PROYECTO SABER HACER

7

# Óptica geométrica

SANTILLANA

# Óptica geométrica

7

## PARA COMENZAR

- **¿Por qué se dice que los rayos que llegan al espejo de un telescopio lo hacen desde el infinito?**

  Porque llegan desde objetos muy, muy lejanos, y entonces podemos considerar que son paralelos entre sí y que, como la distancia desde la que llegan es mucho mayor que el radio del espejo curvo, por ejemplo, la aproximación de suponer que los rayos proceden del infinito es muy buena.

- **¿Qué forma tiene el espejo principal, el de mayor tamaño? ¿Por qué se observan distorsionadas las imágenes en el espejo?**

  El espejo principal tiene forma curva, es un espejo cóncavo. Esto hace que las imágenes aparezcan distorsionadas en el espejo, algo que no sucede cuando el espejo es plano, como aquellos que usamos normalmente en muchos aseos.

## ACTIVIDADES

**1. Determina las siguientes razones trigonométricas:**

**a)** **sen 45°** **b)** **cos 60°** **c)** **sen 135°** **d)** **sen 30°**

a) $\text{sen } 45^\circ = \dfrac{\sqrt{2}}{2}$

b) $\cos 60^\circ = \dfrac{1}{2}$

c) $\text{sen } 135^\circ = \text{sen } 45^\circ = \dfrac{\sqrt{2}}{2}$

d) $\text{sen } 30^\circ = \dfrac{1}{2}$

**2. Encuentra el ángulo para el que se cumple que:**

**a)** **sen $\alpha$ = 0,15**

**b)** **tg $\beta$ = 2,7**

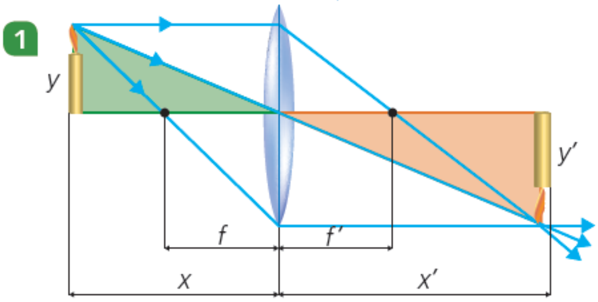
**c)** **cos $\gamma$ = –0,67**

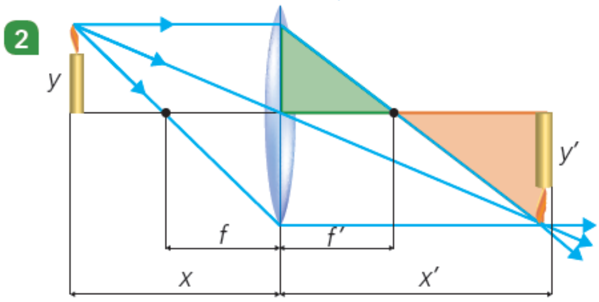
a) $\text{sen } \alpha = 0{,}15 \rightarrow \alpha = \text{arc sen } 0{,}15 = 8^\circ\ 37'\ 37''$

b) $\text{tg } \beta = 2{,}7 \rightarrow \beta = \text{arc tg } 2{,}7 = 69^\circ\ 40'\ 37''$

c) $\cos \gamma = -0{,}67 \rightarrow \gamma = \text{arc cos } (-0{,}67) = 132^\circ\ 4'\ 1''$

**3. En el estudio de la imagen de una lente convergente se obtienen los siguientes gráficos. Estudia los triángulos semejantes y completa las equivalencias:**




**a)** $\frac{y_0}{y_i} = \frac{\square}{\square}$

**b)** $\frac{f}{x_i - f} = \frac{\square}{\square}$

a) $\frac{y_0}{y_i} = \frac{x_0}{x_i}$

b) $\frac{f}{x_i - f} = \frac{y_0}{y_i}$

**4. Explica este hecho: «Si ves los ojos de alguien reflejados en un espejo, o a través de un medio transparente, ese alguien te puede ver a ti».**

La trayectoria de los rayos de luz es reversible. Por eso si podemos ver los ojos de una persona, es porque hay rayos de luz que llegan desde sus ojos hasta los nuestros. Y por el mismo motivo habrá rayos de luz que lleguen desde nuestros ojos a los suyos y, por consiguiente, dicha persona podrá vernos también.

**5. Explica las leyes de la reflexión de la luz. Observa ahora la figura 7.8 y di, usando dichas leyes, cómo cambia la dirección del rayo reflejado en el espejo si se gira un ángulo α el espejo de la figura sin mover la fuente de luz.**

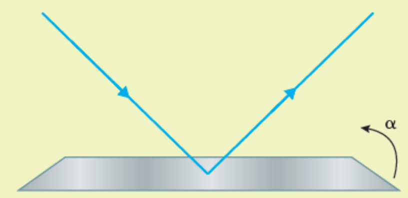
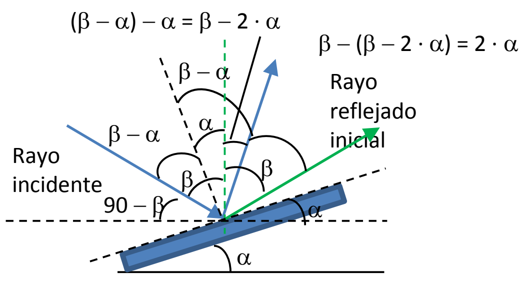



Figura 7.8.

Las leyes de la reflexión dicen que el ángulo que forma el rayo reflejado con la normal es igual que el rayo que forma el rayo incidente con la normal.

Además, el rayo incidente, la normal y el rayo reflejado están en el mismo plano.

Supongamos que el ángulo que forma el rayo incidente con la normal cuando el espejo está sin girar es β. Entonces, el ángulo que forma el rayo reflejado con la normal será β también.




Si el espejo gira un ángulo α, el rayo incidente formará un ángulo β – α con la normal, que ahora habrá girado a su vez un ángulo α. Entonces el rayo reflejado formará un ángulo β – α con la nueva normal. Y del dibujo se deduce que el ángulo que forma el rayo reflejado habrá girado un ángulo igual a 2 · α con respecto al rayo reflejado inicial.

**6. Explica brevemente cuáles son las características de las imágenes formadas por los espejos planos. Si una persona se acerca a un espejo a una velocidad de 1,5 m/s, ¿a qué velocidad se desplaza su imagen en el espejo?**

En un espejo plano la imagen es virtual, está formada por las prolongaciones de los rayos reflejados, es derecha con inversión lateral, del mismo tamaño que el objeto y la distancia de esta al espejo es la misma que la del objeto al espejo. Por tanto, si un objeto se mueve a una velocidad de 1,5 m/s, la imagen en el espejo se moverá a la misma velocidad.

**7. Supón dos espejos planos colocados perpendicularmente entre sí, tal y como muestra la figura 7.9. Un rayo que se desplaza en un plano perpendicular a ambos espejos es reflejado primero por uno de los espejos y a continuación por el otro espejo. Indica entonces cuál será la dirección final del rayo con respecto a la dirección correspondiente al rayo original.**

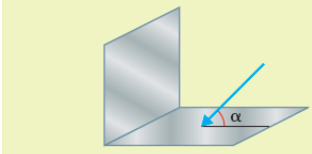
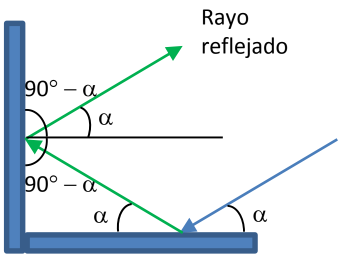


Figura 7.9.

El rayo incidente se refleja en el primer espejo formando un ángulo $90 - \alpha$ con la normal. A continuación este rayo reflejado se refleja en el segundo espejo.

El ángulo de reflexión es igual que el ángulo de incidencia. Por tanto, el rayo reflejado vuelve a formar un ángulo $\alpha$ con la horizontal, tal y como se aprecia en el esquema adjunto. Por tanto, el rayo reflejado es paralelo al rayo incidente inicial.




**8. Un objeto de 15 cm de altura está a 20 cm de un espejo convexo cuya distancia focal es de 40 cm.**

**a) Calcula la posición y el tamaño de la imagen formada.**

**b) Dibuja el trazado de rayos correspondiente.**

a) Utilizamos la ecuación fundamental de los espejos y las normas DIN para calcular la distancia a la que se forma la imagen en un espejo esférico:

$$\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{f}$$

Donde *s'* es la distancia de la imagen al espejo, *s*, la distancia del objeto al espejo y *f* la distancia focal, es decir, la distancia del foco al espejo, que es la mitad del radio de curvatura del espejo.

En este caso conocemos la focal y nos dicen que *s* vale –20 cm, puesto que está delante del espejo. Por tanto:

$$\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{f}\rightarrow\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{s}\rightarrow\frac{1}{s'}=\frac{1}{40\text{ cm}}-\frac{1}{-20\text{ cm}}\rightarrow$$

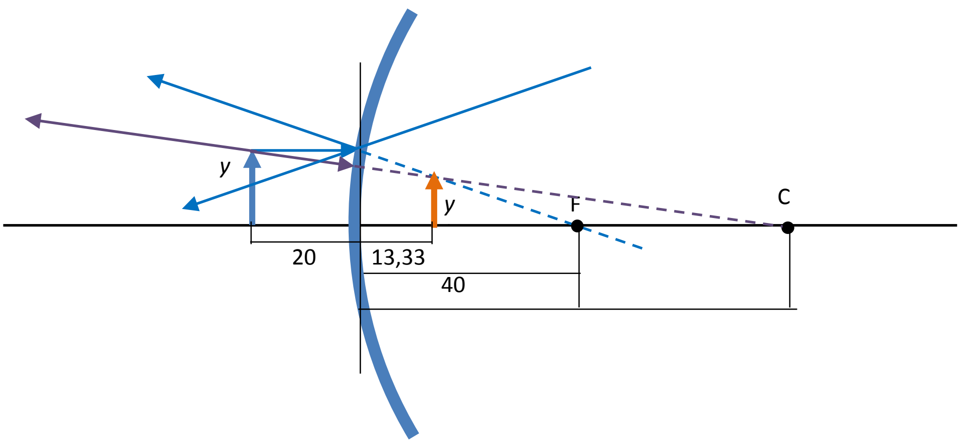
$$\rightarrow\frac{1}{s'}=\frac{1}{40\text{ cm}}+\frac{1}{20\text{ cm}}=\frac{1}{40\text{ cm}}+\frac{2}{40\text{ cm}}=\frac{3}{40\text{ cm}}\rightarrow s'=\frac{40\text{ cm}}{3}=13{,}33\text{ cm}$$

Para calcular el tamaño de la imagen empleamos la siguiente ecuación que relaciona el tamaño de la imagen con el tamaño del objeto:

$$\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}\rightarrow y'=-\frac{s'}{s}\cdot y=-\frac{13{,}33\text{ cm}}{-20\text{ cm}}\cdot 15\text{ cm}\rightarrow y'=+10\text{ cm}$$

El signo positivo indica que la imagen está derecha respecto al objeto, y su tamaño es de 10 cm.

b) El trazado de rayos correspondiente es:



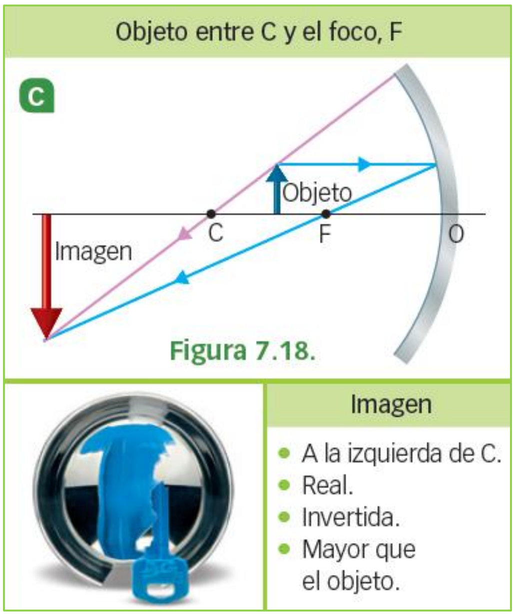
**9. Si un espejo forma una imagen real invertida y de mayor tamaño que el objeto, se trata de un espejo:**

**a) Cóncavo, y el objeto está situado entre el foco y el centro de curvatura.**

**b) Cóncavo, y el objeto está situado entre el foco y el espejo.**

**c) Convexo, con el objeto en cualquier posición.**

Respuesta correcta: a.




**10. Un pájaro vuela a 1,5 m por encima de la superficie del agua en la situación descrita en el ejemplo anterior. ¿A qué distancia de la superficie lo apreciará el buceador?**

**Dato: $n_{\text{agua}} = 1{,}33$.**

La ecuación del dioptrio plano permite conocer cuál es la distancia aparente para el buceador:

$$\frac{n}{s} = \frac{n'}{s'} \rightarrow s = \frac{n}{n'} \cdot s' = \frac{1{,}33}{1} \cdot 1{,}5 \text{ m} \simeq 2 \text{ m}$$

**11. Determina las distancias focales para un dioptrio esférico cóncavo cuyo radio es 0,2 m si los índices de refracción de los dos medios transparentes son $n = 1$ y $n' = 1{,}33$, respectivamente.**

Teniendo en cuenta que para un dioptrio esférico cóncavo el radio es negativo y la distancia focal objeto y la distancia focal imagen se pueden calcular mediante las siguientes ecuaciones, obtenemos los valores de las distancias focales:

$$f = -r \cdot \frac{n}{n' - n} = -(-0{,}2 \text{ m}) \cdot \frac{1}{1{,}33 - 1} = +0{,}6 \text{ m}$$

$$f' = r \cdot \frac{n'}{n' - n} = -0{,}2 \text{ m} \cdot \frac{1{,}33}{1{,}33 - 1} = -0{,}8 \text{ m}$$

**12. Determina el valor del radio de curvatura de las superficies de una lente simétrica biconvexa cuya potencia es 4 D. El índice de refracción del vidrio que forma la lente es 1,5.**

Podemos aplicar la ecuación del constructor de lentes:

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

Si la lente es simétrica, entonces $r_1 = -r_2$. Sustituyendo datos:

$$(n'-1)\cdot\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{-r_1}\right)=\frac{1}{f'}\rightarrow(n'-1)\cdot\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_1}\right)=\frac{1}{f'}\rightarrow(n'-1)\cdot\frac{2}{r_1}=\frac{1}{f'}\rightarrow$$

$$\rightarrow r_1=\frac{2\cdot(n'-1)}{\frac{1}{f'}}=\frac{2\cdot(1{,}5-1)}{4\ \text{m}^{-1}}=0{,}25\ \text{m}=25\ \text{cm}$$

**13. Para construir una lente divergente con una cara plana de distancia focal –40 cm se emplea vidrio con un índice de refracción de 1,5. Calcula el radio de la cara esférica de la lente y dibuja la lente.**

Podemos aplicar de nuevo la ecuación del constructor de lentes:

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

Si una cara de la lente es plana, entonces el radio correspondiente es $\infty$. Por tanto, podemos escribir:

$$(n'-1)\cdot\left(\frac{1}{-\infty}-\frac{1}{r_2}\right)=\frac{1}{f'}\rightarrow(n'-1)\cdot\left(-\frac{1}{r_2}\right)=\frac{1}{f'}\rightarrow r_2=-(n'-1)\cdot f'=-(1{,}5-1)\cdot(-40\ \text{cm})=+20\ \text{cm}$$

**14. Un objeto de 20 cm de altura se coloca a 1,2 m de una lente delgada. Si queremos obtener una imagen de 0,5 m de altura, derecha y virtual:**

**a) ¿Cuál debe ser la potencia de la lente? ¿Qué tipo de lente necesitamos?**

**b) Elabora un dibujo con el trazado de rayos correspondiente.**

a) Partimos de la ecuación de las lentes delgadas:

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}=P$$

Podemos escribir, además, la relación entre el tamaño del objeto y el de la imagen:

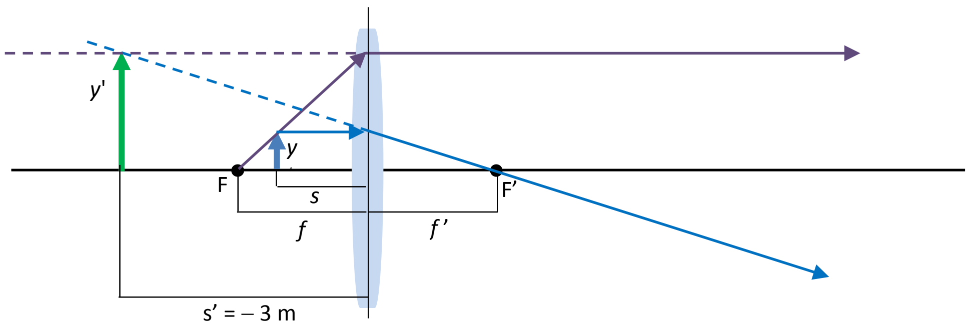
$$\frac{y'}{y}=\frac{s'}{s}\rightarrow s'=\frac{y'}{y}\cdot s=\frac{0{,}5\ \text{m}}{0{,}2\ \text{m}}\cdot(-1{,}2\ \text{m})=-3\ \text{m}$$

La potencia de la lente es la inversa de la distancia focal. Es decir:

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=P\rightarrow P=\frac{1}{-3\ \text{m}}-\frac{1}{-1{,}2\ \text{m}}=+0{,}5\ \text{D}$$

Como la potencia es positiva, la lente debe ser convergente.

b) El trazado de rayos sería el siguiente:



**15. Un sistema está formado por dos lentes convergentes iguales separadas 70 cm, con 20 cm de distancia focal. Un objeto se coloca a 40 cm de la primera lente.**

**a) Calcula la posición de la imagen que da el sistema. Elabora también el diagrama de rayos e indica las características de la imagen.**

**b) Determina el aumento lateral total de la imagen.**

a) Para calcular la imagen del objeto que da la lente 1 usamos la ecuación de las lentes delgadas:

$$\frac{1}{s'_1}-\frac{1}{s_1}=\frac{1}{f'_1}\rightarrow\frac{1}{s'_1}-\frac{1}{-40\text{ cm}}=\frac{1}{20\text{ cm}}\rightarrow\frac{1}{s'_1}=\frac{1}{20\text{ cm}}-\frac{1}{40\text{ cm}}\rightarrow s'_1=40\text{ cm}$$

Por tanto, como la distancia entre lentes es de 70 cm, tenemos:

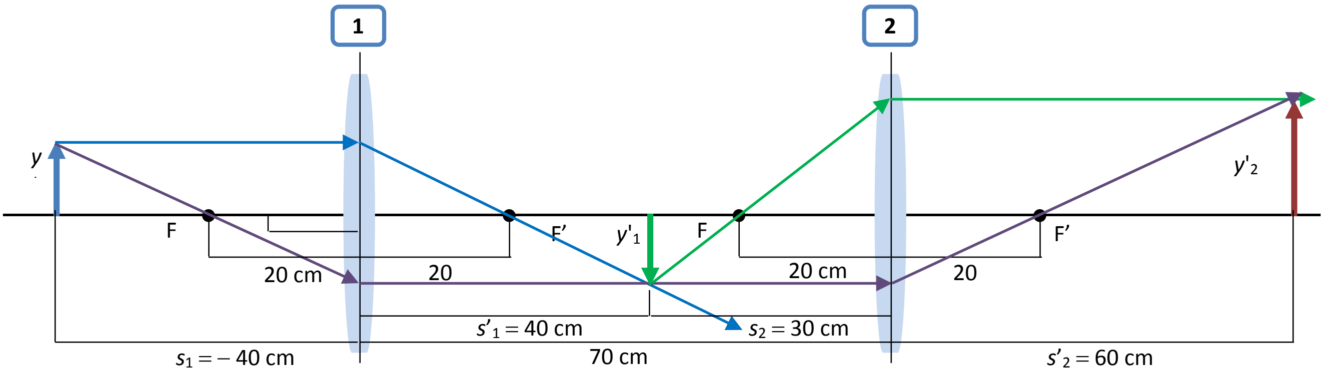
$$|s_2|=70\text{ cm}-s'_1=70\text{ cm}-40\text{ cm}\rightarrow s_2=-30\text{ cm}$$

Y ahora aplicamos de nuevo la ecuación de las lentes delgadas tomando la imagen 1 como objeto 2:

$$\frac{1}{s'_2}-\frac{1}{s_2}=\frac{1}{f'_2}\rightarrow\frac{1}{s'_2}-\frac{1}{-30\text{ cm}}=\frac{1}{20\text{ cm}}\rightarrow\frac{1}{s'_2}=\frac{1}{20\text{ cm}}-\frac{1}{30\text{ cm}}\rightarrow s'_2=60\text{ cm}$$

Es decir, la imagen se forma 60 cm detrás de la segunda lente.

El trazado de rayos correspondiente sería el siguiente:




La imagen es real, derecha y de mayor tamaño que el objeto.

b) El aumento lateral total se calcula a partir del aumento que da cada lente:

Calculemos ahora el tamaño de las imágenes formadas.

$$\frac{y'_1}{y_1}=\frac{s'_1}{s_1}=\frac{40\text{ cm}}{-40\text{ cm}}=-1$$

Es decir, la imagen que forma la lente 1 es del mismo tamaño que el objeto. Calculemos ahora el tamaño de la imagen que da el sistema:

$$\frac{y'_2}{y_2}=\frac{s'_2}{s_2}=\frac{60\text{ cm}}{-30\text{ cm}}=-2$$

Es decir, la imagen final tiene el doble de tamaño que el objeto y es derecha respecto al objeto.

**16. Una diapositiva de 3,5 cm de ancho se sitúa delante de un proyector cuya lente convergente tiene una distancia focal de +12 cm. La imagen nítida se proyecta sobre una pantalla situada a 3,5 m de la lente.**

**a) ¿Dónde está colocada la diapositiva?**

**b) Indica las dimensiones de la imagen formada por el proyector en la pantalla.**

**c) Elabora el diagrama de rayos correspondiente.**

a) Para ver dónde está colocada la diapositiva aplicamos la ecuación de las lentes delgadas:

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\rightarrow\frac{1}{350\text{ cm}}-\frac{1}{s}=\frac{1}{12\text{ cm}}\rightarrow\frac{1}{s}=\frac{1}{350\text{ cm}}-\frac{1}{12\text{ cm}}\rightarrow s=-12{,}43\text{ cm}$$

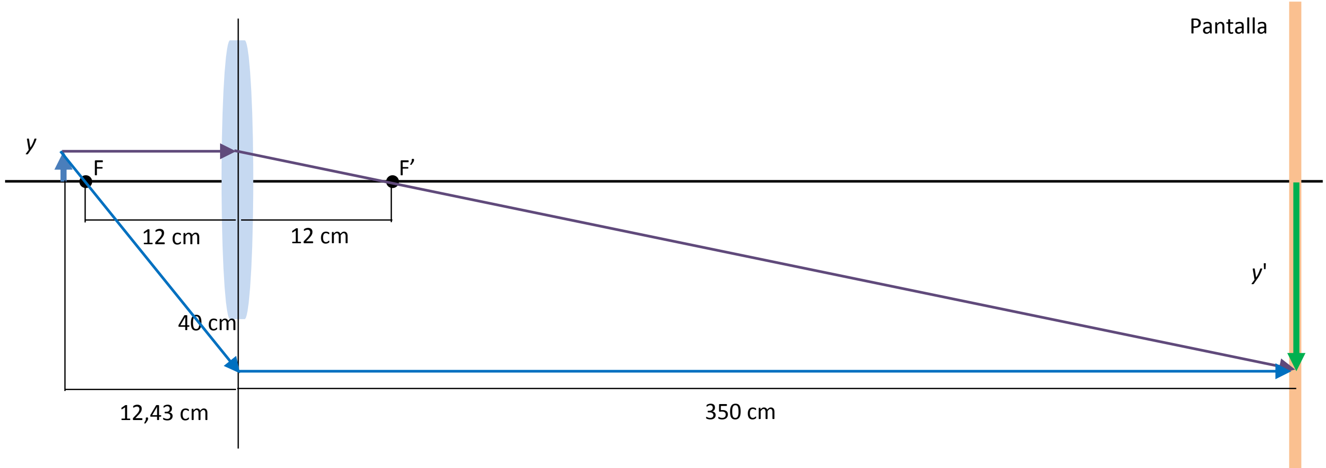
Por tanto, la diapositiva está a 12,43 cm delante de la lente.

b) Las dimensiones de la imagen se calculan a partir de las dimensiones del objeto:

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \rightarrow y' = \frac{s'}{s} \cdot y = \frac{350 \text{ cm}}{-12{,}43 \text{ cm}} \cdot 3{,}5 \text{ cm} = -98{,}55 \text{ cm}$$

Es decir, la imagen es invertida y mide un metro aproximadamente.

c) El diagrama de rayos correspondiente es este. El dibujo no está a escala para poder representar la imagen.



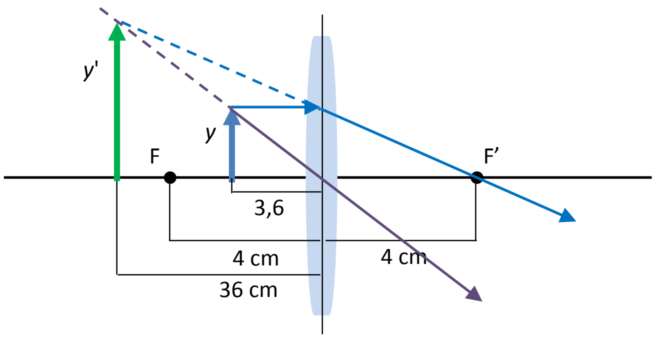

**17. La lente convergente de una lupa tiene una distancia focal de 4 cm.**

**a) Elabora un diagrama con la trayectoria de los rayos, la posición del objeto y la posición de la imagen obtenida si se emplea la lupa para observar un sello. La imagen debe ser virtual, derecha y aumentada.**

**b) ¿Dónde debemos colocar el sello para lograr una imagen diez veces mayor que el objeto?**

**c) Determinar las características de la imagen obtenida si el sello se coloca a 5 cm de la lente. Dibuja el diagrama y haz los cálculos correspondientes.**

a) El diagrama correspondiente es este. Los valores de las medidas se obtendrán en el apartado b.




La imagen es virtual, porque se forma por la prolongación de los rayos notables, derecha y aumentada.

b) Si la imagen es diez veces mayor que el objeto, podemos escribir:

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} = 10 \rightarrow s' = 10 \cdot s$$

Ahora escribimos la ecuación de las lentes delgadas:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{10 \cdot s} - \frac{1}{s} = \frac{1}{4 \text{ cm}} \rightarrow \frac{1}{10 \cdot s} - \frac{10}{10 \cdot s} = \frac{1}{4 \text{ cm}} \rightarrow -\frac{9}{10 \cdot s} = \frac{1}{4 \text{ cm}} \rightarrow s = -3{,}6 \text{ cm}$$

Por tanto, debemos colocar el sello a 3,6 cm delante de la lente de la lupa. Y la imagen se formará:

$$s' = 10 \cdot s = 10 \cdot (-3{,}6\ \text{cm}) = -36\ \text{cm}$$

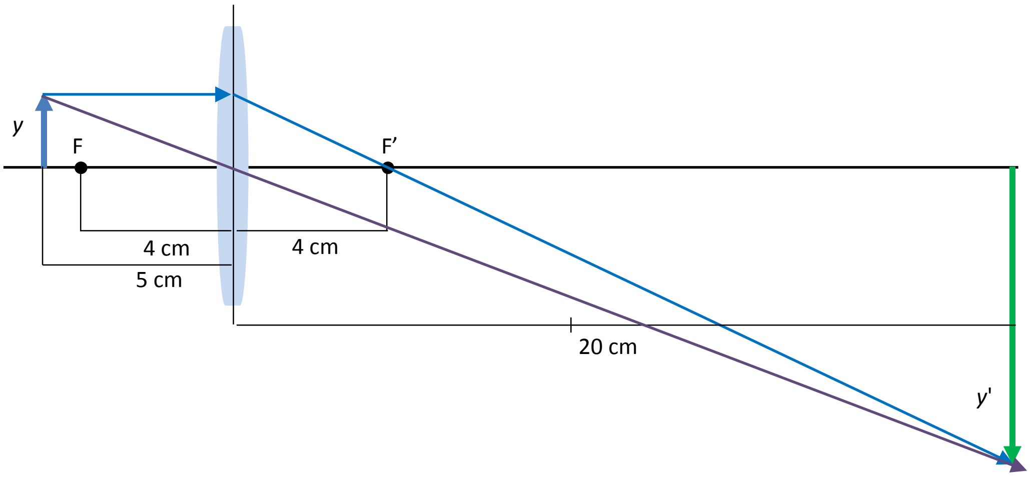
c) Si el sello se coloca a 5 cm de la lente:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{s'} - \frac{1}{-5\ \text{cm}} = \frac{1}{4\ \text{cm}} \rightarrow \frac{1}{s'} = \frac{1}{4\ \text{cm}} - \frac{1}{5\ \text{cm}} \rightarrow s = 20\ \text{cm}$$

El aumento es:

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} = \frac{20\ \text{cm}}{-5\ \text{cm}} = -4$$

El diagrama correspondiente es este:




La imagen es real, invertida y de mayor tamaño, cuatro veces mayor que el objeto.

**18. Una persona miope utiliza gafas cuyas lentes tienen –2,5 dioptrías de potencia para ver objetos muy alejados (la imagen se forma en la retina).**

**a) Cuando se quita las gafas, ¿a qué distancia máxima puede ver nítidamente?**

**b) Un objeto de 50 cm de altura se sitúa a 1 m de las gafas. Indica la posición y el tamaño de la imagen formada. Elabora el trazado de rayos correspondiente.**

a) Con las gafas podemos considerar que la persona ve a través de un sistema óptico formado por dos lentes: las gafas y el ojo. Podemos escribir:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = P_{\text{Total}} = P_{\text{Gafas}} + P_{\text{Ojo}}$$

*s'* es la distancia entre la lente del ojo y la retina. Para un objeto muy alejado podemos escribir entonces:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{-\infty} = P_{\text{Gafas}} + \frac{1}{f'_{\text{Ojo}}} \rightarrow \frac{1}{s'} - \frac{1}{f'_{\text{Ojo}}} = P_{\text{Gafas}}$$

Entonces, cuando se quita las gafas, la ecuación de las lentes delgadas es:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s_{\text{máx.}}} = \frac{1}{f'_{\text{Ojo}}}$$

La distancia *s'* es la misma que antes, pues en ambos casos, con gafas y sin ellas, la imagen se forma nítidamente sobre la retina.

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{f'_{\text{Ojo}}} = \frac{1}{s_{\text{máx.}}} \rightarrow P_{\text{Gafas}} = \frac{1}{s_{\text{máx.}}} \rightarrow s_{\text{máx.}} = \frac{1}{P_{\text{Gafas}}} = \frac{1}{-2{,}5\ \text{m}^{-1}} = -0{,}4\ \text{m} = 40\ \text{cm}$$

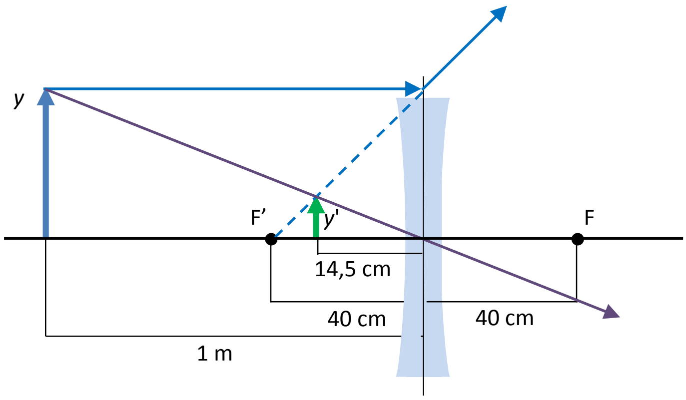
b) Para el objeto situado delante de las gafas:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = P_{\text{Gafas}} \rightarrow \frac{1}{s'} = P_{\text{Gafas}} + \frac{1}{s} = -2{,}5\ \text{D} + \frac{1}{-1\ \text{m}} \rightarrow s' = -0{,}29\ \text{m}$$

El tamaño de la imagen se calcula así:

$$\frac{y'}{y}=\frac{s'}{s}\rightarrow y'=\frac{s'}{s}\cdot y=\frac{-0{,}29\text{ m}}{-1\text{ m}}\cdot 0{,}5\text{ m}=0{,}145\text{ m}=14{,}5\text{ cm}$$

La lente es divergente, puesto que su potencia es negativa. Este tipo de lente es el que se emplea para corregir la miopía. El trazado de rayos es el siguiente:




**19.** **Explica en qué consisten los principales defectos de visión del ojo humano:**

**a)** **Miopía.**

**b)** **Hipermetropía.**

**c)** **Astigmatismo.**

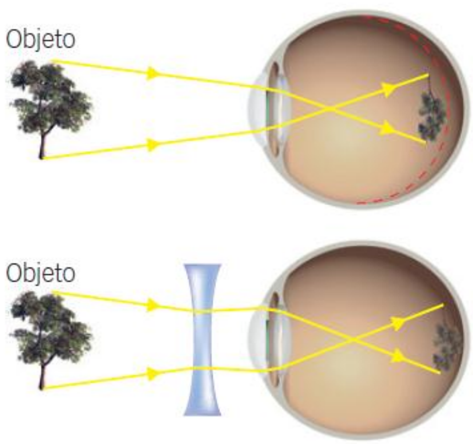
a) La miopía es un defecto que se debe a que el ojo enfoca los objetos delante de la retina. Esto se debe a que el globo ocular de un ojo miope es más alargado de lo normal. Se corrige con una lente divergente.

b) La hipermetropía es un defecto que se debe a que el ojo enfoca los objetos detrás de la retina. Esto se debe a que el globo ocular de un ojo con hipermetropía es más corto de lo normal. Se corrige con una lente convergente.

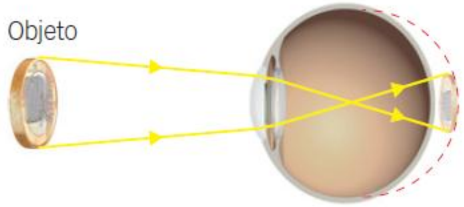
c) El astigmatismo se debe a que el ojo no enfoca de igual manera los rayos que llegan al ojo de manera vertical que aquellos que llegan al ojo de manera horizontal. Se debe a que la córnea de un ojo con astigmatismo está deformada, con forma de balón de rugby. Se corrige con lentes cilíndricas, no esféricas.

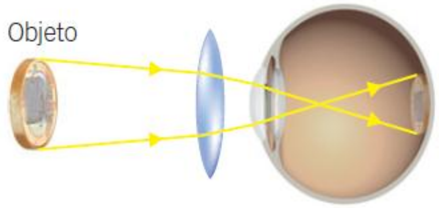
**20.** **Explica, usando los diagramas de rayos correspondientes, cómo se corrigen los defectos de la visión que has explicado en la actividad anterior. Señala qué tipo de lentes se emplea en cada caso para conseguir enfocar los objetos sobre la retina.**

Para la miopía. Al emplear una lente divergente se consigue que la imagen se forme más atrás, es decir, sobre la retina.

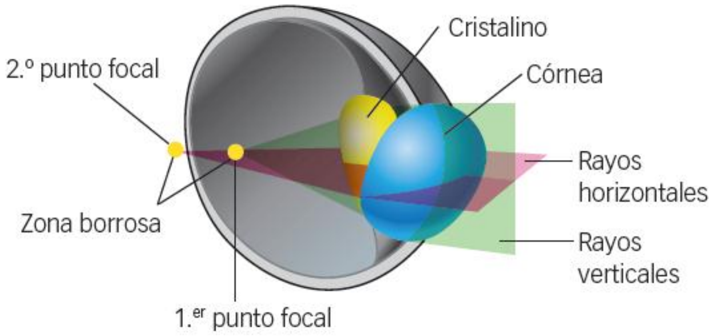


Para la hipermetropía. Al emplear una lente convergente se consigue que la imagen se forma más adelante, es decir, sobre la retina.




Para el astigmatismo. Las lentes cilíndricas desvían de manera desigual los rayos verticales y los horizontales, formando una imagen nítida sobre la retina.




**21.** **¿Se puede hacer fuego orientando hacia el Sol un espejo esférico cóncavo. ¿A qué distancia del espejo deberías colocar un papel para quemarlo? ¿Y con un espejo convexo?**

Sí, porque al usar un espejo cóncavo podemos conseguir que los rayos que llegan paralelos procedentes del Sol se concentren en un punto: el foco del espejo, situado a medio camino entre el espejo y el centro de curvatura. El papel debería colocarse en el foco porque es el punto por el que pasan todos los rayos que inciden de forma paralela.

Con un espejo convexo no se consigue este efecto, puesto que los rayos reflejados formados a partir de los rayos paralelos que llegan procedentes del Sol no convergen en ningún punto.

**22.** **Explica cómo se forman las imágenes en un espejo convexo. Aplícalo al caso de un objeto situado entre el centro de curvatura del espejo y el foco.**

**¿Qué diferencias hay entre una imagen virtual y una imagen real? ¿Se puede formar una imagen real mediante un espejo convexo?**

En un espejo convexo los rayos se reflejan de modo que un rayo paralelo sale reflejado alejándose del eje óptico. Si el objeto se sitúa entre el centro de curvatura y el espejo, tenemos este caso:

**Objeto a la derecha de F**

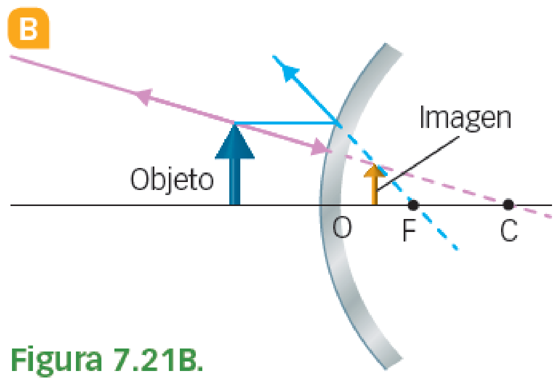



Figura 7.21B.

**Imagen**

- Entre O y F.
- Virtual.
- Derecha.
- Menor que el objeto.

Una imagen real se forma por intersección de dos rayos, mientras que una imagen virtual se forma por intersección de las prolongaciones de rayos.

Con un espejo convexo no se puede formar una imagen real, porque la imagen se forma como se muestra en el esquema.

**23. Imagina que usas un espejo para obtener una imagen en la misma posición en que se sitúa el objeto. Anota en tu cuaderno qué tipo de espejo debes usar y dónde debes colocar el objeto.**

Hay que usar un espejo cóncavo, y el objeto debe situarse exactamente sobre el centro de curvatura del espejo, tal y como se indica en la siguiente imagen:

**Objeto en C**

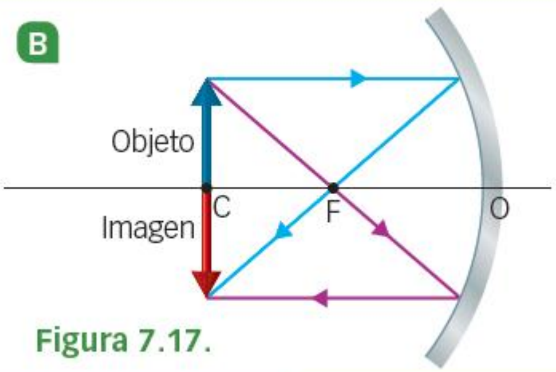


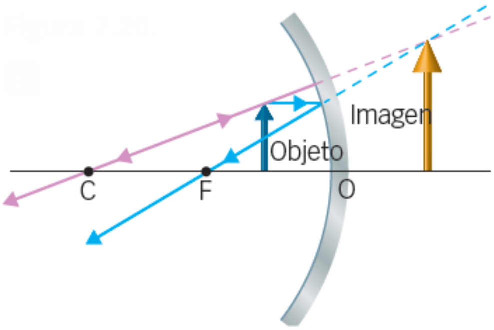

Figura 7.17.

**Imagen**

- En C.
- Real.
- Invertida.
- Igual que el objeto.

**24. En un espejo de maquillaje vemos nuestra imagen aumentada. ¿Qué tipo de espejo es? Explica tu respuesta dibujando un esquema de rayos. Señala en él la posición y el tamaño del objeto y de la imagen.**

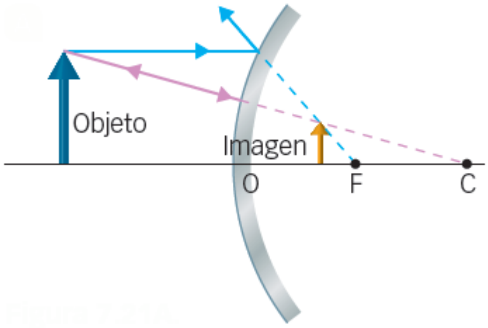
Se trata de un espejo cóncavo, puesto que en un espejo plano la imagen tiene el mismo tamaño que el objeto y en un espejo convexo la imagen es siempre más pequeña que el objeto. El esquema de rayos correspondiente es este:




**25. Cuando miramos por el espejo retrovisor de un coche los objetos están más cerca de lo que parece en el espejo. Explícalo y emplea un diagrama de rayos. ¿Qué tipo de espejo se usa en los retrovisores?**

Los retrovisores emplean espejos convexos. La imagen formada en el espejo es de menor tamaño que el objeto, por lo que parece que está más lejos de lo que está en realidad.

El diagrama de rayos correspondiente sería:




**26. Usando un espejo queremos proyectar la imagen de un objeto de 4 cm sobre una pantalla situada a 2 m del objeto, de tal modo que el aumento sea de 2,5. ¿Qué tipo de espejo utilizamos?**

**a) Calcula la distancia del objeto y de la imagen al espejo.**

**b) ¿Cuál es el radio del espejo?**

**c) Dibuja en un esquema el trazado de rayos.**

Para que la imagen sea mayor que el objeto necesitamos un espejo cóncavo. Si la imagen se recoge en una pantalla, es real, y si es de mayor tamaño, el objeto debe estar situado entre el foco y el centro de curvatura del espejo. La imagen será invertida.

a) Empleamos la ecuación fundamental del espejo esférico:

$$\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{f}$$

En esta ecuación no conocemos *s* ni *s'*, pero sabemos cuánto vale su suma:

$$|s'|=2\text{ m}+|s|$$

La ecuación que permite calcular el aumento es:

$$\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}\rightarrow -2,5=-\frac{s'}{s}\rightarrow s'=2,5\cdot s$$

Sustituyendo este valor en la ecuación anterior:

$$|s'| = 2\text{ m} + |s| \rightarrow |2{,}5 \cdot s| = 2\text{ m} + |s|$$

En un espejo cóncavo, tanto *s* como *s'* son menores que cero, según el criterio de signos empleado habitualmente en óptica geométrica. Por tanto, podemos escribir:

$$|2{,}5 \cdot s| = 2\text{ m} + |s| \rightarrow -2{,}5 \cdot s = 2\text{ m} - s \rightarrow -1{,}5 \cdot s = 2\text{ m} \rightarrow s = -1{,}33\text{ m}$$

Esta es la distancia del objeto al espejo. La distancia de la imagen al espejo será:

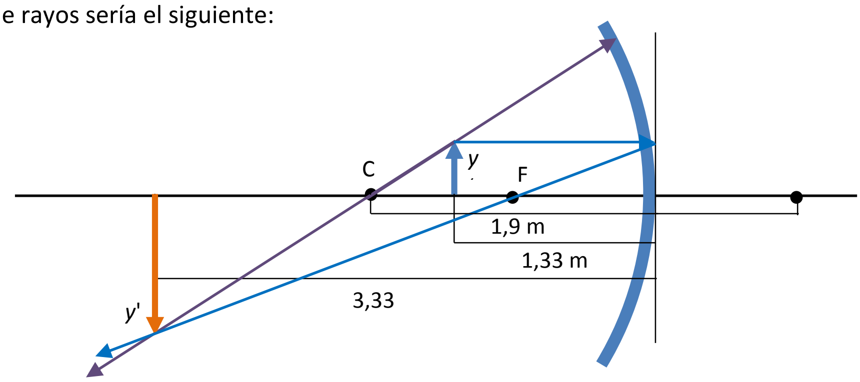
$$s' = 2{,}5 \cdot s = 2{,}5 \cdot (-1{,}33) = -3{,}33\text{ m}$$

b) El radio del espejo se puede calcular a partir de su distancia focal. Volvemos a la ecuación fundamental del espejo esférico:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f} = \frac{1}{R/2} \rightarrow \frac{1}{-3{,}33\text{ m}} + \frac{1}{-1{,}33\text{ m}} = \frac{2}{R} \rightarrow R = -1{,}9\text{ m}$$

Es un valor negativo porque el espejo es cóncavo. El radio de curvatura vale 1,9 m.

c) El trazado de rayos sería el siguiente:




**27. El radio de un espejo cóncavo mide 20 cm. ¿Dónde debes situar un objeto para obtener una imagen invertida y cuatro veces mayor?**

Si el radio mide 20 cm, entonces sabemos que la distancia focal mide 10 cm, la mitad del radio.

Aplicamos la ecuación del espejo esférico:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$$

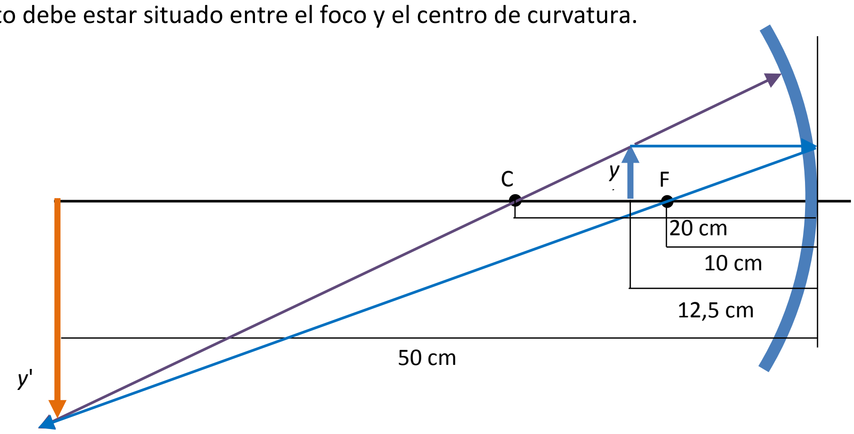
Como nos indican cuál es el aumento:

$$\frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s} \rightarrow -4 = -\frac{s'}{s} \rightarrow s' = 4 \cdot s$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{4 \cdot s} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{4 \cdot s} + \frac{4}{4 \cdot s} = \frac{1}{-10\text{ cm}} \rightarrow \frac{5}{4 \cdot s} = \frac{1}{-10\text{ cm}} \rightarrow s = -12{,}5\text{ cm}$$

El objeto debe estar situado entre el foco y el centro de curvatura.



**28. En un almacén emplean un espejo convexo con un radio de curvatura de 1 m para vigilar. Un cliente está a 8 m del espejo:**

**a) ¿A qué distancia del espejo se forma la imagen? ¿Está detrás o delante del espejo?**

**b) Calcula el tamaño de la imagen si el cliente mide 1,80 m.**

a) Empleamos la ecuación fundamental del espejo esférico. Como el espejo es convexo, la focal es positiva.

$$\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{f}\rightarrow\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{R/2}\rightarrow\frac{1}{s'}+\frac{1}{-8\text{ m}}=\frac{2}{1\text{ m}}\rightarrow s'=0{,}47\text{ m}=47\text{ cm}$$

La imagen está detrás del espejo, pues *s’* es mayor que cero.

b) El tamaño de la imagen se calcula así:

$$\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}\rightarrow y'=-\frac{s'}{s}\cdot y=-\frac{0{,}47\text{ m}}{-8\text{ m}}\cdot 1{,}80\text{ m}=0{,}106\text{ m}=10{,}6\text{ cm}$$

**29. Una barca que navega en un lago pierde el motor que cae al fondo. El tripulante se asoma y decide bajar a buscarlo, pues le parece que está a una profundidad de 0,5 m. ¿Cuál es su profundidad real?**

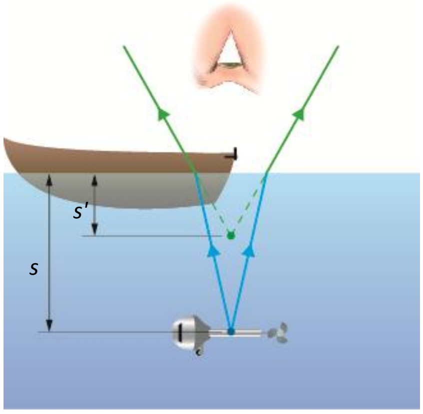
**Dato: *n* = 1,33.**

Podemos aplicar las ecuaciones correspondientes a un dioptrio plano.

A partir del esquema:

$$\frac{n}{s}=\frac{n'}{s'}\rightarrow\frac{1{,}33}{s_{\text{Real}}}=\frac{1}{s_{\text{Aparente}}}\rightarrow$$

$$\rightarrow\frac{1{,}33}{s_{\text{Real}}}=\frac{1}{50\text{ cm}}\rightarrow s_{\text{Real}}=66{,}5\text{ cm}$$




**30. El pez del ejemplo anterior está a 5 cm del borde de la pecera. ¿A qué distancia percibe el gato al pez?**

**Dato: índice de refracción del agua = 1,33.**

En este caso aplicamos la ecuación del dioptrio esférico. Ahora *n* = 1,33 y *n’* = 1. Por tanto:

$$\frac{n-n'}{r}=\frac{n}{s}-\frac{n'}{s'}\rightarrow\frac{1{,}33-1}{10\text{ cm}}=\frac{1{,}33}{5\text{ cm}}-\frac{1}{s'}\rightarrow\frac{1}{s'}=\frac{1{,}33}{5\text{ cm}}-\frac{1{,}33-1}{10\text{ cm}}\rightarrow s'=4{,}29\text{ cm}$$

**31. La lente de la cámara de un teléfono es biconvexa con un radio de 7 mm. El índice de refracción del material es 1,55.**

**a) Calcula la distancia focal de la lente y su potencia.**

**b) Colocamos un lápiz a 4 cm de una lente igual. ¿Cómo es la imagen? ¿Dónde se sitúa la imagen?**

a) En este caso empleamos la fórmula del constructor de lentes:

$$(n'-1)\cdot\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)=\frac{1}{f'}\rightarrow(1{,}55-1)\cdot\left(\frac{1}{7\text{ mm}}-\frac{1}{-7\text{ mm}}\right)=\frac{1}{f'}\rightarrow f'=6{,}36\text{ mm}$$

La potencia de la lente es la inversa de la distancia focal:

$$P=\frac{1}{f'}=\frac{1}{6{,}36\cdot 10^{-3}\text{ m}}\rightarrow f'=157\text{ m}^{-1}=157\text{ D}$$

b) Aplicamos la ecuación fundamental de las lentes delgadas:

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\rightarrow\frac{1}{s'}-\frac{1}{-4\text{ cm}}=\frac{1}{0{,}636\text{ cm}}\rightarrow\frac{1}{s'}=\frac{1}{0{,}636\text{ cm}}+\frac{1}{-4\text{ cm}}\rightarrow s'=0{,}756\text{ cm}=7{,}56\text{ mm}$$

La imagen se sitúa 7,56 mm detrás de la lente. Calculemos el aumento:

$$\frac{y'}{y}=\frac{s'}{s}=\frac{0{,}756\text{ cm}}{-4\text{ cm}}=-0{,}19$$

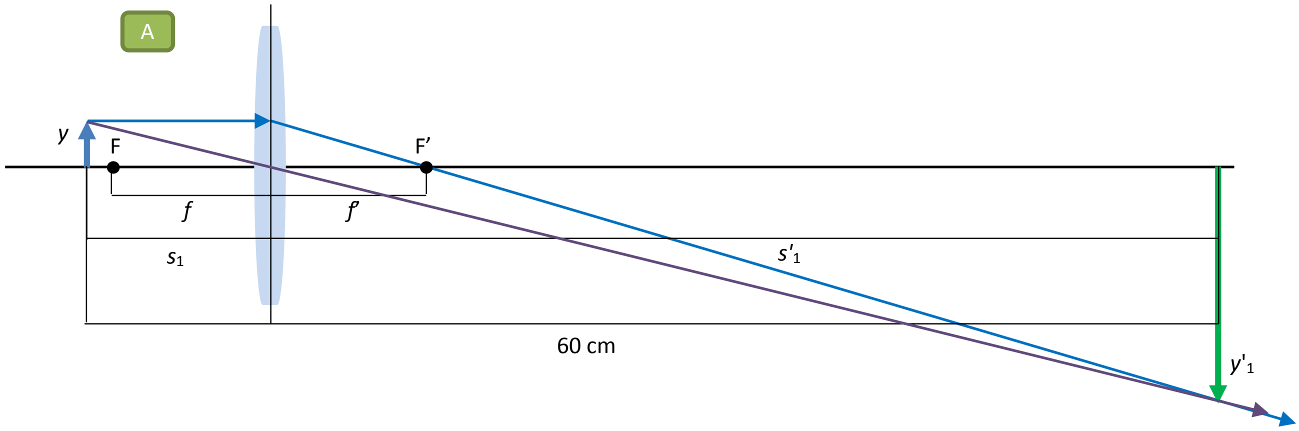
La imagen es invertida y de menor tamaño que el objeto, unas 5 veces menor.

**32. Una lente convergente se coloca entre un objeto de 4 cm y una pantalla situada a 60 cm del objeto. Con dos posiciones diferentes de la lente separadas entre sí 40 cm se obtienen imágenes nítidas en la pantalla. Explica cómo es posible.**

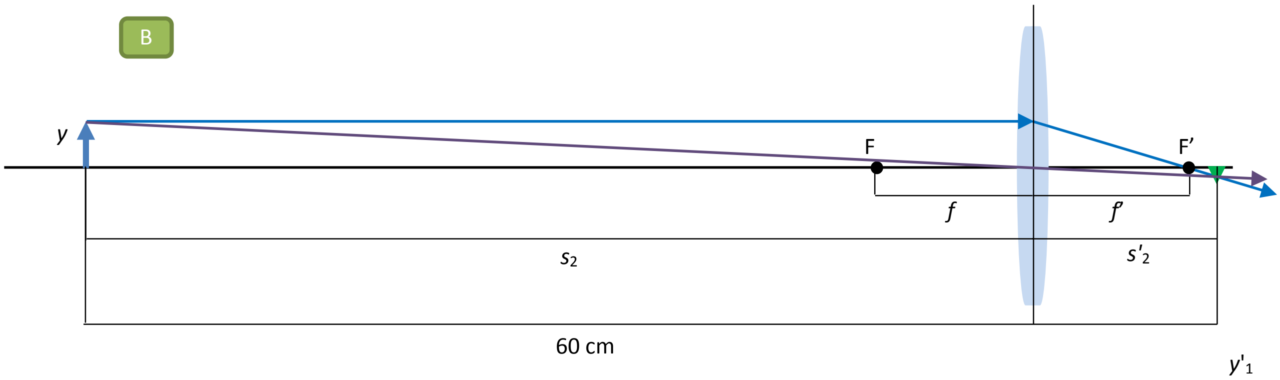
**a) Calcula la distancia focal de la lente y su potencia.**

**b) ¿Dónde se forman las imágenes para ambas posiciones de la lente?**

Para explicarlo elaboremos un esquema de las dos situaciones descritas. En este primer esquema representamos la situación en la que la lente está más próxima al objeto.




Elaboremos ahora un esquema con la lente más alejada del objeto. La separación de la lente con respecto al caso anterior es de 40 cm, según nos indica el enunciado.




Podemos escribir la ecuación de las lentes delgadas así:

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}$$

El enunciado indica que el objeto está a 60 cm de la pantalla. Por tanto, fijándonos en el esquema A:

$$|s_1|+|s'_1|=60\text{ cm}$$

Como del esquema sabemos que $s_1 < 0$ y $s'_1 > 0$, podemos escribir:

$$-s_1+s'_1=60\text{ cm}\rightarrow s'_1=s_1+60\text{ cm}$$

Análogamente, fijándonos en el esquema B:

$$|s_2| + |s'_2| = 60 \text{ cm}$$

Como del esquema sabemos que $s_2 < 0$ y $s'_2 > 0$, podemos escribir:

$$-s_2 + s'_2 = 60 \text{ cm} \rightarrow s'_2 = s_2 + 60 \text{ cm}$$

Nos dicen además que la lente en el esquema B está separada 40 cm de su posición en el esquema A. Por tanto, podemos escribir lo siguiente:

$$|s_2| - |s_1| = 40 \text{ cm}$$

Como del esquema sabemos que $s_2 < 0$ y $s_1 < 0$, podemos escribir:

$$-s_2 - (-s_1) = 40 \text{ cm} \rightarrow s_1 - s_2 = 40 \text{ cm} \rightarrow s_2 = s_1 - 40 \text{ cm}$$

a) Si se obtienen imágenes nítidas con dos posiciones de la lente separadas 40 cm entre sí, podemos escribir:

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{s'_1} - \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f'} \\ \frac{1}{s'_2} - \frac{1}{s_2} = \frac{1}{f'} \end{aligned}\right\} \rightarrow \frac{1}{s'_1} - \frac{1}{s_1} = \frac{1}{s'_2} - \frac{1}{s_2}$$

Utilizamos las ecuaciones obtenidas anteriormente:

$$s'_1 = s_1 + 60 \text{ cm}$$

$$s_2 = s_1 - 40 \text{ cm}$$

$$s'_2 = s_2 + 60 \text{ cm} \rightarrow s'_2 = \underbrace{s_1 - 40 \text{ cm}}_{s_2} + 60 \text{ cm} \rightarrow s'_2 = s_1 + 20 \text{ cm}$$

Sustituimos para dejar únicamente la variable $s_1$ en la ecuación obtenida:

$$\frac{1}{s'_1} - \frac{1}{s_1} = \frac{1}{s'_2} - \frac{1}{s_2} \rightarrow \frac{1}{s_1 + 60 \text{ cm}} - \frac{1}{s_1} = \frac{1}{s_1 + 20 \text{ cm}} - \frac{1}{s_1 - 40 \text{ cm}}$$

En esta ecuación ya podemos despejar $s_1$. Operamos para quitar denominadores, etc.:

$$s_1 \cdot (s_1 + 20) \cdot (s_1 - 40) - (s_1 + 60) \cdot (s_1 + 20) \cdot (s_1 - 40) = (s_1 + 60) \cdot s_1 \cdot (s_1 - 40) - (s_1 + 60) \cdot s_1 \cdot (s_1 + 20)$$

Operamos y vamos simplificando:

$$(s_1 + 20) \cdot (s_1 - 40) \left[ \cancel{s_1} - (\cancel{s_1} + 60) \right] = (s_1 + 60) \cdot s_1 \cdot \left[ (\cancel{s_1} - 40) - (\cancel{s_1} + 20) \right] \rightarrow$$

$$\rightarrow (s_1 + 20) \cdot (s_1 - 40) \cdot \left[ -(60) \right] = (s_1 + 60) \cdot s_1 \cdot \left[ (-40) - (+20) \right] \rightarrow$$

$$\rightarrow (s_1 + 20) \cdot (s_1 - 40) \cdot \cancel{(-60)} = (s_1 + 60) \cdot s_1 \cdot \cancel{(-60)} \rightarrow$$

$$\rightarrow (s_1 + 20) \cdot (s_1 - 40) = (s_1 + 60) \cdot s_1 \rightarrow \cancel{s_1^2} - 40 \cdot s_1 + 20 \cdot s_1 - 800 = 60 \cdot s_1 + \cancel{s_1^2} \rightarrow$$

$$\rightarrow -20 \cdot s_1 - 800 = 60 \cdot s_1 \rightarrow -80 = 8 \cdot s_1 \rightarrow s_1 = -10 \text{ cm}$$

Entonces podemos calcular $s'_1$:

$$s'_1 = s_1 + 60 \text{ cm} = -10 \text{ cm} + 60 \text{ cm} = 50 \text{ cm}$$

Como podemos comprobar, la suma en valor absoluto del objeto a la lente más la distancia de la lente a la pantalla es de 60 cm.

Entonces ya podemos calcular la focal de la lente. Volviendo a la ecuación de las lentes delgadas para el esquema A:

$$\frac{1}{s'_1} - \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{50 \text{ cm}} - \frac{1}{-10 \text{ cm}} = \frac{1}{f'} \rightarrow f' = 8{,}33 \text{ cm}$$

Entonces la potencia de la lente es:

$$P = \frac{1}{f'} = \frac{1}{8{,}33 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 12 \text{ D}$$

b) Ya sabemos la posición de la imagen para la posición de la lente recogida en el esquema A:

$$s'_1 = 50 \text{ cm}$$

Para el esquema B calculamos el valor de $s'_2$ a partir de las relaciones obtenidas anteriormente:

$$s'_2 = s_1 + 20\text{ cm} = -10\text{ cm} + 20\text{ cm} \rightarrow s'_2 = 10\text{ cm}$$

**33. Una lente delgada convergente tiene 20 cm de distancia focal y se utiliza para obtener una imagen de tamaño doble que el objeto. Determina a qué distancia se encuentra el objeto y su imagen de la lente si:**

**a) La imagen es derecha.**

**b) La imagen es invertida.**

**Realiza el diagrama de rayos para cada situación.**

a) Si la imagen es ampliada y derecha, es porque el objeto está a la derecha del foco. Escribimos la ecuación fundamental de las lentes delgadas y la que liga el aumento del sistema con las posiciones del objeto y de la imagen:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$$

El aumento proporcionado por la lente nos aporta la otra ecuación que liga $s$ y $s'$.

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \rightarrow 2 = \frac{s'}{s} \rightarrow 2 \cdot s = s'$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{2 \cdot s} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{2 \cdot s} - \frac{1}{s} = \frac{1}{20\text{ cm}} \rightarrow$$

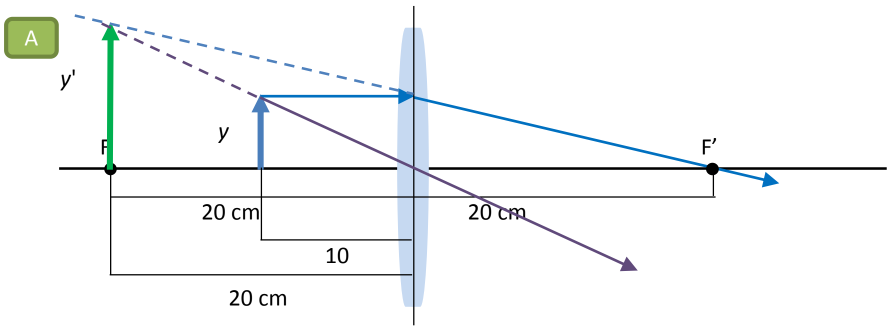
$$\rightarrow \frac{1}{2 \cdot s} - \frac{2}{2 \cdot s} = \frac{1}{20\text{ cm}} \rightarrow -\frac{1}{2 \cdot s} = \frac{1}{20\text{ cm}} \rightarrow s = -\frac{20\text{ cm}}{2} = -10\text{ cm}$$

Esta es la distancia del objeto a la lente. La distancia de la imagen a la lente es:

$$2 \cdot s = s' \rightarrow s' = 2 \cdot (-10\text{ cm}) = -20\text{ cm}$$

Es decir, la imagen está también a la izquierda de la lente, al doble de distancia que el objeto. Es decir, la imagen se sitúa sobre el foco de la lente.

El trazado de rayos sería el siguiente:




b) Si la imagen es ampliada invertida, es porque el objeto está a una distancia de la lente mayor que la focal y menor que el doble de la focal. Escribimos para este caso la ecuación fundamental de las lentes delgadas y la que liga el aumento del sistema con las posiciones del objeto y de la imagen:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$$

Ahora el aumento será negativo, puesto que la imagen es invertida.

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \rightarrow -2 = \frac{s'}{s} \rightarrow -2 \cdot s = s'$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\rightarrow\frac{1}{-2\cdot s}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\rightarrow\frac{-1}{2\cdot s}-\frac{1}{s}=\frac{1}{20\text{ cm}}\rightarrow$$

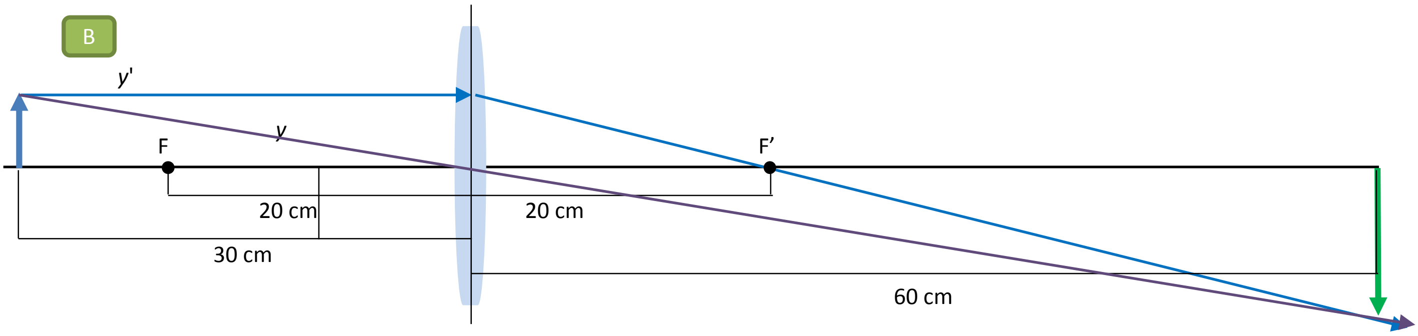
$$\rightarrow\frac{-1}{2\cdot s}-\frac{2}{2\cdot s}=\frac{1}{20\text{ cm}}\rightarrow\frac{-3}{2\cdot s}=\frac{1}{20\text{ cm}}\rightarrow s=-\frac{3\cdot 20\text{ cm}}{2}=-30\text{ cm}$$

Esta es la distancia del objeto a la lente. La distancia de la imagen a la lente es:

$$-2\cdot s=s'\rightarrow s'=-2\cdot(-30\text{ cm})=+60\text{ cm}$$

Es decir, la imagen está a la derecha de la lente en este caso.

El trazado de rayos sería el siguiente:




**34. Partiendo de un objeto de 5 cm de altura queremos obtener una imagen real y de 10 cm de alto.**

**a) ¿Cuál debe ser la posición del objeto si usamos un espejo cóncavo de $R = 30$ cm?**

**b) ¿Cuál deberá ser la posición del objeto si usamos una lente convergente con la misma focal que el espejo?**

**c) Elabora los esquemas correspondientes.**

a) Si la imagen es real y de mayor tamaño, el objeto debe estar entre el centro de curvatura y el foco del espejo. Utilizamos la ecuación general del espejo esférico:

$$\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{f}\rightarrow\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{R/2}$$

La imagen es real e invertida. La ecuación que nos proporciona el aumento en un espejo es:

$$\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}\rightarrow\frac{-10\text{ cm}}{5\text{ cm}}=-\frac{s'}{s}\rightarrow s'=+\frac{10\text{ cm}}{5\text{ cm}}\cdot s=2\cdot s$$

Sustituimos en la ecuación anterior:

$$\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{R/2}\rightarrow\frac{1}{2\cdot s}+\frac{1}{s}=\frac{1}{-30\text{ cm}/2}\rightarrow\frac{1}{2\cdot s}+\frac{2}{2\cdot s}=\frac{1}{-15\text{ cm}}\rightarrow$$

$$\rightarrow\frac{3}{2\cdot s}=\frac{1}{-15\text{ cm}}\rightarrow s=\frac{-3\cdot 15\text{ cm}}{2}=-22{,}5\text{ cm}$$

Posición de la imagen:

$$s'=2\cdot s=2\cdot(-22{,}5\text{ cm})=-45\text{ cm}$$

b) Si usamos una lente con la misma focal, utilizamos la ecuación general de las lentes delgadas:

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}$$

Si la imagen es real y mayor que el objeto, debe ser una imagen invertida. La ecuación que nos proporciona el aumento en una lente es:

$$\frac{y'}{y}=\frac{s'}{s}\rightarrow\frac{-10\text{ cm}}{5\text{ cm}}=\frac{s'}{s}\rightarrow s'=-\frac{10\text{ cm}}{5\text{ cm}}\cdot s=-2\cdot s$$

Sustituimos en la ecuación anterior:

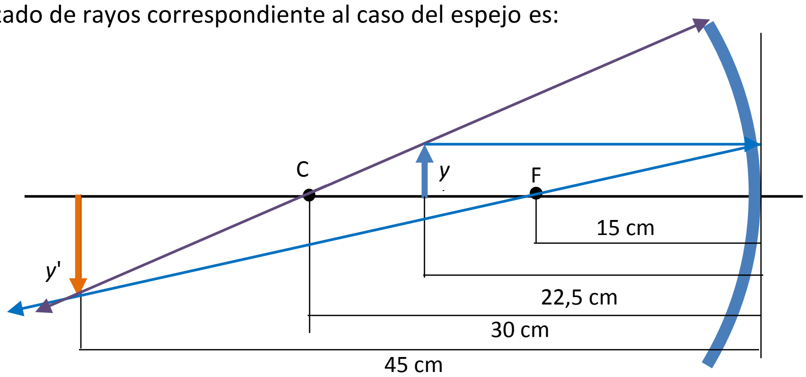
$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\rightarrow\frac{1}{-2\cdot s}-\frac{1}{s}=\frac{1}{15\text{ cm}}\rightarrow\frac{-1}{2\cdot s}-\frac{2}{2\cdot s}=\frac{1}{15\text{ cm}}\rightarrow$$

$$\rightarrow\frac{-3}{2\cdot s}=\frac{1}{15\text{ cm}}\rightarrow s=\frac{-3\cdot 15\text{ cm}}{2}=-22{,}5\text{ cm}$$

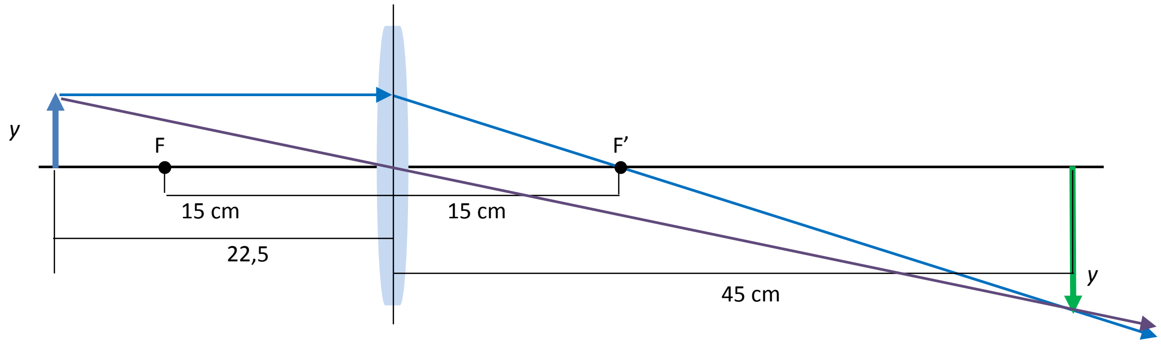
Posición de la imagen:

$$s'=-2\cdot s=-2\cdot(-22{,}5\text{ cm})=+45\text{ cm}$$

c) El trazado de rayos correspondiente al caso del espejo es:




Y el trazado de rayos correspondiente al caso de la lente es:

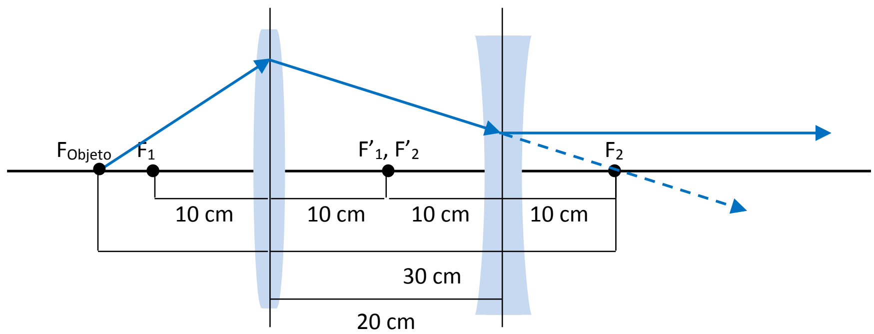



**35. Un sistema óptico está formado por dos lentes separadas 20 cm; una convergente, con una focal de 10 cm, y otra divergente, con una focal de –10 cm.**

**a) Determina gráficamente el foco objeto y el foco imagen del sistema.**

**b) Calcula dónde está el foco imagen del sistema.**

a) Los rayos que parten del foco objeto, por definición, salen del sistema de lentes paralelos al eje óptico. El rayo que sale paralelo de la segunda lente, la lente divergente, tenía la dirección del foco de esta lente.

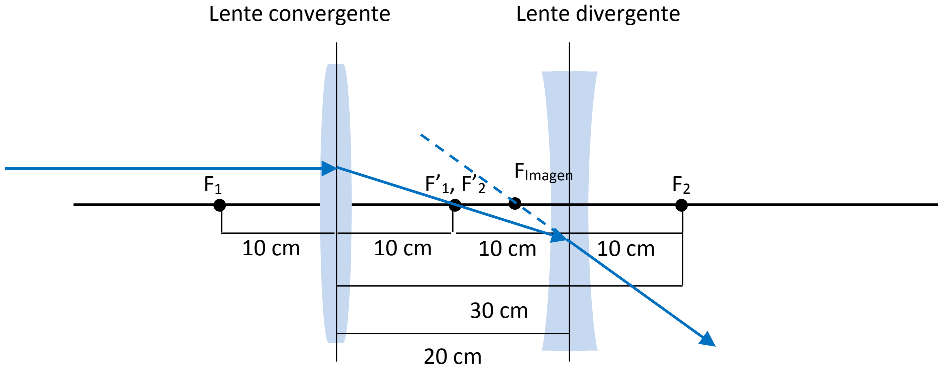


Este rayo, según se observa en el dibujo, de no existir la lente divergente, habría cortado al eje óptico en el punto donde está $F_2$, es decir, a una distancia de 30 cm de la lente convergente. Calculemos entonces usando la ecuación de las lentes delgadas de dónde viene dicho rayo.

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'_1}\rightarrow\frac{1}{30\text{ cm}}-\frac{1}{s}=\frac{1}{10\text{ cm}}\rightarrow\frac{1}{s}=\frac{1}{30\text{ cm}}-\frac{1}{10\text{ cm}}\rightarrow s=-15\text{ cm}$$

Es decir, el foco objeto está situado a 15 cm a la izquierda de la lente convergente.

Veamos ahora dónde está situado el foco imagen. El foco imagen es el punto al que llegan los rayos que entran paralelos al eje óptico después de atravesar el sistema formado por ambas lentes.




El rayo que incide paralelo en la lente divergente pasará por el foco imagen de la lente convergente y a continuación llegará hasta la lente divergente. De ahí saldrá siguiendo una dirección cuya prolongación cortará al eje óptico en el foco imagen, tal y como se muestra en el esquema.

b) Podemos calcular dónde está situado este foco imagen con la ecuación fundamental de las lentes delgadas aplicada a la lente divergente, pues sabemos que este rayo procede de un punto situado a 10 cm de la lente divergente. Es decir:

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'_2}\rightarrow\frac{1}{s'}-\frac{1}{-10\text{ cm}}=\frac{1}{-10\text{ cm}}\rightarrow\frac{1}{s'}=\frac{-1}{10\text{ cm}}-\frac{1}{10\text{ cm}}\rightarrow s'=-5\text{ cm}$$

Es decir, el foco imagen del sistema está situado a 5 cm a la izquierda de la lente divergente.

**36. El robot *Curiosity* utiliza una cámara para fotografiar el suelo de Marte. La focal de la lente es 18,3 mm:**

**a) ¿Cuál es la potencia de la lente?**

**b) ¿Dónde se formará la imagen de un objeto situado a 10 cm de la cámara?**

a) La potencia de la lente es la inversa de la distancia focal. Por tanto:

$$P=\frac{1}{f'}=\frac{1}{18{,}3\cdot 10^{-3}\text{ m}}=54{,}6\text{ D}$$

b) Utilizamos la ecuación fundamental de las lentes delgadas:

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\rightarrow\frac{1}{s'}-\frac{1}{-10\text{ cm}}=\frac{1}{1{,}83\text{ cm}}\rightarrow\frac{1}{s'}=\frac{1}{1{,}83\text{ cm}}-\frac{1}{10\text{ cm}}\rightarrow s'=2{,}24\text{ cm}$$

Por tanto, la imagen se formará a 2,24 cm a la derecha de la lente de la cámara.

**37. En un proyector la lente tiene una distancia focal de 0,44 cm. A una distancia de 0,45 cm de la lente se coloca un objeto de 6 cm de altura. Calcula:**

**a) La distancia a la que hay que situar la pantalla para observar nítida la imagen del objeto.**

**b) El tamaño mínimo de la pantalla para que se proyecte entera la imagen del objeto.**

a) Para que la imagen esté nítida, la imagen debe formarse sobre la pantalla, es decir, a una distancia *s'*:

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\rightarrow\frac{1}{s'}-\frac{1}{-0{,}45\text{ cm}}=\frac{1}{0{,}44\text{ cm}}\rightarrow\frac{1}{s'}=\frac{1}{0{,}44\text{ cm}}-\frac{1}{0{,}45\text{ cm}}\rightarrow s'=19{,}8\text{ cm}$$

b) El tamaño mínimo de la pantalla será igual al tamaño de la imagen formada. Para calcular el tamaño de la imagen utilizamos la expresión del aumento lateral:

$$\frac{y'}{y}=\frac{s'}{s}\rightarrow y'=\frac{s'}{s}\cdot y=\frac{19{,}8\text{ cm}}{-0{,}45\text{ cm}}\cdot 6\text{ cm}=-264\text{ cm}$$

264 cm es el tamaño de la imagen, que está invertida. Por tanto, el tamaño mínimo de la pantalla será de 2,64 m.

**38. Define punto próximo y punto remoto para el ojo humano. Señala su relación con la miopía y la hipermetropía.**

El punto próximo es aquel punto más cercano al ojo para el cual este puede enfocar perfectamente y formar la imagen correspondiente sobre la retina.

El punto remoto es aquel punto más lejano al ojo para el cual el ojo puede enfocar perfectamente y formar la imagen correspondiente en la retina.

En una persona miope el ojo no enfoca bien los objetos lejanos, lo que quiere decir que el punto remoto estará más cerca del ojo que para una persona normal. Por el contrario, una persona miope enfocará mejor los objetos cercanos, y entonces para ella el punto próximo estará también más cerca del ojo de lo normal.

Para una persona que sufre hipermetropía, el ojo no enfoca bien los objetos cercanos, por lo que el punto próximo estará más alejado de lo normal. Pero enfoca mejor a grandes distancias, por lo que el punto remoto estará situado también más lejos de lo normal.

En definitiva, una persona miope verá mejor de cerca que una persona sana y una persona con hipermetropía verá mejor de lejos que una persona sana.

**39. Explica en qué consisten la hipermetropía y la miopía.**

**a) ¿Con qué tipos de lentes se corrigen?**

**b) ¿Qué defecto es más incómodo para un relojero? ¿Y para un pastor?**

a) La hipermetropía es un defecto de la visión que impide enfocar correctamente los objetos cercanos. Se debe a una deformación del globo ocular que hace que las imágenes de objetos cercanos se formen detrás de la retina. Se corrige con lentes convergentes

La miopía es un defecto de la visión que impide enfocar correctamente los objetos lejanos. Se debe a una deformación del globo ocular que hace que las imágenes de objetos cercanos se formen delante de la retina. Se corrige con lentes divergentes.

b) Para un relojero es más incómoda la hipermetropía, pues debe trabajar con objetos situados muy cerca de él. Para un pastor es más incómoda la miopía, pues no verá bien a grandes distancias y no podrá vigilar adecuadamente a los miembros de su rebaño.

**40. Considera el cristalino del ojo humano como una lente y utiliza 25 mm como diámetro del globo ocular. Calcula con estos datos la distancia focal del cristalino y su potencia cuando lees un cartel desde 55 cm de distancia.**

Aplicamos la ecuación fundamental de las lentes delgadas al cristalino. En este caso la imagen se forma sobre la retina, a 25 mm de la lente, el cristalino, que actúa como una lente convergente.

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\rightarrow\frac{1}{2{,}5\text{ cm}}-\frac{1}{-55\text{ cm}}=\frac{1}{f'}\rightarrow f'=2{,}39\text{ cm}$$

La potencia se calcula a partir de la distancia focal.

$$P=\frac{1}{f'}=\frac{1}{2{,}39\cdot 10^{-2}\text{ m}}=41{,}8\text{ D}$$

**41.** **Las lentes de una persona miope tienen –5 D de potencia. Calcula la distancia focal imagen de la lente y halla la posición de la imagen virtual vista a través de la lente de un objeto situado a 1,5 m de la lente.**

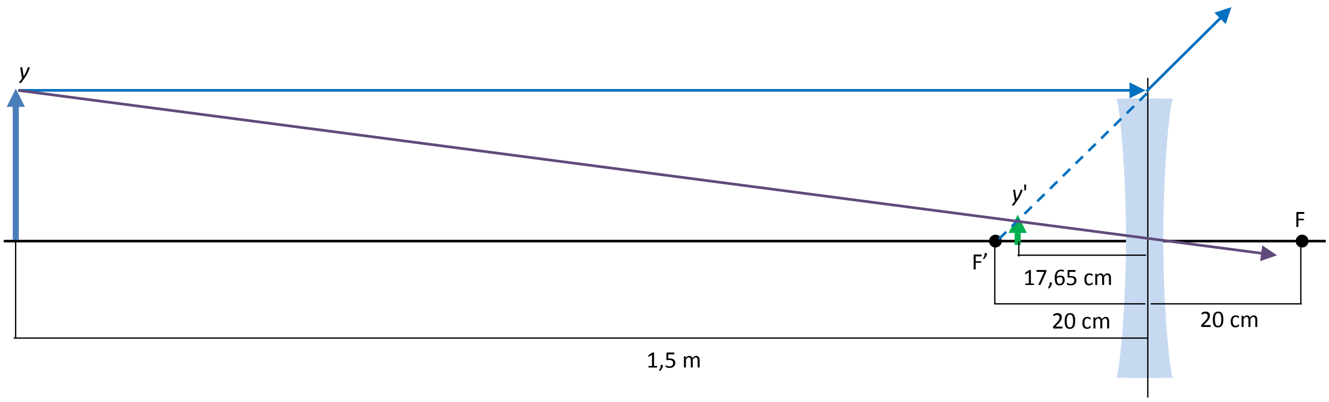
La potencia de la lente es la inversa de la distancia focal. Por tanto:

$$P = \frac{1}{f'} \rightarrow f' = \frac{1}{P} = \frac{1}{-5\,\text{D}} = -0{,}2\,\text{m} = -20\text{ cm}$$

Para calcular la posición de la imagen de un objeto situado a 1,5 m de la lente utilizamos la ecuación de las lentes delgadas:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{s'} - \frac{1}{-150\text{ cm}} = \frac{1}{-20\,\text{cm}} \rightarrow \frac{1}{s'} = \frac{1}{-20\,\text{cm}} - \frac{1}{150\text{ cm}} \rightarrow s' = -17{,}65\text{ cm}$$

El trazado de rayos sería este:




## FÍSICA EN TU VIDA

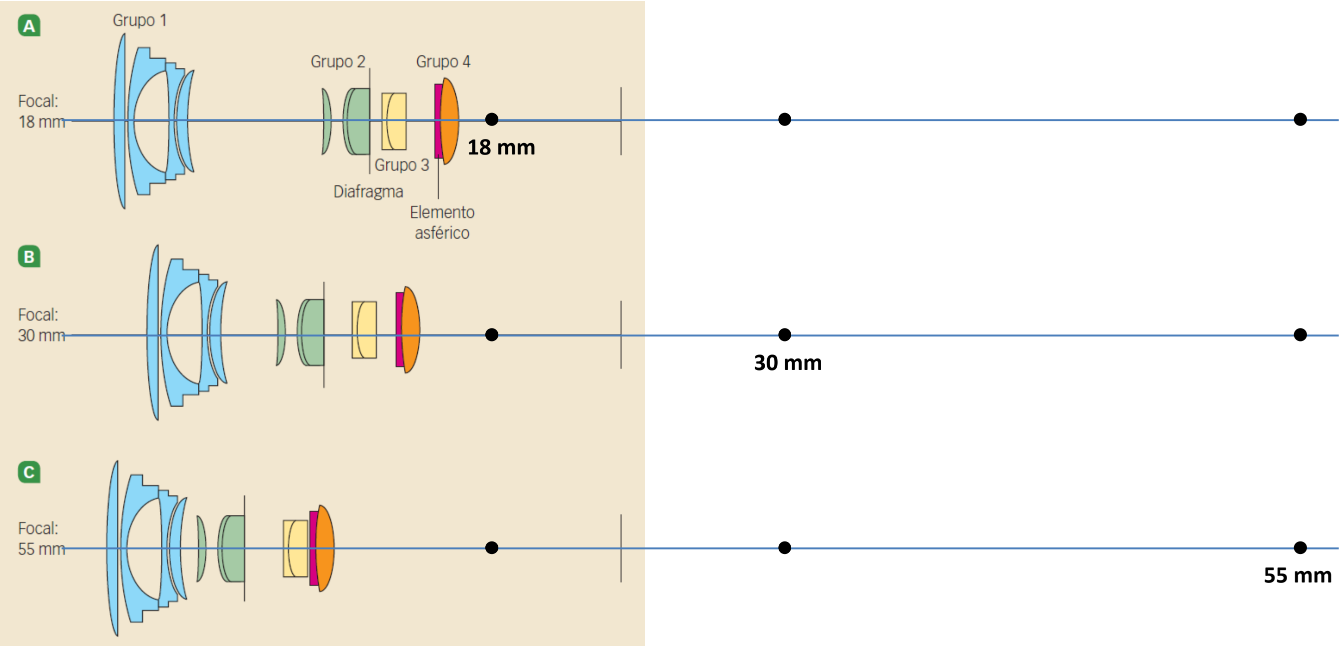
**1.** **¿Cuántas lentes forman parte del objetivo representado? ¿De qué tipo son?**

En este objetivo representado hay 11 lentes en total. Las hay de diversos tipos. Algunas tienen una cara plana y otra curva; otras tienen ambas caras curvas…

**2.** **¿Pueden moverse todas las lentes de manera individual? Elabora un esquema dibujando los focos del sistema óptico para cada zoom representado.**

No. En el objetivo las lentes se distribuyen en grupos. Los grupos sí pueden moverse entre sí, pero las lentes no pueden moverse unas respecto a otras dentro de un grupo.

Para el zoom donde la focal es 18 mm el foco se sitúa más cerca del conjunto de lentes. Para la focal de 50 mm el foco se sitúa más alejado. Así se consiguen más aumentos, aunque el campo de visión es menor.




**3. Algunos elementos del sistema óptico se emplean para disminuir aberraciones. Explícalo.**

Las aberraciones hacen que, por ejemplo, no todos los colores se enfoquen en el mismo punto. Esto ocurre cuando llegan al sistema óptico rayos que se alejan del eje óptico. Para reducir en la medida de lo posible este hecho, se diseñan lentes teniendo en cuenta el índice de refracción para cada color, por ejemplo, de manera que compensen en cierta medida esta aberración óptica.

El efecto no se elimina por completo, algo que podemos comprobar si aumentamos con mucho zoom una fotografía digital y observamos las zonas límite entre áreas claras y oscuras de la imagen, pero al menos se logra reducir el efecto lo suficiente como para no apreciarlo al contemplar las imágenes con una ampliación no demasiado elevada. Los objetivos que emplean los fotógrafos profesionales son mucho más caros que los convencionales, entre otros motivos, porque en su diseño se tienen muy en cuenta todas las posibles aberraciones y se emplean diseños que recogen la forma de las lentes y el material adecuado para compensar estas aberraciones.