comportamiento de los rayos que parten del foco objeto en una lente convergente:

- a) Convergen en el foco imagen.
- b) Emergen paralelos.
- c) No se desvían.

La respuesta correcta es la **b)**, por la propia definición de foco objeto.

- 38** Indica razonadamente cuál es el comportamiento de un rayo paralelo al eje óptico al atravesar una lente delgada:

- a) No se desvía.
- b) Se desvía o no, dependiendo del tipo de lente.
- c) Se desvía siempre.

La respuesta correcta es la **c)**.

- 39** Repite la pregunta anterior para el caso de que el rayo coincida con el eje óptico.

La respuesta correcta es la **a)**.

- 40** Una superficie esférica convexa separa dos medios, uno de los cuales es aire. El radio de curvatura de la superficie es de +20 cm, y cuando un objeto puntual se sitúa a 40 cm del vértice, su imagen se forma a 100 cm en el otro medio. ¿Cuál es el índice de refracción de este medio?

Se parte de la ecuación del dioptrio esférico:

$$\frac{n_1}{s_o} + \frac{n_2}{s_i} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

Como, además,  $n_1 = 1$ ,  $s_o = +40$  cm,  $s_i = +100$  cm, y  $r = +20$  cm, obtenemos:

$$n_2 = 1,875$$

- 41** **PAU** Un objeto se sitúa 40 cm a la izquierda de una lente biconvexa de índice de refracción 1,54. La superficie izquierda de la lente tiene un radio de curvatura de 25 cm y en estas condiciones forma una imagen real a 65 cm. ¿Cuál es el radio de curvatura de la segunda superficie?

Hay que aplicar la fórmula de las lentes delgadas:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Al sustituir los datos  $s_o = 40$  cm,  $s_i = 65$  cm,  $n = 1,54$ , y  $r_1 = 25$  cm, y resolver la expresión, se obtiene:

$$r_2 = -28,75 \text{ cm}$$

- 42** **PAU** Se fabrica una lente biconvexa hueca (llena de aire) con superficies de vidrio de grosor despreciable y de radios de curvatura de 15 cm y 20 cm. Determina la distancia focal y el comportamiento de esta lente de aire cuando se sumerge en agua y en benceno ( $n = 1,501$ ).

El índice de refracción de la lente es  $n = 1$ . Su comportamiento y su focal en un medio vienen dados por:

$$\frac{1}{f} = (n_{\text{rel}} - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

donde  $n_{\text{rel}} = n/n'$ ,  $r_1 = 15$  cm, y  $r_2 = -20$  cm. Aplicando la expresión, obtenemos:

en agua;  $n' = 1,333 \Rightarrow f = -34,28$  cm

en benceno;  $n' = 1,501 \Rightarrow f = -25,68$  cm

En ambos casos, el foco queda en el lado de incidencia y la lente biconvexa se comporta como divergente.

- 43** **PAU** ¿Cuál es la distancia focal de una lente bicóncava de índice de refracción 1,46 si sus radios de curvatura son de 15 cm y 20 cm? Resuelve el problema suponiendo que la luz puede incidir por ambas caras de la lente.

Al ser una lente bicóncava e incidir la luz por el lado izquierdo,  $r_1 = -15$  cm y  $r_2 = 20$  cm. Como además  $n = 1,46$ , entonces:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$\frac{1}{f} = 0,46 \cdot \left( \frac{1}{-15 \text{ cm}} - \frac{1}{20 \text{ cm}} \right) \Rightarrow f = -18,63 \text{ cm}$$

De manera análoga, si la luz incide por la derecha,  $r_1 = -20$  cm, y  $r_2 = 15$  cm, por lo que:

$$\frac{1}{f} = 0,46 \cdot \left( \frac{1}{-20 \text{ cm}} - \frac{1}{15 \text{ cm}} \right) \Rightarrow f = -18,63 \text{ cm}$$

El comportamiento en el aire es, pues, divergente, al estar el foco en el lado de incidencia en ambos casos. Compruébese que la distancia focal es una característica de la lente e independiente del lado de incidencia de la luz.

- 44** **PAU** ¿Cuál sería la distancia focal de la lente del problema anterior si se está sumergida en agua?

En este caso:

$$\frac{1}{f} = (n_{\text{rel}} - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

donde  $n_{\text{rel}} = 1,095$ .

Sustituyendo y resolviendo, obtenemos:

$$f = -89,97 \text{ cm}$$

Sigue siendo, pues, divergente, aunque en menor medida.

- 45 PAU** Los radios de curvatura de una lente biconvexa de vidrio de  $n = 1,5$  guardan una relación de 3 a 2. Determina una expresión para el menor de ellos en función de la distancia focal.

La relación entre  $r_1$  y  $r_2$  es:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{3}{2}$$

Puesto que la lente es biconvexa,  $r_1$  y  $r_2$  tienen signos distintos, por lo que escribiremos:

$$r_1 = \frac{3}{2} \cdot r_2$$

Así pues:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Resolviendo, obtenemos:

$$\frac{1}{f} = 0,5 \cdot \left( \frac{1}{-3/2 \cdot r_2} - \frac{1}{r_2} \right) \Rightarrow f = -\frac{6}{5} \cdot r_2$$

Por lo que:

$$r_2 = -\frac{5}{6} \cdot f$$

- 46 PAU** Una lente biconvexa elaborada con vidrio de refracción de índice 1,53 tiene dos radios de curvatura de 10 cm y 16 cm, respectivamente. Si se sitúa una estatuilla de 5 cm de altura a 15 cm de la lente, ¿a qué distancia apreciaremos la imagen? Determina las características de la imagen.

La distancia a la que se forma la imagen se obtiene de la ecuación de las lentes expresada de la siguiente forma:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

con  $s_o = 15$  cm,  $n = 1,53$ ,  $r_1 = +10$  cm, y  $r_2 = -16$  cm. Sustituyendo y despejando  $s_i$ , obtenemos:

$$s_i = 51,37$$
 cm

Como es positivo, la imagen es real.

Por otra parte, los aumentos serán:

$$\frac{h'}{h} = -\frac{s_i}{s_o} = -3,42$$

De donde:

$$h' = 17,12$$
 cm

Por tanto, la imagen es aumentada (3,42 veces) e invertida.

- 47 PAU** La estatuilla del problema anterior es contemplada ahora a través de una lente divergente cuyos radios de curvatura miden 10 cm cada uno y su índice es 1,53. Halla la distancia y las características de la imagen (calculando el aumento) cuando se coloca a una distancia de la lente de:

- 6 cm
- 15 cm
- 1 m

Según este planteamiento,  $r_1 = -10$  cm,  $r_2 = 10$  cm,  $n = 1,53$ , y  $s_o$  varía en cada caso.

Procediendo como hemos hecho antes, obtenemos:

**a)**  $s_o = 6$  cm  $\Rightarrow s_i = -3,67$  cm  $\Rightarrow h' = 3,06$  cm

La imagen es virtual ( $s_i < 0$ ), derecha y disminuida.

**b)**  $s_o = 15$  cm  $\Rightarrow s_i = -5,80$  cm  $\Rightarrow h' = 1,93$  cm

Ahora la imagen es virtual, derecha ( $h/h' > 0$ ) y disminuida.

**c)**  $s_o = 100$  cm  $\Rightarrow s_i = -8,62$  cm  $\Rightarrow h' = 0,43$  cm

La imagen es virtual, derecha y disminuida.

- D48 PAU** Con una lente convergente, de un objeto real se obtiene una imagen también real, invertida y aumentada 4 veces. Al desplazar el objeto 3 cm hacia la lente, la imagen que se obtiene es virtual, derecha y con el mismo aumento en valor absoluto. Determina:

- La distancia focal imagen y la potencia de la lente.
- La distancia del objeto a la lente en los dos casos.
- Las respectivas distancias imagen.
- Las construcciones geométricas correspondientes.

**a)** Al tratarse de la misma lente, su distancia focal no cambia, de modo que aplicaremos en ambos casos:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} \quad \text{y} \quad \frac{1}{s'_o} + \frac{1}{s'_i} = \frac{1}{f}$$

Igualando ambas expresiones, obtenemos:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{s'_o} + \frac{1}{s'_i}$$

En la primera posición del objeto, la imagen es real, invertida y aumentada 4 veces, por lo que:

$$-\frac{s_i}{s_o} = -4 \Rightarrow s_i = 4 s_o$$

Mientras que en la segunda posición, la imagen es virtual, derecha y del mismo aumento. En consecuencia:

$$-\frac{s'_i}{s'_o} = 4 \Rightarrow s'_i = -4 s'_o$$

Sustituyendo estos valores en la igualdad anterior:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{4 s_o} = \frac{1}{s'_o} + \frac{1}{-4 s'_o} \Rightarrow \frac{5}{4 s_o} = \frac{3}{4 s'_o} \Rightarrow 5 s'_o = 3 s_o$$

Y puesto que  $s'_o = s_o - 3$ , sustituyendo se obtiene que  $s_o = 7,5$  cm. Dado que:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{4 s_o} = \frac{1}{f}$$

La distancia focal imagen vale:  $f = 6$  cm

y la potencia de la lente:  $P = 1/f = 1/6$  dioptrías

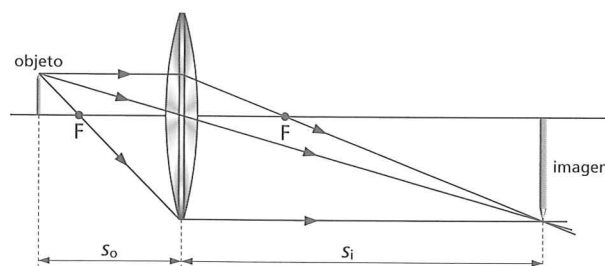
**b)** Las distancias objeto son:

$$s_o = 7,5 \text{ cm}; s'_o = 4,5 \text{ cm}$$

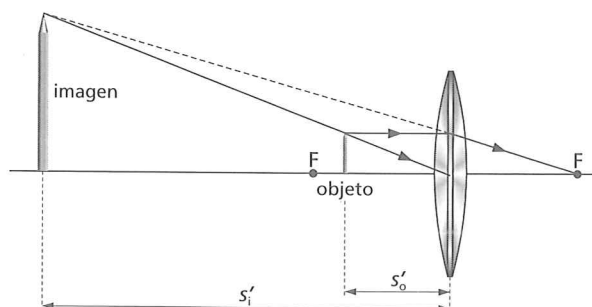
**c)** Las distancias imagen son:

$$s_i = 4, s_o = 30 \text{ cm}; s'_i = -4, s'_o = -18 \text{ cm}$$

**d)** Para el primer caso tenemos:



Cuando desplazamos la lente 3 cm tendremos:



**D49 IPAU** Una lente convergente de 10 cm de distancia focal se encuentra a 30 cm de otra lente convergente cuya distancia focal es de 5 cm. Se sitúa un objeto de 3 cm de altura a 30 cm de la primera lente:

- ¿Cuál es la posición, tamaño y naturaleza de la imagen formada por el sistema óptico?
  - Si las dos lentes se ponen en contacto, ¿cuál es la distancia focal efectiva de la combinación?
  - ¿Cuál sería la ubicación de la imagen de un objeto que se situara a 10 cm frente a las dos lentes en contacto?
- a) La imagen producida por la primera lente se obtiene de:

$$\frac{1}{s_i} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{s_o} = \frac{1}{10} - \frac{1}{30} \Rightarrow s_i = 15 \text{ cm}$$

Dado que la distancia entre lentes es de 30 cm, la imagen de la primera lente (ahora objeto para la segunda) se encuentra a 15 cm de esta última ( $s'_o = 15 \text{ cm}$ ). Aplicando la misma expresión para la segunda lente:

$$\frac{1}{s'_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s'_o} = \frac{1}{5} - \frac{1}{15} \Rightarrow s'_i = 7,5 \text{ cm}$$

El aumento total es:

$$M = M_1 \cdot M_2 = \left(\frac{s_i}{s_o}\right) \cdot \left(-\frac{s'_i}{s'_o}\right) = \frac{1}{4}$$

Por tanto, el tamaño de la imagen es de 0,75 cm, siendo la imagen real y derecha y formándose a 7,5 cm detrás de la segunda lente.

- b) La distancia focal efectiva de dos lentes en contacto es:

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \Rightarrow f' = 3,3 \text{ cm}$$

- c) Si  $s'_o = 10 \text{ cm}$  y  $f' = 3,3 \text{ cm}$ , entonces:

$$\frac{1}{s'_i} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{s'_o} = \frac{1}{3,3} - \frac{1}{10} \Rightarrow s'_i = 5 \text{ cm}$$

Se formará la imagen a 5 cm por detrás de las lentes.

**50 IPAU** Una lente biconvexa de índice de refracción 1,5 tiene un radio de curvatura de 15 cm en la superficie de incidencia y de 30 cm en la superficie de transmisión. Si se desea que proyecte una imagen de la mitad del tamaño del objeto:

- ¿Cuáles deben ser las distancias a las que deben situarse el objeto y la pantalla con respecto a la lente?
  - Construye el correspondiente diagrama de rayos.
- a) La distancia focal de la lente así construida se obtiene de la siguiente expresión:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = 0,5 \left( \frac{1}{15} - \frac{1}{-30} \right)$$

Por lo que:

$$f = 20 \text{ cm}$$

Dado que la imagen debe proyectarse, es real ( $s_i > 0$ ), y si debe ser la mitad del tamaño del objeto, entonces:

$$M = \frac{s_i}{s_o} = -\frac{1}{2}$$

Por tanto:

$$s_o = 2 s_i \Rightarrow s_i = s_o/2$$

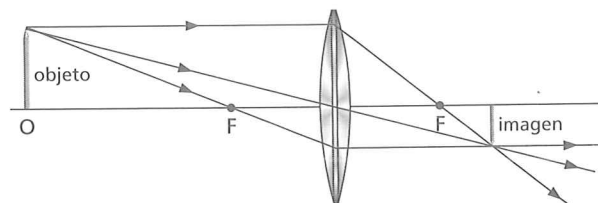
Sustituyendo estas identidades en la ecuación, se obtiene:

$$\frac{1}{s_i} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{s_o} + \frac{2}{s_o} = \frac{1}{20} \Rightarrow s_o = 60 \text{ cm}$$

Y, en consecuencia,

$$s_i = 30 \text{ cm}$$

- b) El correspondiente diagrama de rayos es:



## Instrumentos ópticos

- 51** Por qué hay que introducir las diapositivas invertidas en un proyector? Dado que la imagen en la pantalla resulta aumentada, ¿a qué distancia deben situarse las diapositivas con respecto a la distancia focal de la lente?

Se introducen las diapositivas de ese modo porque la imagen aumentada que se obtiene con una lente biconvexa (la del objetivo del proyector) es siempre invertida (salvo en el caso de la lupa). Por este motivo, si deseamos ver la imagen derecha, el objeto (la diapositiva) tendrá que estar invertido.

Las diapositivas han de encontrarse a una distancia comprendida entre  $f$  y  $2 \cdot f$ . Dicha distancia se regula con el enfoque del proyector.

- 52** ¿Qué tipo de lente se usa en las mirillas de las puertas?

La lente que se utiliza es biconcava, pues de ese modo la imagen de los objetos, sea cual sea la distancia a la que se encuentran, se ve siempre derecha aunque la imagen esté disminuida.

Además, el campo de visión es mayor.

- 53** Los astrónomos aficionados saben que para apreciar al telescopio imágenes de muy débil luminosidad (galaxias, nebulosas planetarias, etcétera) es mejor mirar ligeramente de reojo. ¿Se te ocurre alguna explicación?

La razón es que en la zona de la retina situada en la dirección del eje óptico en visión directa se encuentra la fóvea, donde se concentra el mayor número de conos, pero donde no existen bastoncillos, que son los responsables de la visión nocturna de la luz de baja intensidad, como la que se observa en los objetos captados a través del telescopio.

Para evitar la fóvea, es mejor mirar ligeramente de reojo.

- 54 IPAU** El aumento deseable de un microscopio compuesto es de 200x. Si el aumento lateral que produce el objetivo es de 20x, ¿cuál será la distancia focal del ocular si la imagen se forma en el punto próximo a 25 cm del ojo?

Los aumentos del microscopio compuesto responden a la siguiente expresión:

$$m = m_{\text{obj}} \frac{x_p}{f_{\text{ocular}}}$$

Por tanto:

$$f_{\text{ocular}} = \frac{m_{\text{obj}} x_p}{m}$$

y sustituyendo los datos:

$$f_{\text{ocular}} = 2,5 \text{ cm}$$