

4.3 Lentes delgadas

Denominamos **lente** a un medio de material transparente a la luz, como vidrio o plástico, limitado por dos caras que son partes de superficies esféricas o parte de una superficie esférica y un plano.

Hay distintas clases de lentes, según la forma que presente cada cara: cóncava, convexa o plana [fig. 9.21].

Este conjunto de lentes se clasifica en dos grupos: **lentes convergentes**, que hacen convergir los rayos luminosos que les llegan, y **lentes divergentes**, que los hacen divergir.

Cuando las lentes tienen poco grosor, se denominan *lentes delgadas*, que son las que trataremos a partir de ahora. Para éstas, según sean convergentes o divergentes, utilizamos los símbolos que se muestran en la figura.

Elementos de las lentes delgadas

Los elementos de las lentes delgadas son [fig. 9.22]:

- Eje óptico.** Es el eje de simetría de la lente y se representa con trazos.
- Centro óptico, O.** Es el punto en el que el eje óptico corta la lente.
- Foco objeto, F.** Es el punto del eje óptico que cumple la propiedad por la cual los rayos que pasan por él (lentes convergentes) o que pasarían por él (lentes divergentes) salen de la lente paralelos al eje [fig. 9.23].
- Foco imagen F'.** Es el punto del eje óptico que cumple la propiedad por la cual los rayos que llegan a la lente paralelos al eje salen de la lente pasando por él (lente convergente) o como si hubieran pasado por él (lente divergente). En una lente convergente, F está situado a la izquierda de la lente, y F', a la derecha. En una lente divergente están situados al revés.
- Distancia focal objeto, f, y distancia focal imagen, f'.** Son las distancias correspondientes a los segmentos FO y F'O. Para lentes delgadas, se cumple que $f = f'$, y por eso ambas se denominan *distancia focal*.
- Distancia objeto, s, y distancia imagen, s'.** Son las distancias que separan de la lente el objeto y la imagen.

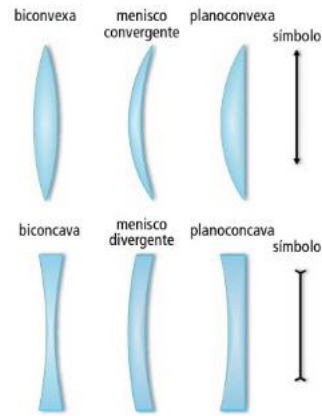


Fig. 9.21 Tipos de lentes convergentes y divergentes, y sus respectivos símbolos de lente delgada.

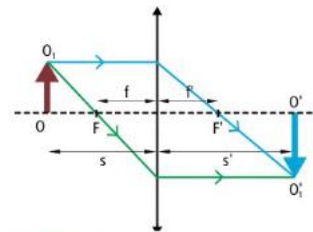
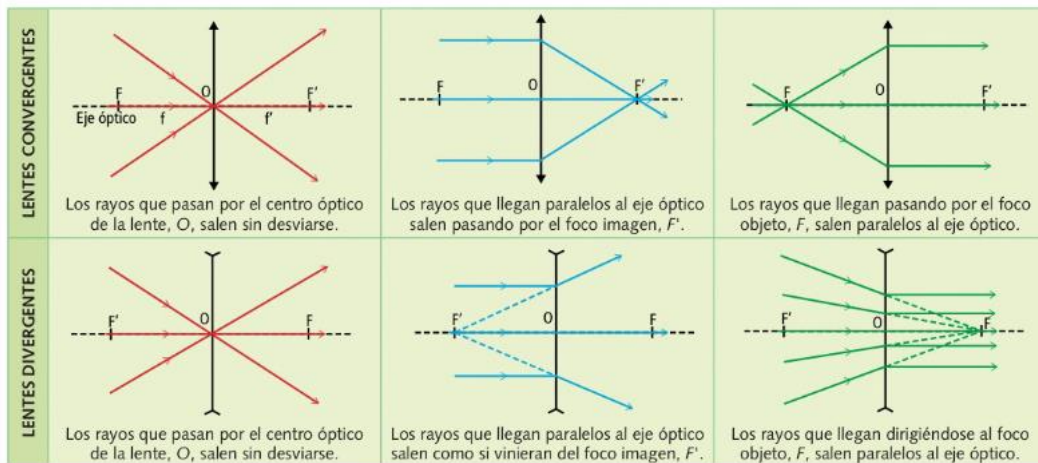


Fig. 9.22 Elementos de las lentes delgadas.

Fig. 9.23 Comportamiento de los focos y del centro óptico de las lentes convergentes y divergentes.



Convenio de signos para las lentes delgadas:

- El origen de coordenadas es el centro óptico, O , y el eje OX es el eje óptico.
- Son negativas las distancias de los puntos situados a la izquierda de la lente.
- Son positivas las distancias de puntos situados a la derecha de la lente.
- Para las lentes convergentes, $f' > 0$, y para las divergentes, $f' < 0$.
- Son positivas las alturas de objetos e imágenes que se hallan por encima del eje óptico, y negativas las de los situados por debajo de éste.

Ecuación de las lentes delgadas

La **ecuación de las lentes delgadas** relaciona las distancias del objeto y de la imagen a la lente, s y s' , con la distancia focal imagen, f' , de la lente [fig. 9.24]:

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

donde cada distancia tendrá el signo correspondiente según el convenio utilizado.

Potencia de las lentes delgadas

Se denomina **potencia de una lente** la inversa de la distancia focal imagen expresada en metros (se mide en *dioptrías*, D).

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

Es positiva para las lentes convergentes y negativa para las divergentes.

Una lente de -2 dioptrías, por ejemplo, es una lente divergente que tiene una distancia focal imagen $f' = -0,5$ m porque:

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

Aumento lateral de las lentes delgadas

En las lentes delgadas, el aumento lateral relaciona las alturas del objeto y de la imagen, y e y' , con las distancias objeto e imagen, s y s' :

$$A_t = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$$

Imágenes reales y virtuales en las lentes

- Las **imágenes reales** reúnen estas dos condiciones [fig. 9.25]:
 - Se forman a la derecha de la lente, donde los rayos se cortan después de refractarse.
 - No las podemos ver directamente con los ojos, pero se pueden proyectar en una pantalla situada a la derecha de la lente.
- Las **imágenes virtuales** reúnen estas dos condiciones [fig. 9.26]:
 - Se forman a la izquierda de la lente, donde se cortan las prolongaciones de los rayos que se han refractado.
 - Las vemos directamente con los ojos, aunque no existen, y no se pueden proyectar en una pantalla.

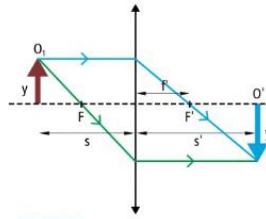


Fig. 9.24 Distancia objeto, imagen, focal y alturas.



Fig. 9.25 Los proyectores de video o diapositivas forman sobre la pantalla una imagen real.



Fig. 9.26 La imagen que forma esta lente es virtual, ya que la vemos directamente con nuestros ojos.

4.4 Cómo determinar las características de las imágenes de lentes delgadas

I. Situamos un objeto de 4 cm de altura frente a una lente delgada convergente de 20 cm de distancia focal. Determina la posición, el tamaño y las características de la imagen en los siguientes casos:

a) El objeto se halla a 30 cm de la lente.

Sustituimos los datos expresados en metros, teniendo en cuenta los signos respectivos:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{-0,3 \text{ m}} = \frac{1}{0,2 \text{ m}} \Rightarrow \frac{1}{s'} = \frac{1}{0,2 \text{ m}} - \frac{1}{0,3 \text{ m}} \Rightarrow s' = 0,6 \text{ m} = 60 \text{ cm}$$

La imagen está situada a la derecha de la lente y, por tanto, es real.

$$A_L = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} = \frac{0,6 \text{ m}}{-0,3 \text{ m}} = -2 \Rightarrow y' = y \cdot A_L = 0,04 \cdot (-2) = -0,08 \text{ m} = -8 \text{ cm}$$

La imagen es invertida y su altura es el doble que la del objeto ($|s| > |f|$).

b) El objeto se halla a 15 cm de la lente.

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{-0,15 \text{ m}} = \frac{1}{0,2 \text{ m}} \Rightarrow \frac{1}{s'} = \frac{1}{0,2 \text{ m}} - \frac{1}{0,15 \text{ m}} \Rightarrow s' = 0,6 \text{ m} = 60 \text{ cm}$$

La imagen se halla a la izquierda de la lente y, por eso, es virtual.

$$A_L = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \Rightarrow y' = y \cdot \frac{s'}{s} = 0,04 \text{ m} \cdot \frac{-0,6 \text{ m}}{-0,3 \text{ m}} = 0,08 \text{ m} = 8 \text{ cm}$$

La imagen es derecha y de doble altura que el objeto ($|s| < |f|$).

II. Un objeto de 15 cm de altura está situado a una distancia de 12 cm delante de una lente divergente de 10 cm de distancia focal. Determina la posición, la altura y las características de la imagen.

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{-0,12 \text{ m}} = \frac{1}{-0,1 \text{ m}} \Rightarrow s' = -\frac{0,12}{2,2} = -0,055 \text{ m} = -5,5 \text{ cm}$$

La imagen está en el lado izquierdo de la lente, luego es virtual.

$$A_L = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} = \frac{-5,5 \text{ cm}}{-12 \text{ cm}} = 0,46 \text{ m} \Rightarrow y' = y \cdot A_L = 15 \text{ cm} \cdot 0,46 = 7 \text{ cm}$$

La imagen es derecha y menor que el objeto.

III. Tenemos un sistema de dos lentes delgadas iguales, de 20 cm de distancia focal y separadas una distancia de 60 cm. Colocamos un objeto de 5 cm de altura a 50 cm de la primera lente. Determina gráficamente y numéricamente la posición y el tamaño de la imagen formada por el sistema.

La imagen dada por la primera lente hace de objeto para la segunda lente. Para conocer el aumento total se multiplican los aumentos de ambas lentes.

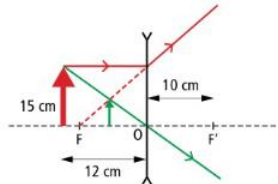
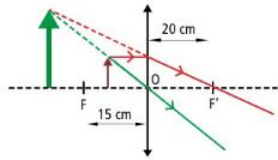
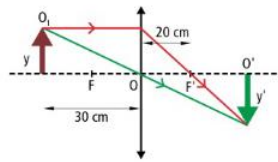
$$1.^{\text{a}} \text{ lente: } \frac{1}{s'_1} - \frac{1}{-50 \text{ cm}} = \frac{1}{20 \text{ cm}} \Rightarrow s'_1 = 33,3 \text{ cm}$$

$$s_2 = 60 \text{ cm} - 33,3 \text{ cm} = 26,7 \text{ cm}$$

$$2.^{\text{a}} \text{ lente: } \frac{1}{s'_2} - \frac{1}{-26,7 \text{ cm}} = \frac{1}{20 \text{ cm}} \Rightarrow s'_2 = 79,7 \text{ cm}$$

$$A_L = \frac{79,7 \text{ cm}}{-26,7 \text{ cm}} \cdot \frac{33,3 \text{ cm}}{-50 \text{ cm}} = -2,654 \text{ cm} = 1,99$$

$$y'' = 5 \text{ cm} \cdot 1,99 = 9,95 \text{ cm}$$



Actividades

6. Situamos un objeto de 6 cm de altura frente a una lente de 4 dioptrías. Determina la posición, el tamaño y la naturaleza de la imagen, y comprueba gráficamente los resultados en los casos siguientes:

- a) El objeto se halla a 30 cm de la lente.
- b) El objeto se halla a 15 cm de la lente.

7. Situamos un objeto de 3 cm de altura frente a una lente de 5 dioptrías.

- a) Explica de qué tipo de lente se trata y calcula su distancia focal.
- b) Determina la posición y el tamaño de la imagen si el objeto está a 40 cm y a 10 cm de la lente.
- c) Explica si es real o virtual, derecha o invertida, mayor o menor que el objeto.

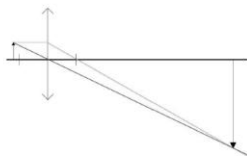
Comprueba gráficamente los resultados.

6. $P = 4D$ quiere decir que la distancia focal es $f = 1/P = 25 \text{ cm}$.

a) $s = -30 \text{ cm}$. La posición de la imagen es

$$s' = \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{f} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{-30} + \frac{1}{25} \right)^{-1} = 150 \text{ cm}$$

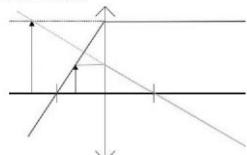
Su tamaño es $y' = y \cdot s'/s = 6 \cdot (150/(-30)) = -30 \text{ cm}$. La imagen es invertida y mayor que el objeto. Dado que el objeto está más lejos que el punto focal, la imagen es real.



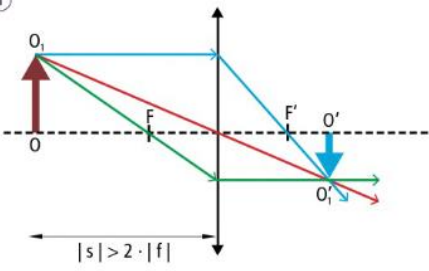
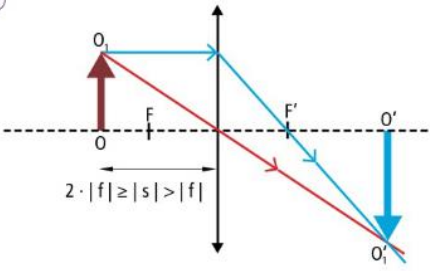
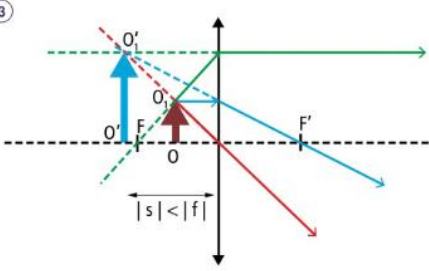
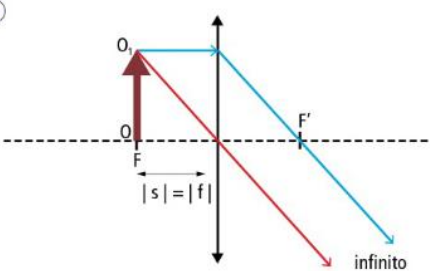
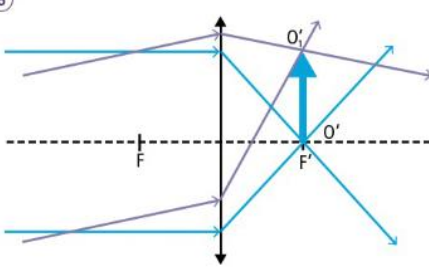
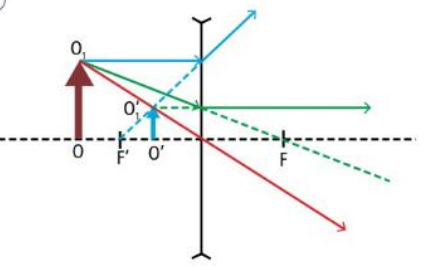
b) $s = -15 \text{ cm}$. La posición de la imagen es

$$s' = \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{f} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{-15} + \frac{1}{25} \right)^{-1} = -37,5 \text{ cm}$$

Su tamaño es $y' = y \cdot s'/s = 6 \cdot (-37,5/(-15)) = 15 \text{ cm}$. La imagen es derecha y mayor que el objeto. Dado que el objeto está más cerca que el punto focal, la imagen es virtual.



REPRESENTACIÓN GRÁFICA POR MEDIO DE MARCHA DE RAYOS.
CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES DADAS POR LAS LENTES

Lente convergente	Lente convergente
Objeto situado a la izquierda del foco: $ s > 2 \cdot f $	Objeto situado a la izquierda del foco: $2 \cdot f \geq s > f $
<p>①</p>  <p>$s > 2 \cdot f$</p>	<p>②</p>  <p>$2 \cdot f \geq s > f$</p>
La imagen es real, invertida y menor que el objeto.	La imagen es real, invertida y mayor que el objeto.
Lente convergente	Lente convergente
Objeto situado entre el foco y la lente: $ s < f $	Objeto situado sobre el foco: $ s = f $
<p>③</p>  <p>$s < f$</p>	<p>④</p>  <p>infinito</p>
La imagen es virtual, derecha y mayor que el objeto.	La imagen se halla en el infinito, porque los rayos salen paralelos.
Lente convergente	Lente divergente
Objeto muy lejano: $s = -\infty$	Objeto situado frente a la lente.
<p>⑤</p> 	<p>⑥</p> 
La imagen se forma sobre el foco imagen porque los rayos llegan paralelos desde el infinito.	La imagen siempre es virtual, derecha y menor que el objeto.