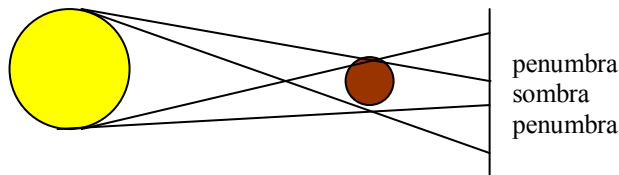


Tema 4: ÓPTICA GEOMÉTRICA

Estudia la propagación de la luz de una forma puramente geométrica, sin tener en cuenta la naturaleza ondulatoria o corpuscular de la misma. Hace uso del concepto de *rayo*, línea que representa la dirección de propagación de la energía luminosa.

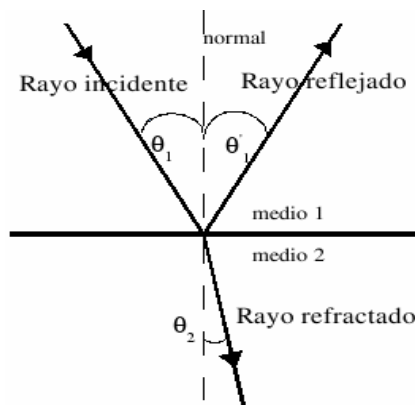
Se apoya en las siguientes leyes:

1. Ley de propagación rectilínea de la luz: “En un medio homogéneo e isotrópico, la luz se propaga en línea recta”. Tiene su base experimental en la formación de sombras y penumbras. Los objetos expuestos a focos luminosos puntuales producen sombras, mientras que los focos luminosos extensos producen sombras y penumbras. Un ejemplo de este último caso es el eclipse Sol



2. Leyes de reflexión y refracción:

- Los rayos incidente, reflejado y refractado están contenidos en el plano normal a la superficie de separación de los dos medios.
- El ángulo de incidencia es igual al de reflexión, $\theta_1 = \theta_1'$
- El ángulo de incidencia y el de refracción están relacionados por la ley de Snell:
 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$, donde n es el índice de refracción de la luz en cada medio ($n = c/v$)

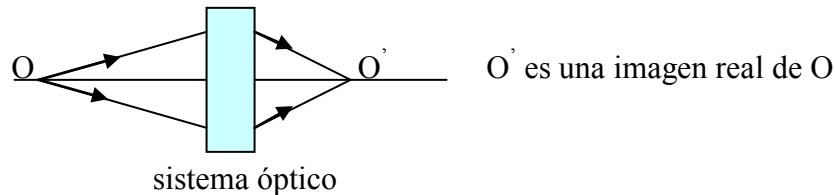


3. Ley de reciprocidad: Indica la reversibilidad de los rayos luminosos. Si un rayo recorre el camino ABCD, también sería posible el camino DCBA.

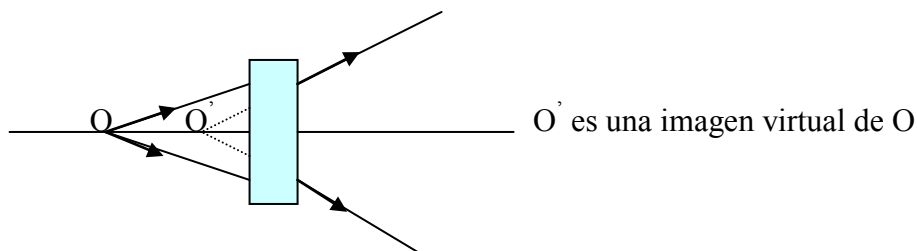


Conceptos básicos

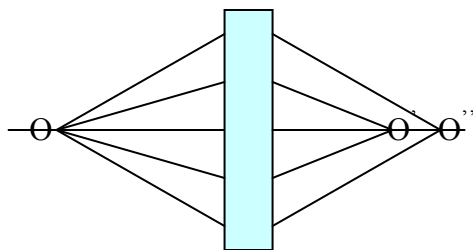
- Sistema óptico: conjunto de superficies que separan medios con distinto índice de refracción.
- Objeto: fuente de la que proceden los rayos luminosos propios o reflejados.
- Imagen: figura formada por el conjunto de puntos donde convergen los rayos luminosos (o sus prolongaciones) después de interactuar con el sistema óptico. Puede ser real o virtual.
La imagen es real cuando los rayos convergen después de reflejarse o refractarse en el sistema óptico. Estas imágenes pueden recogerse en una pantalla o registro fotográfico.



La imagen es virtual si los rayos divergen después de su interacción con el sistema. Sus prolongaciones son las que forman la imagen. Puesto que los rayos no pasan en realidad a través de la imagen, una pantalla colocada donde se forma la imagen no la detectaría

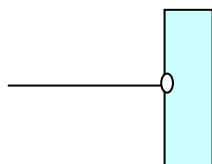


- Sistema estigmático: un sistema óptico es estigmático cuando a cada punto objeto le corresponde un único punto imagen. Los sistemas no suelen ser estigmáticos en general, salvo para rayos muy próximos al eje óptico (eje de simetría del sistema) que se denominan rayos paraaxiales.

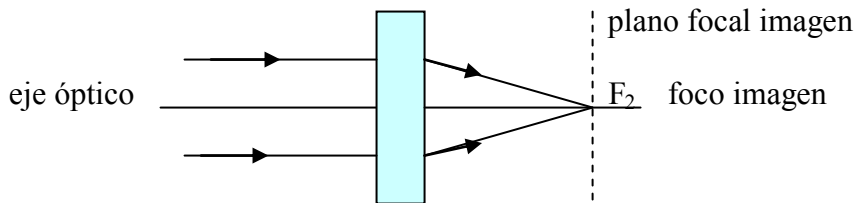


sistema no estigmático (astigmático)

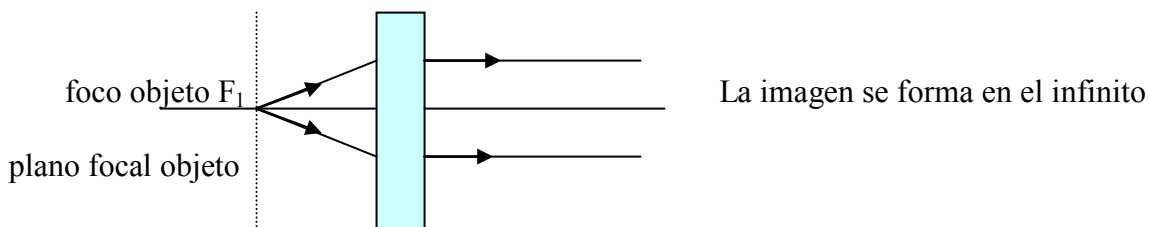
- Vértice: punto de corte de una superficie con el eje óptico.



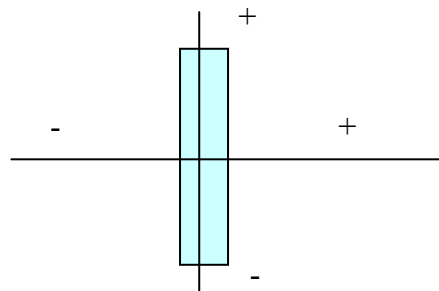
- Foco imagen: punto donde se cortan los rayos (o sus prolongaciones) procedentes del infinito después de interactuar con el sistema. Si el objeto está en el infinito, todos los rayos procedentes de él llegan paralelos al eje óptico.



- Foco objeto: punto del que proceden los rayos que salen paralelos al eje óptico después de interactuar con el sistema.



- Distancias focales f_1 y f_2 : distancia de cada foco al vértice.
- Distancias objeto e imagen s_1 y s_2 : distancias respectivas del objeto y de la imagen al vértice.
- Criterio de signos: por convenio las distancias se toman positivas a la derecha del sistema óptico y por encima del eje óptico y negativas a la izquierda y por debajo.



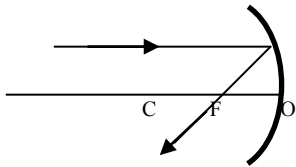
- Construcción gráfica de la imagen. Se trazan al menos dos de los siguientes rayos:
 - Un rayo que partiendo del objeto llegue, paralelo al eje óptico, al sistema. Pasará después por el foco imagen.
 - Un rayo procedente del foco objeto sale paralelo al eje óptico después de interactuar con el sistema.
 - Un rayo que incide perpendicularmente en el sistema óptico no desvía su dirección. En superficies curvas pasará por el centro de curvatura.

Espejos

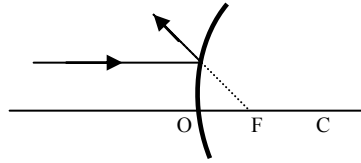
Superficies opacas y pulimentadas que reflejan la mayor parte de la luz que incide sobre ellos. Se cumple la ley de reflexión (ángulo de incidencia igual a ángulo de reflexión).

Esféricos: se consideran sistemas estigmáticos sólo para rayos paraaxiales. En otro caso es un sistema astigmático que presenta aberración esférica.

- Coinciden las posiciones de los focos objeto e imagen.
- La distancia focal es $f = r/2$ donde r es el radio de curvatura.
- Pueden ser cóncavos ($r < 0$) o convexos ($r > 0$).



Cóncavo $r = OC < 0$



Convexo $r = OC > 0$

- Ecuación fundamental: $\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} = \frac{1}{f}$
- Aumento lateral: $\frac{y_2}{y_1} = -\frac{s_2}{s_1}$

Ejercicio 1. Comprobar, mediante construcción gráfica, la siguiente tabla en la que se indican las características de la imagen según la posición del objeto y del tipo de espejo. Se debe tener en cuenta que, según el criterio de signos, las posiciones del objeto a la izquierda del espejo son negativas.

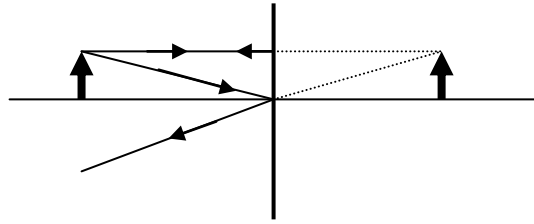
Tipo de espejo	Posición del objeto	Características de la imagen
Esférico cóncavo	$s_1 < r$	Real, invertida, menor
	$s_1 = r$	Real, invertida, igual
	$r < s_1 < f$	Real, invertida, mayor
	$s_1 = f$	No se forma imagen nítida
	$s_1 > f$	Virtual, derecha, mayor
Esférico convexo	Cualquiera	Virtual, derecha, menor

- La aberración esférica se atenúa aumentando el radio de curvatura y desaparece para espejos parabólicos.
- Se utilizan espejos cóncavos en telescopios, faros de coches, baños, etc. y convexos en cruces de calles, retrovisores panorámicos, supermercados, etc.

Ejercicio 2. Un objeto de 15 cm de altura está a 20 cm de un espejo convexo de 80 cm de radio. Determina la posición y tamaño de la imagen.

Planos: podemos utilizar las mismas ecuaciones que en los esféricos, considerando un radio de curvatura infinito, por lo que el foco está también en el infinito ($f \rightarrow \infty$).

- Ecuación fundamental: $s_1 = -s_2$
- Aumento lateral: $y_2 = y_1$



- La imagen es virtual, del mismo tamaño y derecha, cualquiera que sea la posición del objeto.
- Los espejos planos presentan inversión lateral (derecha- izquierda).

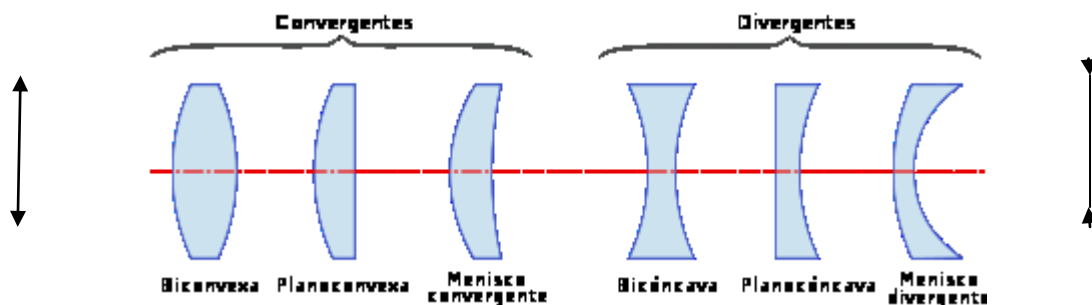
Lentes delgadas

Una lente es un sistema óptico formado por dos superficies refractoras, de las que al menos una está curvada. Si su grosor es despreciable frente al radio de curvatura y a las distancias objeto e imagen, se llama lente delgada.

Se dividen en:

Convexas o convergentes: son más gruesas por su parte central y hacen converger los rayos que las atraviesan (siempre que el índice de refracción de la lente sea mayor que el del medio que la rodea).

Cóncavas o divergentes: son más delgadas por su parte central, lo que provoca la divergencia de los rayos que las atraviesan.



- La distancia focal se obtiene de los radios de curvatura y del índice de refracción (ecuación del fabricante de lentes):

$$\frac{1}{f_2} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

- Las distancias focales objeto e imagen cumplen: $f_1 = -f_2$
- Para lentes convergentes $f_1 < 0$ y $f_2 > 0$
- Para lentes divergentes $f_1 > 0$ y $f_2 < 0$
- Ecuación de las lentes delgadas: $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1}$
- Potencia de una lente: $P = \frac{1}{f_2}$ Se mide en dioptrías. Una dioptría es la potencia de una lente cuya distancia focal es 1 m. Es positiva para lentes convergentes y negativa para divergentes.
- Aumento lateral: $\frac{y_2}{y_1} = \frac{s_2}{s_1}$

Ejercicio 3. Mediante construcción gráfica comprobar el siguiente cuadro, donde se indican las características de la imagen según la posición del objeto y el tipo de lente.

<i>Tipo de lente</i>	<i>Posición del objeto</i>	<i>Características imagen</i>
<i>Convergente</i>	$-\infty < s_1 < 2f_1$	<i>Real, invertida, menor</i>
	$s_1 = 2f_1$	<i>Real, invertida, igual</i>
	$2f_1 < s_1 < f_1$	<i>Real, invertida, mayor</i>
	$s_1 = f_1$	<i>No se aprecia imagen nítida</i>
	$s_1 > f_1$	<i>Virtual, derecha, mayor</i>
<i>Divergente</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Virtual, derecha, menor</i>

- Se utilizan en todo tipo de instrumentos ópticos: cámaras, telescopios, microscopios, lupas, gafas,...

Ejercicio 4. Determina la distancia focal de una lente plano convexa ($r_1 = 20$ cm; $r_2 = \infty$) realizada con vidrio de índice de refracción 1,5.

Ejercicio 5. Determina la posición y el tamaño de la imagen de un objeto de 8 cm de altura que se encuentra a 32 cm de una lente convergente de 16 cm de distancia focal.

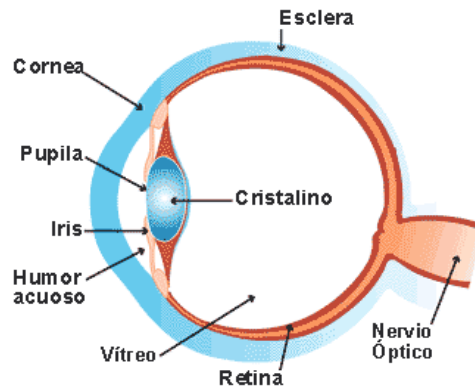
Ejercicio 6. Un objeto de 20 cm de altura se coloca a 1,2 m de una lente delgada. Calcula la potencia que debe tener la lente para obtener una imagen derecha y virtual de 0,5 m de altura. Construye el diagrama de rayos.

Ejercicio 7. Se coloca un objeto, de 10 cm de altura, a 30 cm de una lente de -2 D. Calcula las características de la imagen y construye el diagrama de rayos.

El ojo humano

Está constituido fundamentalmente por:

- **Córnea:** parte frontal y transparente (blanco de los ojos). Concentra los rayos hacia el eje óptico.
- **Iris:** disco pigmentado, responsable del color de los ojos. En su centro está la pupila que es el diafragma que controla la entrada de luz.
- **Cristalino:** es una lente convergente. Su elasticidad le confiere la capacidad de variar de forma para enfocar (acomodación).
- **Humor vítreo:** masa gelatinosa transparente que constituye la mayor parte de la masa ocular.
- **Retina:** es el receptor óptico. Formada por unos 125 millones de células sensibles llamadas conos y bastoncillos.

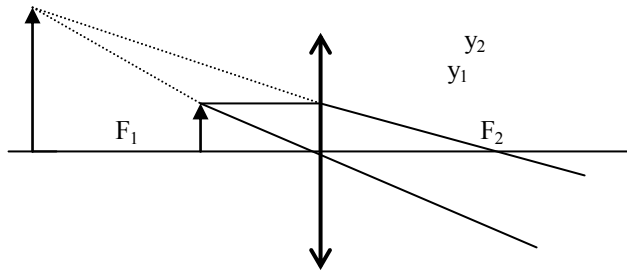


Defectos de la visión	Debido a	Consecuencias	Corrección
Miopía	Cristalino muy convergente. Alargamiento del globo ocular	La imagen de un objeto lejano se forma delante de la retina. No se ve bien de lejos por acercamiento del punto remoto	Lentes divergentes
Hipermetropía	Cristalino poco convergente. Acortamiento del globo ocular	La imagen de un objeto cercano se forma detrás de la retina. No se ve bien de cerca por alejamiento del punto próximo	Lentes convergentes
Presbicia (Vista cansada)	Pérdida de flexibilidad del cristalino	Pérdida de visión de objetos cercanos. Alejamiento del punto próximo	Lentes convergentes
Astigmatismo	Curvatura defectuosa de la córnea	Falta de enfoque. Doble imagen	Lentes cilíndricas

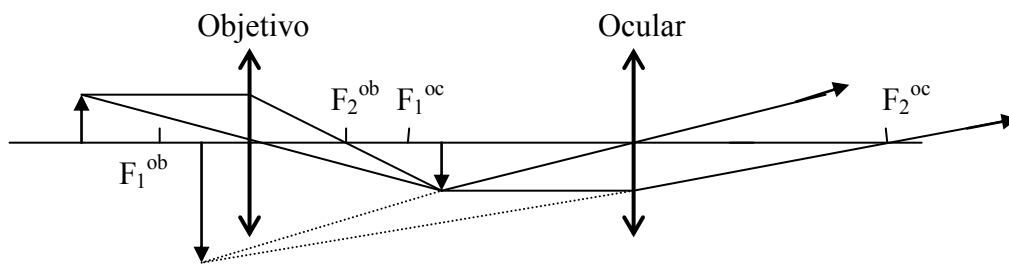
El ojo normal tiene el punto próximo a unos 25 cm y el remoto en el infinito.

Instrumentos ópticos

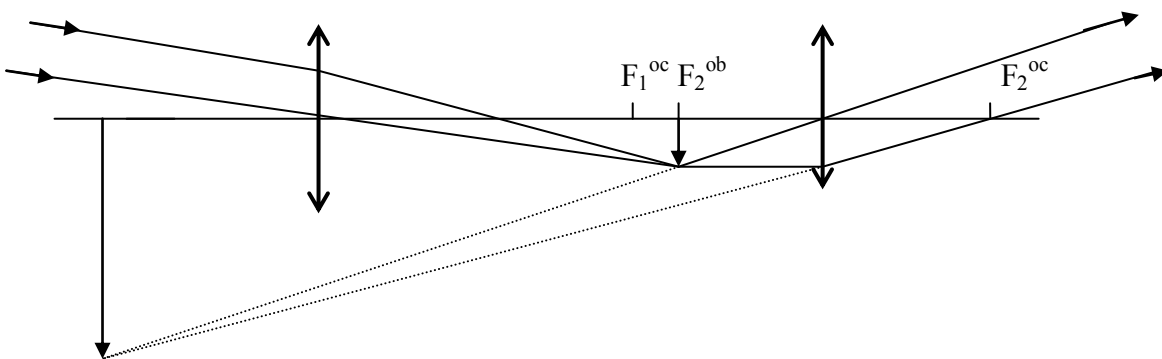
Lupa: es una lente convergente de pequeña distancia focal. Si el objeto se coloca entre la lente y el foco, la imagen es virtual, derecha y aumentada.



Microscopio: dos lentes convergentes llamadas objetivo y ocular. La distancia focal del objetivo es menor que la del ocular. La imagen final es virtual, aumentada e invertida.



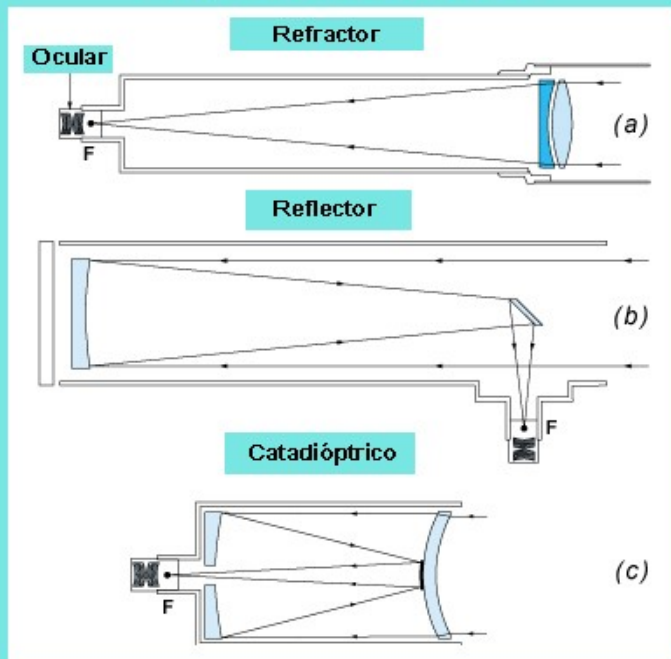
Telescopio: formados por lentes (refractor) o por lentes y espejos (newtonianos y catadióptricos). La imagen de un objeto muy alejado se forma en el foco imagen del objetivo que siempre es una lente. Se procura que el foco objeto del ocular esté muy cerca, con lo que resulta una lejana imagen virtual, aumentada e invertida.



El aumento angular del telescopio (M) es la razón entre las distancias focales de objetivo y ocular:

$$M = -\frac{f_2(ob)}{f_2(oc)}$$

Captación de la luz



Cámara fotográfica: formada por el objetivo (lente convergente), cámara oscura y película (antiguas) o sensor digital. La función del sensor es transformar la imagen óptica creada por el objetivo en una serie de señales eléctricas que darán lugar a la imagen digital. Se obtiene una imagen real que se debe formar en la película o sensor. Para ello, según la posición del objeto, se varía la posición del objetivo (enfocar). Se puede también variar la distancia focal (zoom). La imagen que proyecta el objetivo, y que luego es transformada, es real, menor e invertida.

Proyector: consta de una lente convergente y forma imágenes reales, aumentadas e invertidas (por ello, se coloca el objeto al revés). Se puede devolver la imagen al otro lado con espejos (retroproyector).

Ejercicio 8. Dibujar el esquema básico de una cámara y el de un proyector, colocando los focos y el objeto adecuadamente para obtener las imágenes deseadas.

PROBLEMAS Y CUESTIONES

- Delante de un espejo cóncavo de 1 m de radio y a una distancia de 0,75 m se coloca un objeto luminoso de tamaño 10 cm.
 - Determine la posición, naturaleza y el tamaño de la imagen formada por el espejo.
 - Si desde la posición anterior el objeto se acerca 0,5 m hacia el espejo, calcule la posición, la naturaleza y el tamaño de la imagen formada por el espejo en este caso.
 - Efectúe la construcción geométrica en ambos casos.
- La distancia focal de un espejo esférico es de 20 cm en valor absoluto. Si se coloca un objeto delante del espejo a una distancia de 10 cm de él, determine la posición y la naturaleza de la imagen formada en los dos casos siguientes: a) El espejo es cóncavo. b) El espejo es convexo. Efectúe la construcción geométrica de la imagen en ambos casos.
- Un objeto de 5 cm de altura está situado a 25 cm de un espejo cóncavo de 1 m de radio. Calcule la posición y el tamaño de la imagen. Dibuje la trayectoria de los rayos. *+50 cm; +10 cm*
- La imagen de un objeto reflejada por un espejo convexo de radio de curvatura 15 cm es virtual, derecha, tiene una altura de 1 cm y está situada a 5 cm del espejo. a) Determine la posición y la altura del objeto. b) Dibuje el diagrama de rayos correspondiente. *-15 cm; 3 cm*
- Un espejo esférico forma una imagen virtual, derecha y de tamaño doble que el del objeto cuando está situado verticalmente sobre el eje óptico y a 10 cm del espejo. Calcule la posición de la imagen y el radio de curvatura del espejo. Dibuje las trayectorias de los rayos *20 cm; -40 cm*
- Por medio de un espejo cóncavo se quiere proyectar la imagen de un objeto de tamaño 1 cm sobre una pantalla plana, de modo que la imagen sea invertida y de tamaño 3 cm. Sabiendo que la pantalla ha de estar colocada a 2 m del objeto, calcule: a) las distancias del objeto y de la imagen al espejo, efectuando la construcción geométrica; b) El radio del espejo y la distancia focal.
- ¿Qué es un sistema estigmático? ¿En qué consiste la aberración esférica?
- Se tiene un espejo cóncavo de 20 cm de distancia focal.
 - ¿Dónde se debe situar un objeto para que su imagen sea real y doble que el objeto?
 - ¿Dónde debe situarse el objeto para que la imagen sea doble que el objeto pero tenga carácter virtual? Efectúe la construcción geométrica en ambos casos.
- Un objeto está situado a una distancia de 10 cm del vértice de un espejo cóncavo. Se forma una imagen real, invertida y tres veces mayor que el objeto. a) Calcule el radio de curvatura y la posición de la imagen. b) Construya el diagrama de rayos. *-15 cm; -30 cm*
- En un espejo de maquillaje vemos nuestra imagen aumentada, ¿qué tipo de espejo es?
- Cuando miramos por el retrovisor de un coche los objetos están más cerca de lo que aparentan en el espejo. Explíquelo indicando el tipo de espejo y el diagrama de rayos.
- Un objeto de 50 cm de altura se coloca a 30 cm de un espejo plano. Determina posición y tamaño de la imagen. ¿Es real o virtual?
- Determina la altura mínima de un espejo plano para que una persona de 1,80 m de altura se vea completamente en él.

14. Defina para una lente delgada los siguientes conceptos: foco objeto, foco imagen, distancia focal objeto y distancia focal imagen.
15. Una lente bicóncava, construida con un vidrio de índice de refracción igual a 1,8, está limitada por dos superficies esféricas de radios $r_1 = 20$ cm y $r_2 = 40$ cm. Si la lente está colocada en el aire calcula su potencia óptica.
- 6D
16. Una lente de 5 dioptrías de potencia está construida con un vidrio de índice de refracción igual a 1,5. Si una de las caras tiene un radio de curvatura de 10 cm, calcula el radio de curvatura de la otra cara y dibuja la forma de la lente.
Plano convexa
17. ¿Cambia la distancia focal de una lente al sumergirla en agua?
18. Una lente biconvexa de vidrio ($n = 1,5$) tiene radios de curvatura de 0,1 y 0,2 m. Calcula la distancia focal: a) de la lente; b) si cambiamos el orden de los radios, es decir, si le damos la vuelta.
 $f_2 = 13,3$ cm en los dos casos.
19. Cierta lente delgada de distancia focal 6 cm genera, de un objeto real, una imagen derecha y menor, de 1 cm de altura y situada 4 cm a la izquierda del centro óptico. Determine: a) La posición y el tamaño del objeto. b) El tipo de lente (convergente/divergente) y realice su diagrama de rayos.
20. Utilizando una lente delgada de 10 dioptrías de potencia se obtiene una imagen virtual y derecha de doble tamaño que un objeto. a) Determine las posiciones del objeto y de la imagen respecto de la lente. b) Realice la construcción gráfica de la imagen.
 $s_1 = -5$ cm; $s_2 = -10$ cm
21. Una lente divergente forma una imagen virtual y derecha de un objeto situado 10 cm delante de ella. Si el aumento lateral es 0,4: a) Efectúe el diagrama de rayos correspondiente. b) Determine la distancia focal de la lente.
22. Utilizando una lente convergente delgada que posee una distancia focal de 15 cm, se quiere obtener una imagen de tamaño doble que el objeto. Calcule a qué distancia ha de colocarse el objeto respecto de la lente para que la imagen sea: a) Real e invertida. b) Virtual y derecha.
23. Una lente delgada biconvexa, cuyo material tiene un índice de refracción $n = 1,5$, tiene dos radios de curvatura iguales, $r = 20$ cm. Si colocamos un objeto de 2,5 cm de altura sobre el eje a 10 cm de la lente, determina: a) la distancia focal de la lente b) la posición de la imagen; c) su tamaño, d) la naturaleza de la imagen; el diagrama de rayos luminosos.
 $f_2 = 20$ cm $s_2 = 20$ cm $y_2 = 5$ cm.
24. Una lente delgada bicóncava tiene un índice de refracción $n = 1,5$ y sus radios de curvatura miden 3,5 cm y 2,5 cm. Determina: a) su distancia focal b) la posición, el tamaño y la naturaleza de la imagen de un objeto de 1,0 cm de altura situado sobre el eje a 4,0 cm de la lente
 $f_2 = -2,9$ cm : $y_2 = 0,43$ cm virtual y derecha.
25. Utilizando una lente planoconvexa cuyo radio de curvatura mide 12,5 cm se observa que, colocando un objeto a 50 cm del centro óptico, la imagen es de igual tamaño que el objeto. Calcula: a) la distancia focal; b) la potencia de la lente c) el índice de refracción del vidrio de la lente.
 $f_2 = 25$ cm; $P = 4$ dioptrías; $n = 1,5$.
26. El ojo normal se asemeja a un sistema óptico formado por una lente convergente, el cristalino, de + 15 mm de distancia focal. La imagen de un objeto lejano, situado en el infinito, se forma en la retina, que se considera como una pantalla perpendicular al eje óptico. Calcula la distancia entre la retina y

el cristalino y la altura de la imagen de un árbol de 16 m de altura, que está a 100 m del ojo
15 mm; -2,4 mm

27. Uno de los defectos más comunes del ojo es la miopía. Explica en qué consiste este defecto e indica con qué tipo de lentes se corrige. Si un ojo miope es incapaz de ver nítidamente objetos situados a más de 0,5 m de distancia (punto remoto), ¿cuántas dioptrías tiene? *-2 D*
28. Una persona miope utiliza gafas de -2,5 dioptrías. Cuando se quita las gafas, ¿a qué distancia máxima puede ver nítidamente? *40 cm*
29. Un ojo hipermetrope tiene el punto próximo a 50 cm. Determina la potencia de la lente que necesita.
30. Un coleccionista de sellos utiliza una lupa de 10 cm de distancia focal. ¿A qué distancia de la lupa debe colocar un sello si quiere verlo con un tamaño 10 veces mayor?
31. La lente de un proyector tiene una distancia focal de 0,5 cm. Se sitúa a una distancia de 0,51 cm de la lente un objeto de 5 cm de altura. Calcule: 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.
32. ¿Qué combinación de lentes constituye un microscopio? Explique mediante un esquema gráfico su disposición en el sistema.
33. Un sistema óptico está formado por dos lentes convergentes idénticas, de distancia focal $f_2 = 10$ cm y separadas por una distancia de 40 cm. Si a 20 cm de la primera lente se coloca un objeto de 3 cm de altura, calcula la posición y el tamaño de la imagen formada por el sistema de lentes. Construye el correspondiente diagrama de rayos que justifique la respuesta.
34. Un sistema óptico está formado por dos lentes: la primera es convergente y con distancia focal de 10 cm; la segunda, situada a 50 cm de distancia de la primera, es divergente y con 15 cm de distancia focal. Un objeto de tamaño 5 cm se coloca a una distancia de 20 cm delante de la lente convergente. a) Obtenga gráficamente mediante el trazado de rayos la imagen que produce el sistema óptico. b) Calcule la posición de la imagen producida por la primera lente. c) Calcule la posición de la imagen producida por el sistema óptico. d) ¿Cuál es el tamaño y la naturaleza de la imagen final formada por el sistema óptico? *Virtual, invertida, de 2 cm, a 10 cm a la izqda. de la lente divergente*
35. A 0,5 m de una lente de 4 D y a su izquierda se coloca un objeto de 30 cm de altura. A derecha de la lente, a 1,1 m, se coloca un espejo convexo de 0,6 m de radio. Determina la posición y el tamaño de la imagen formada por el sistema. *Virtual, invertida de 10cm, a 20 cm a la dcha del espejo*

