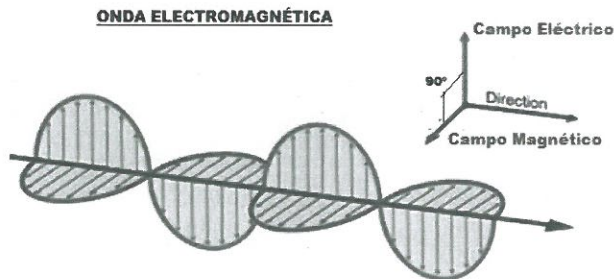


Tema 7 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS. LA LUZ

Naturaleza de la luz

MAXWELL propuso que la luz es una forma de onda electromagnética de alta frecuencia, cuya perturbación es generada por una carga eléctrica oscilante, y consiste en la propagación sin necesidad de soporte material de un campo eléctrico y de un campo magnético perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación de la onda. Estos **campos** son **funciones periódicas** tanto de la coordenada en la dirección de propagación (**posición**), como del **tiempo**. **Están en fase** ya que alcanzan simultáneamente los valores máximos y mínimos.



M. PLANCK (1858-1947) y EINSTEIN (1879-1955) a partir del efecto fotoeléctrico de HERTZ, propusieron que la luz está formada por un haz de pequeños corpúsculos o cuantos de energía, también llamados fotones. La energía de cada uno de los fotones es proporcional a la frecuencia de la luz. $E = h \cdot f$ $h =$ constante de Planck = $6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s. Hoy se admite la **naturaleza dual de la luz: corpuscular y ondulatoria** (Página 231 libro texto)

La luz se propaga mediante ondas electromagnéticas y presenta fenómenos típicamente ondulatorios (reflexión, refracción,..), pero en su interacción con la materia, en ciertos fenómenos de intercambio de energía, manifiesta su carácter corpuscular; pero no manifiesta simultáneamente ambas características.

Propiedades de la luz

- Como ondas electromagnéticas tienen doble periodicidad, caracterizada por su longitud de onda, λ , y por su período, T .
- Son ondas transversales y no necesitan un medio material para propagarse.
- La intensidad de una onda $I = \frac{P}{A}$ y la energía se incrementa con la frecuencia.
- Todas las ondas electromagnéticas difieren entre sí por su longitud de onda y por la frecuencia, pero su velocidad de propagación es c , $c = \lambda \cdot f$. Ondas: radio, microondas, IR, visible, UV, Rayos X y rayos gamma constituyen el espectro electromagnético. Y están ordenadas de menor a mayor frecuencia (o energía), a mayor frecuencia menor longitud de onda. La velocidad de propagación c depende del medio, en el vacío $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.
- También se cumple que: $\lambda = c \cdot T$

Principio de FERMAT

La luz, al ir de un punto a otro, sigue la trayectoria tal que el camino óptico (producto de la distancia recorrida por la luz en el medio por el índice de refracción, n , de dicho medio) recorrido es mínimo. La luz, en un medio homogéneo se propaga en línea recta.

Fenómenos luminosos

- Reflexión y refracción
- La velocidad de la luz es mayor en el vacío que en el resto de medios materiales.
- En el vacío, la velocidad de las radiaciones luminosas no depende de su longitud de onda, sino que es constante. En el resto de los medios materiales sí depende.
- La frecuencia de las radiaciones luminosas es igual en el vacío que en otros medios materiales, no así su λ .

Índice de refracción. El índice de refracción absoluto, n , de un medio es la razón entre la velocidad de la luz en el vacío, c , y la velocidad v de propagación en ese medio. $n = c/v$. En el vacío $n = 1$ y en el aire, también. En otros medios $n > 1$ pues $v < c$.

Si consideramos dos medios distintos $n_2/n_1 = v_1/v_2$

Considerando la **2ª ley de SNELL** (2ª ley de la refracción): $\sin i / \sin r = v_1/v_2$ entonces $\sin i / \sin r = n_2/n_1$ y entonces

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$$

Ángulo límite, L , es el ángulo de incidencia al que corresponde un ángulo de refracción de 90° $\sin L = \frac{n_2}{n_1}$

ÓPTICA → parte de la física que estudia las propiedades y la naturaleza de la luz, así como sus interacciones con la materia



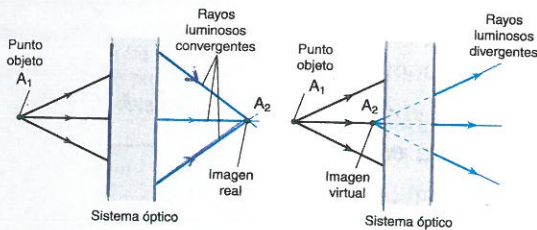
Estudio de sistemas ópticos

Los fenómenos ópticos de la reflexión y la refracción pueden ser interpretados si consideramos únicamente que la luz está constituida por rayos rectilíneos que proceden de un foco emisor. Mediante la *aproximación de rayos*, estos fenómenos, tratados geoméricamente de una forma simplificada que facilita su interpretación, son objeto de estudio de la **óptica geométrica**.

→ La **óptica geométrica** es la parte de la óptica que trata, a partir de representaciones geométricas, de los cambios de dirección que experimentan los rayos luminosos en los distintos fenómenos de reflexión y refracción.

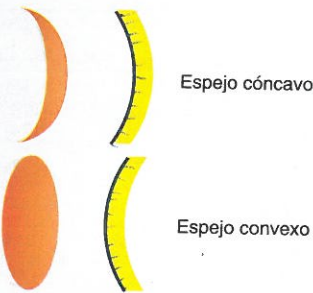
Conceptos básicos de óptica geométrica

El camino recorrido por un rayo luminoso para ir del punto A_1 al punto A_2 es el mismo que recorrería para ir del A_2 al A_1



- **Imagen real de un punto objeto.** Es la imagen formada en un sistema óptico mediante intersección en un punto de los rayos convergentes procedentes del objeto puntual después de atravesar el sistema óptico.
- **Imagen virtual de un punto objeto.** Es la imagen formada mediante intersección en un punto de las prolongaciones de los rayos divergentes formados después de atravesar el sistema óptico.
- **Imagen de un objeto extenso.** La imagen de un objeto extenso está formada por las imágenes puntuales de cada uno de los puntos del objeto. Será real o virtual según cómo sean todas las imágenes puntuales.

DIOPTRO → **Sistema óptico.** Es un conjunto de superficies que separan medios transparentes, homogéneos e isótropos de diferente índice de refracción.

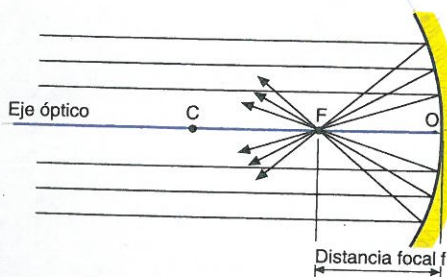


A continuación, abordaremos el tema de la formación de imágenes en sistemas ópticos. Para hacerlo nos concentraremos en los dos sistemas ópticos más habituales en la óptica geométrica, los espejos y las lentes.

→ Llamamos **espejo** a toda superficie lisa y pulida capaz de reflejar los rayos luminosos. Puede ser plano o esférico según cómo sea la superficie.

Los **espejos esféricos** se clasifican en cóncavos y convexos según si la superficie reflectante es la cara interna del espejo o bien la externa, respectivamente.

Elementos de un espejo esférico



- **Eje óptico:** recta que pasa por el centro de curvatura y por el polo.
- **Foco objeto, F_1 :** punto del eje óptico que cumple la propiedad de que todos los rayos cuya dirección pasa por este punto se reflejan paralelamente al eje óptico.
- **Foco imagen, F_2 :** punto del eje óptico en el que convergen las direcciones de todos los rayos reflejados que provienen de rayos incidentes paralelos al eje óptico.

- **Centro de curvatura, C:** centro de la superficie esférica.
- **Polo o vértice, O:** vértice del casquete esférico.

Observa que el foco objeto y el foco imagen son un mismo punto ($F_1 = F_2 = F$) de acuerdo con la reversibilidad de las trayectorias de los rayos luminosos. Además, la distancia de F a O se llama **distancia focal, f** , y es igual a la distancia de F a C .

ÓPTICA GEOMÉTRICA { Espejo { Planos }
 { Lentes { Esféricos { cóncavos }
 { { convexos }
 ÓPTICA FÍSICA

Formación de imágenes en el espejo esférico

Para determinar gráficamente la imagen obtenida en los espejos esféricos, seguiremos el proceso que se describe a continuación.

Consideraremos en todos los casos un objeto lineal A_1B_1 situado verticalmente sobre el eje óptico y trazaremos dos de los siguientes rayos que parten de A_1 :

- Un rayo paralelo al eje y que, por lo tanto, se refleja en la dirección que pasa por el foco F .
- Un rayo que pasa por el centro de curvatura C y que se refleja volviendo sobre su trayectoria, sin desviarse.
- Un rayo cuya dirección pasa por el foco F y que, por lo tanto, se refleja paralelamente al eje.

El punto A_2 intersección de los rayos es la imagen de A_1 , mientras que la imagen de B_1 se halla sobre el eje.

Si el espejo es cóncavo, según la posición del objeto, la imagen será mayor o menor y resultará derecha o invertida respecto del objeto:

— Si el objeto está a más distancia del espejo que el centro de curvatura, la **imagen es real, invertida y de menor tamaño** que el objeto.

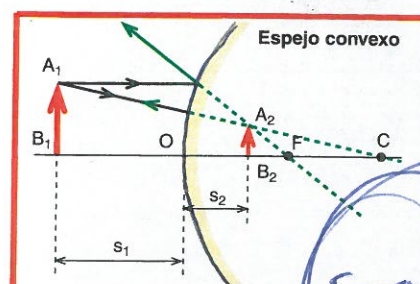
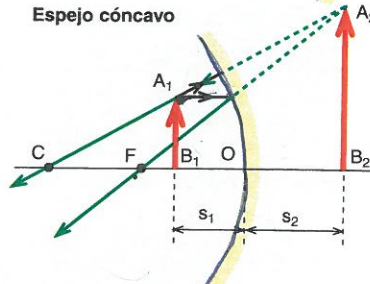
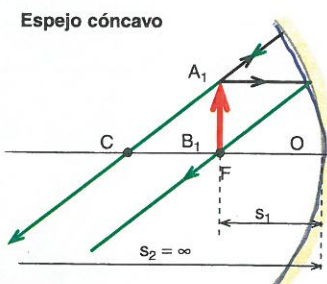
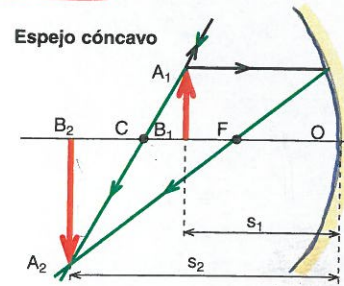
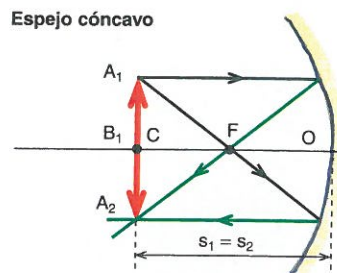
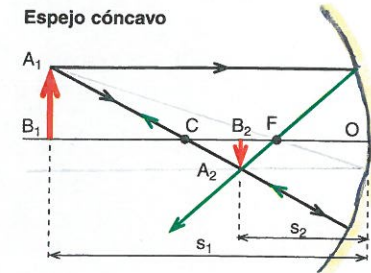
— Si el objeto está sobre el centro de curvatura, la **imagen se forma en el centro de curvatura, es real, invertida y del mismo tamaño** que el objeto.

— Si el objeto se encuentra entre el centro de curvatura y el foco, la **imagen es real, invertida y de mayor tamaño** que el objeto.

— Si el objeto se sitúa en el foco, **no se forma imagen** o bien se forma a distancia infinita, ya que los rayos reflejados son paralelos y no se cortan.

— Si el objeto está entre el foco y el polo del espejo, la **imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño** que el objeto.

Sin embargo, la **imagen** de un objeto formada por un **espejo convexo** es siempre **virtual, derecha y de menor tamaño** que el objeto.



En los espejos esféricos la posición de los focos objeto e imagen coincide, y se encuentra en el punto medio entre el polo del espejo y el centro de curvatura. Es decir, las dos distancias focales son iguales.

$$f_2 = f_1 = \frac{r}{2} = f$$

El sistema cumple la **ecuación fundamental del espejo esférico**:

$$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f}$$

El **aumento lateral**, o relación entre los tamaños de la imagen y el objeto, es:

$$A_L = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{s_2}{s_1}$$

Convenio de signos

Por convenio se establece que:

- En las figuras, la luz incide de izquierda a derecha.
- El origen de coordenadas O coincide con el polo, y el eje OX , con el eje óptico.
- Las posiciones en la horizontal son positivas para los puntos a la derecha de O y negativas para los puntos a su izquierda. Así, a la distancia focal y al radio de curvatura se les atribuye un signo, que puede ser positivo o negativo según su situación respecto del polo.
- Las posiciones en la vertical son positivas por encima del eje óptico y negativas por debajo.

$s_2 = \oplus$ imagen virtual en espejo

EJEMPLO 3

Se coloca un objeto de 2,0 cm de altura a 30,0 cm de un espejo cóncavo cuyo radio de curvatura mide 20,0 cm. Calcula: a) la distancia focal; b) la posición de la imagen; c) su tamaño.

— Datos: $r = -20,0$ cm (espejo cóncavo);
 $s_1 = -30,0$ cm;
 $y_1 = 2,0$ cm

a) Calculamos la distancia focal a partir de su relación con el radio de curvatura:

$$f = \frac{r}{2}; f = \frac{-20,0 \text{ cm}}{2} = -10,0 \text{ cm}$$

b) Hallamos la posición de la imagen a partir de la ecuación fundamental de los espejos esféricos:

$$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f}; s_2 = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{s_1}}$$

$$s_2 = \frac{1}{\frac{1}{-10,0 \text{ cm}} - \frac{1}{-30,0 \text{ cm}}} = -15 \text{ cm}$$

La imagen aparece a la izquierda del polo del espejo.

c) Calculamos el tamaño de la imagen a partir de la expresión del aumento lateral:

$$A_L = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{s_2}{s_1}; y_2 = -\frac{y_1 s_2}{s_1}$$

$$y_2 = -\frac{2,0 \text{ cm} (-15 \text{ cm})}{-30,0 \text{ cm}} = -1,0 \text{ cm}$$

La imagen es menor que el objeto. El signo negativo de y_2 significa que la imagen está invertida.

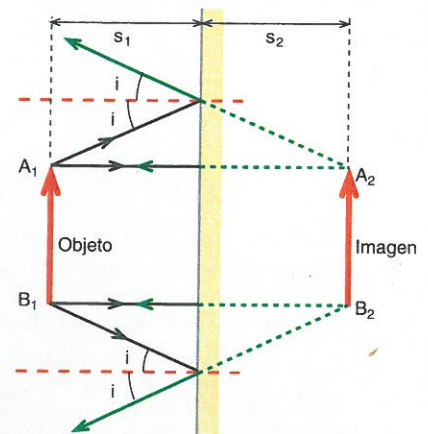
El esquema de rayos para el caso en que el objeto está más alejado del espejo que el centro de curvatura nos muestra que la imagen es real.

Formación de imágenes en el espejo plano

En la figura podemos observar el procedimiento seguido para la construcción de la imagen de un objeto en un espejo plano, a partir de las imágenes de sus dos puntos extremos.

- Desde el punto A_1 se trazan dos rayos luminosos. Uno de ellos es normal al espejo y se refleja retrocediendo en la misma dirección. El otro incide con un cierto ángulo i en el espejo y se refleja formando un ángulo igual. La prolongación de los dos rayos reflejados da lugar al punto A_2 , imagen virtual de A_1 .
- Si procedemos del mismo modo con B_1 , obtenemos su imagen B_2 .
- Al unir A_2 con B_2 , tenemos la imagen A_2B_2 del objeto.

La imagen es virtual, derecha y del mismo tamaño que el objeto. Las distancias del objeto y de la imagen al espejo son iguales.



Aplicaciones de los espejos

Los espejos tienen múltiples aplicaciones. Algunas son cotidianas como, por ejemplo, facilitar nuestra higiene personal o la conducción en automóvil. Y otras son más técnicas como instrumental médico, por ejemplo, en ortodoncia, o como constituyente fundamental de instrumentos ópticos (telescopio, cámara fotográfica...).

Entra en <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicalinteractiva/OptGeometrica/index.htm>. Accederás a diversas aplicaciones de simulación para la construcción gráfica de imágenes en instrumentos ópticos.

La ecuación fundamental del espejo plano se reduce a la constatación de que la distancia objeto y la distancia imagen son iguales. El aumento lateral en este sistema óptico es la unidad.

$$s_2 = -s_1$$

$$A_L = 1$$

ACTIVIDADES

- Si queremos ver nuestra imagen ampliada en un espejo, ¿qué tipo de espejo debemos emplear y dónde nos tenemos que colocar?
- La distancia focal de un espejo esférico cóncavo es de 10 cm. Determina la posición y la naturaleza de la imagen cuando el objeto está situado a las distancias: a) 25 cm; b) 10 cm; c) 5 cm.
- Utilizando un espejo cóncavo, la imagen de un cierto objeto es real, invertida, de doble altura que éste y se forma a 150 cm del polo del espejo. Determina: a) la posición del objeto; b) el radio del espejo.

Sol.: a) $s_2 = -16,7$ cm; b) $s_2 = \infty$;
 c) $s_2 = 10$ cm

Sol.: a) $s_1 = -75$ cm; b) $r = -100$ cm

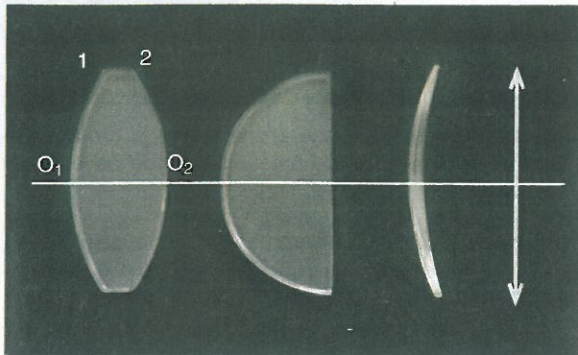
16) Debemos emplear un espejo cóncavo y situarnos entre el foco y el espejo. Si nos situamos ante el centro de curvatura y el foco, veremos nuestra imagen aumentada pero invertida.

El segundo sistema óptico fundamental en la óptica geométrica es la *lente*.

→ Una **lente** es un sistema óptico formado por un medio transparente de índice de refracción diferente al del medio exterior y que limita mediante dos superficies o dioptrios, uno de los cuales es esférico y el otro puede ser plano o esférico.

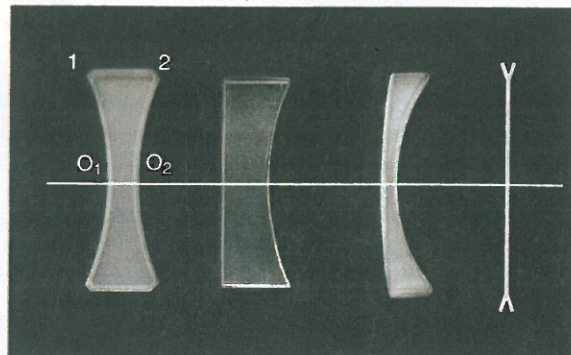
Según la forma de las superficies limitantes, las lentes pueden ser *convergentes* o *divergentes*.

Lentes convergentes



Son más gruesas en la parte central que en los extremos. Esquemáticamente se representan con una línea acabada en puntas de flecha.

Lentes divergentes

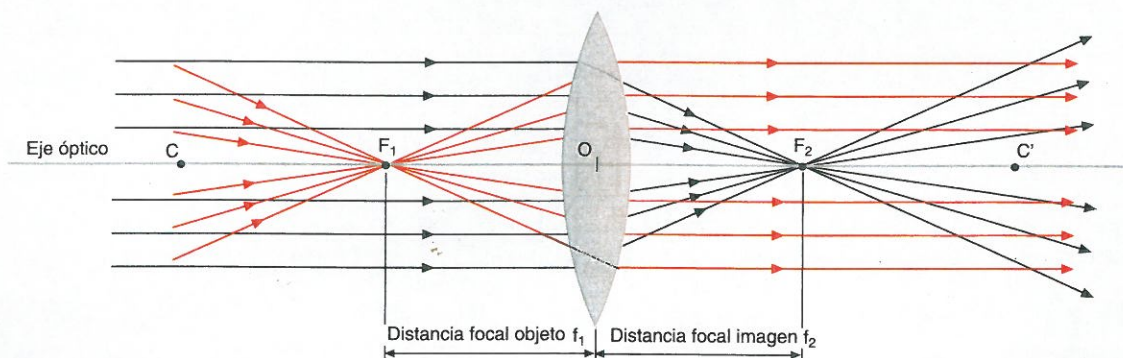


Son más gruesas en los extremos que en la parte central. Esquemáticamente se representan con una línea acabada en puntas de flecha invertidas.

→ LENTES CONVEXAS

Lentes cóncavas

Elementos de una lente delgada



- **Centros de curvatura, C y C' :** centros de las superficies esféricas que conforman la lente.
- **Eje óptico:** recta que une ambos centros de curvatura.
- **Centro óptico, O :** punto del eje óptico que tiene la propiedad de que todo rayo que pase por este punto atraviesa la lente sin desviarse. Coincide con el centro geométrico de la lente.
- **Foco objeto, F_1 :** punto del eje óptico que cumple la propiedad de que todos los rayos cuya dirección pase por este punto emergen de la lente paralelamente al eje óptico.
- **Foco imagen, F_2 :** punto del eje óptico en el que concurren las direcciones de todos los rayos refractados que provienen de rayos incidentes paralelos al eje óptico.
- La distancia f_1 desde el centro de la lente O al punto F_1 es la **distancia focal objeto**.
- La distancia f_2 desde el centro de la lente O al punto F_2 se llama **distancia focal imagen**.
- En las lentes delgadas, las dos *distancias focales* son iguales y de signo contrario si a ambos lados de la lente está el mismo medio material: $f_1 = -f_2$

Formación de imágenes en las lentes delgadas

Como en los sistemas estudiados anteriormente, la determinación gráfica de la imagen de un objeto lineal A_1B_1 , situado perpendicularmente sobre el eje óptico, formada por una lente, se efectúa representando dos de los siguientes rayos luminosos que parten del punto objeto A_1 :

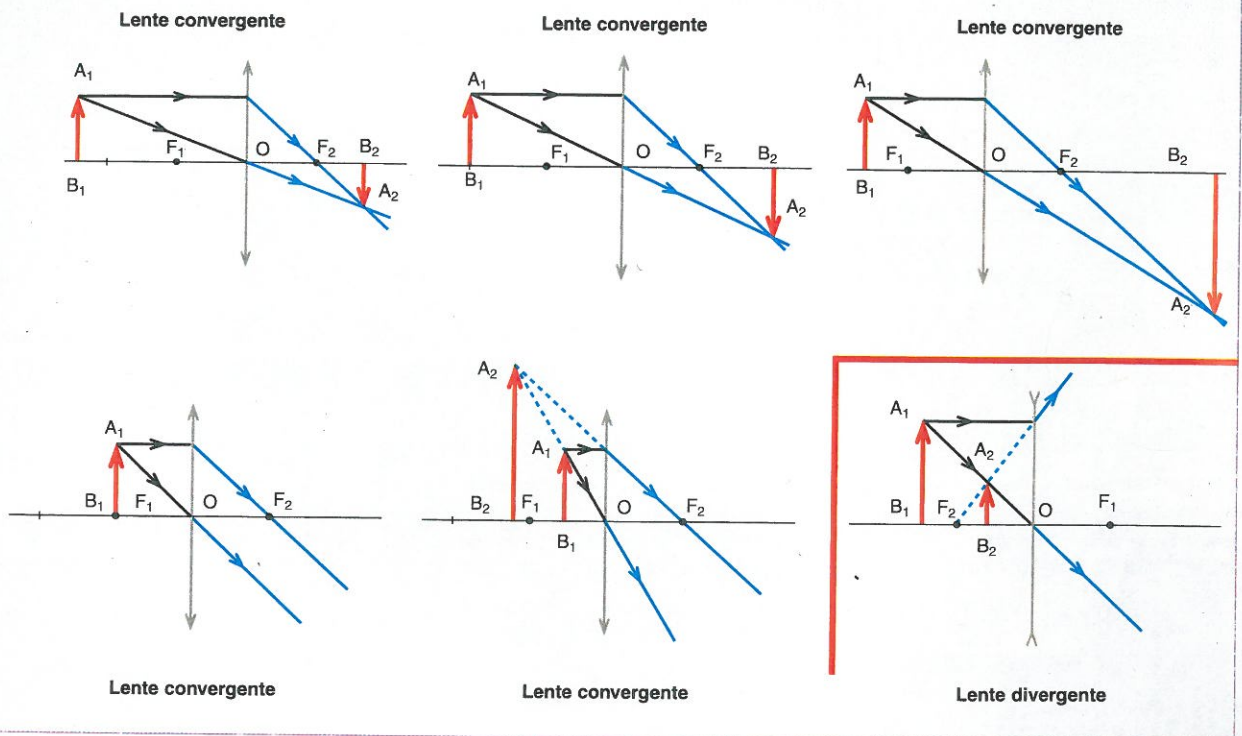
- Un rayo que incide en la lente paralelamente al eje, la atraviesa y, una vez refractado, el rayo, o su prolongación, pasan por el foco imagen F_2 .
- Un rayo que pasa por el centro óptico, o centro geométrico de la lente, y que, por lo tanto, no experimenta ninguna desviación.
- Un rayo cuya dirección pasa por el foco objeto F_1 y que, por lo tanto, emerge de la lente paralelamente al eje óptico una vez refractado.
- Si el objeto está a una distancia de la lente mayor que el doble de la distancia focal, la **imagen es real, invertida** y de **menor tamaño** que el objeto.
- Si el objeto está situado a una distancia igual al doble de la distancia focal, la **imagen es real, invertida** y del **mismo tamaño** que el objeto.
- Si el objeto está a una distancia mayor que la distancia focal pero menor que el doble de ésta, la **imagen es real, invertida** y de **mayor tamaño** que el objeto.
- Si el objeto se encuentra sobre el foco de la lente, **no se forma imagen** o bien se forma a una distancia infinita, ya que los rayos reflejados son paralelos y no se cortan.
- Si el objeto está situado a una distancia de la lente menor que la distancia focal, la **imagen es virtual, derecha** y de **mayor tamaño** que el objeto.



Las características, el tamaño y la naturaleza de la imagen obtenida en una **lente convergente** dependen de la posición del objeto sobre el eje óptico.



No obstante, en las **lentes divergentes** la **imagen es siempre virtual, derecha** y de **menor tamaño** que el objeto.



En el caso de una lente delgada de índice de refracción n y radios de curvatura r_1 y r_2 se cumplen la **ecuación fundamental de las lentes delgadas**:

$$\frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

y la **ecuación del fabricante de lentes**:

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

o lo que es igual

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1}$$

Las distancias focales objeto e imagen cumplen la relación:

$$f_1 = -f_2$$

En cuanto al **aumento lateral**, puede comprobarse que:

$$A_L = \frac{y_2}{y_1} = \frac{s_2}{s_1}$$

EJEMPLO 4

DIVERGENTE

Una lente delgada biconcava 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.

a) Para calcular la distancia focal aplicamos la ecuación del fabricante de lentes:

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

$$\frac{1}{f_2} = (1,5-1) \left(\frac{1}{-3,5 \text{ cm}} - \frac{1}{2,5 \text{ cm}} \right) = -0,34 \text{ cm}^{-1}$$

$f_2 = -2,9$ cm, que resulta negativa, como corresponde a una lente divergente.

b) Hallamos la posición de la imagen:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1}; \quad \frac{1}{s_2} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{s_1}$$

$$s_2 = \frac{1}{\frac{1}{f_2} + \frac{1}{s_1}}$$

$$s_2 = \frac{1}{\frac{1}{-2,9 \text{ cm}} + \frac{1}{-4,0 \text{ cm}}} = -1,7 \text{ cm}$$

Calculamos el tamaño de la imagen a partir del aumento lateral:

$$A_L = \frac{y_2}{y_1} = \frac{s_2}{s_1}; \quad y_2 = \frac{y_1 s_2}{s_1}$$

$$y_2 = \frac{1,0 \cdot (-1,7) \text{ cm}}{-4,0 \text{ cm}} = 0,43 \text{ cm}$$

Como vemos en la figura, la imagen formada es virtual ($s_2 < 0$), derecha ($y_2 > 0$) y de menor tamaño que el objeto ($y_2 < y_1$).

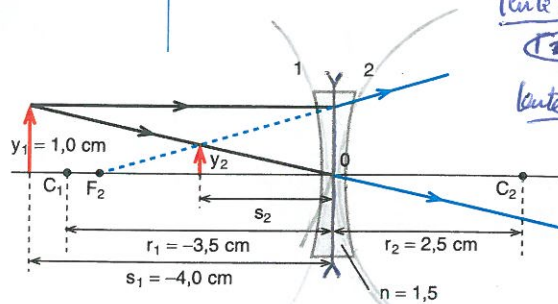
Potencia de una lente

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

$$p = \frac{1}{f_2}$$

Se expresa en **dioptrías** cuando f_2 está en metros. A más potencia, mayor es la convergencia de los rayos que emergen de la lente.

La potencia de una lente convexa es positiva y la potencia de una lente cóncava es negativa.



lente divergente
 $r_2 \ominus r_1 \ominus$
lente convergente
 $r_2 \ominus r_1 \oplus$
 $\frac{2A}{\pi}$

Aplicaciones de las lentes

Las lentes se utilizan en la construcción de instrumentos ópticos. Algunos son muy conocidos y de uso habitual: la cámara fotográfica, la lupa o los prismáticos. Otros, como el microscopio o el telescopio, tienen un indudable interés científico.

Las gafas y las lentes de contacto se utilizan para corregir defectos de visión (miopía, hipermetropía, presbicia o astigmatismo).

ACTIVIDADES

- Enumera en qué situaciones la imagen formada en una lente delgada es: a) derecha o invertida; b) mayor que el objeto.
- La distancia focal de una lente delgada convergente mide 10 cm. Calcula la distancia a la imagen, el aumento lateral y la naturaleza de la imagen si se coloca un objeto a una distancia de la lente de: a) 30 cm; b) 10 cm; c) 5 cm.
 $f_2 > 0 \Rightarrow$ imagen real
 Sol.: a) $s_2 = 15$ cm, $A_L = 0,5$; b) $s_2 = \infty$; c) $s_2 = -10$ cm, $A_L = 2$
- La longitud focal de una lente delgada divergente mide 20 cm. Si se sitúa un objeto de 2,0 cm de altura a 30 cm de la lente, determina: a) la posición de la imagen; b) el aumento lateral y el tamaño de la imagen; c) su naturaleza; d) el esquema de los rayos luminosos.
 $f_2 = -20$ cm
 Sol.: a) $s_2 = -12$ cm; b) $A_L = 0,4$, $y_2 = 0,8$ cm
- En los cuadros al margen de las páginas 258 y 261 se mencionan algunas aplicaciones de los espejos y las lentes. Busca información sobre éstas y otras aplicaciones, y elabora un informe.

19) La imagen formada por una lente delgada es derecha:
 - Para una lente convergente si el objeto se sitúa a una distancia de la lente menor que la distancia focal.
 - Siempre para lentes divergentes.

La imagen formada por una lente delgada es invertida:
 - Para lentes convergentes cuando el objeto se sitúa a una distancia de la lente mayor que la distancia focal.
 de imagen formada por una lente delgada es mayor que el objeto:
 - Para lentes convergentes cuando el objeto se sitúa a una distancia de la lente mayor que la distancia focal pero menor que el doble de ésta.
 - Para lentes convergentes si el objeto se sitúa a una distancia de la lente menor que la distancia focal.

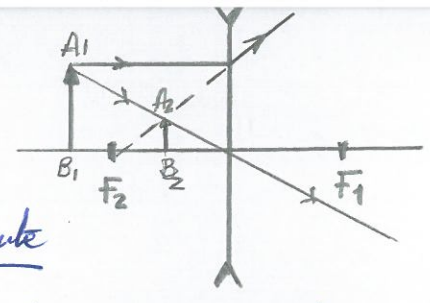
TEMA 7

LUZ

Selectividad

- 1.- Se se desexa formar unha imaxe virtual, dereita e de menor tamaño que o obxecto, débese utilizar: a) un espello cóncavo, b) unha lente converxente, c) unha lente diverxente.
- 2.- Unha onda electromagnética que se atopa cun obstáculo de tamaño semellante á súa lonxitude de onda: a) forma nunha pantalla, colocada detrás do obstáculo, zonas claras e escuras, b) polarízase e o seu campo eléctrico oscila sempre no mesmo plano, c) reflíctese no obstáculo
- 3.- Cando un raio de luz incide nun medio de menor índice de refracción, o raio refractado: a) varía a súa frecuencia, b) acércase a normal, c) pode non existir raio refractado.
- 4.- Se un feixe de luz láser incide sobre un obxecto de pequeno tamaño (de orden da súa lonxitude de onda), a) detrás do obxecto hai sempre escuridade, b) hai zonas de luz detrás do obxecto, c) reflíctese cara ó medio de incidencia.
- 5.- Un obxecto de 3 cm está situado a 8 cm dun espello esférico cóncavo e produce unha imaxe a 10 cm á dereita do espello: a) calcula a distancia focal; b) debuxa a marcha dos raios e obtén o tamaño da imaxe; c) ¿en que posición do eixe hai que colocar o obxecto para que non se forme imaxe?
- 6.- Un obxecto de 3 cm de altura sitúase a 75 cm dunha lente delgada converxente e produce unha imaxe a 37,5 cm á dereita da lente: a) calcula a distancia focal; b) debuxa a marcha dos raios e obtén o tamaño da imaxe; c) ¿en que posición do eixe hai que colocar o obxecto para que non se forme imaxe?
- 7.- Se cun espello se quere obter unha imaxe maior que o obxecto, haberá que empregar un espello: a) plano; b) cóncavo; c) convexo.
- 8.- Un raio de luz incide dende o aire ($n=1$) sobre unha lámina de vidro de índice de refracción $n=1,5$. O ángulo límite para a reflexión total deste raio é: a) $41,8^\circ$; b) 90° ; c) non existe.
- 9.- Unha onda luminosa: a) non se pode polarizar; b) a súa velocidade de propagación é inversamente proporcional ó índice de refracción do medio; c) pode non ser electromagnética.
- 10.- Para obter unha imaxe virtual, dereita e de maior tamaño que o obxecto, úsase: a) una lente diverxente; b) una lente converxente; c) un espello convexo.
- 11.- Un obxecto de 1,5 cm de altura está situado a 15 cm dun espello esférico convexo de raio 20 cm; determina a posición, tamaño e natureza da imaxe: a) graficamente; b) analiticamente; c) ¿pódense obter imaxes reais cun espello convexo?.
- 12.- Un obxecto de 1,5 cm de altura sitúase a 15 cm dunha lente diverxente que ten unha focal de 10 cm; determina a posición, tamaño e natureza da imaxe: a) graficamente; b) analiticamente; c) ¿pódense obter imaxes reais cunha lente diverxente?.
- $s_2 = -6 \text{ cm}$ $A_2 = 0,4$ $n_2 = 0,6 \text{ cm}$ **VIRTUALES**
- 13.- Dado un espello esférico de 50 cm de radio e un obxecto de 5 cm de altura situado sobre o eixe óptico a unha distancia de 30 cm do espello, calcula analítica e graficamente a posición e tamaño da imaxe: a) se o espello é cóncavo; b) se o espello é convexo.
- 14.- Nas lentes diverxentes a imaxe sempre é: a) dereita, menor e virtual; b) dereita, maior e real; c) dereita, menor e real.
- 15.- A imaxe formada nos espellos é: a) real se o espello é convexo, b) virtual se o espello é cóncavo e a distancia obxecto é menor que a focal, c) real se o espello é plano.
- 16.- Na polarización lineal da luz: a) modifícase a frecuencia da onda, b) o campo eléctrico oscila sempre nun mesmo plano, c) non se transporta enerxía.

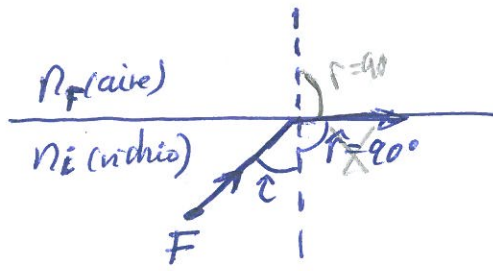
1 En las lentes divergentes la imagen es siempre virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto



Lente divergente

2 Es un fenómeno de difracción: cuando un movimiento ondulatorio se encuentra con un obstáculo o abertura de tamaño similar a su longitud de onda, se forma detrás del obstáculo en una pantalla una serie de franjas claras y oscuras (o anillos) que son producto de interferencia de ondas y que parece que la luz no se propaga en línea recta.

3 Según la ley de SNELL $n_i \sin \hat{i} = n_r \sin \hat{r}$. Si se pasa de un medio más refringente a otro menos refringente, se aleja de la normal, por lo que, si el ángulo de incidencia es el ángulo límite, o superior, no hay refracción. Ángulo límite L es el ángulo de incidencia al que corresponde un ángulo de refracción de 90°



$$\sin L = \frac{n_2}{n_1} \sin 90$$

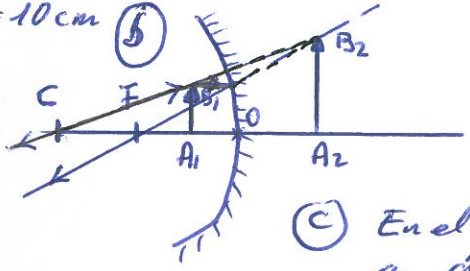
$$\text{sea } L = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

4 Igual que 2

5 $y_o = 3 \text{ cm}$ @ Ecuación fundamental del espejo esférico

$S_i = -8 \text{ cm}$
 $S_o = 10 \text{ cm}$

$$\frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i} = \frac{1}{f} \quad \frac{1}{10 \text{ cm}} + \frac{1}{-8 \text{ cm}} = \frac{1}{f} \Rightarrow f = -40 \text{ cm}$$



Espejo cóncavo y el objeto está entre el foco y el polo del espejo, la imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño que el objeto.

$$A_L = -\frac{S_o}{S_i} = -\frac{10 \text{ cm}}{-8 \text{ cm}} = 1.25 \quad \frac{y_i}{y_o} = 1.25 \Rightarrow y_i = 3.75 \text{ cm}$$

(C) En el foco no se forma imagen o bien se forma a distancia infinita ya que los rayos reflejados son paralelos y no se unen.

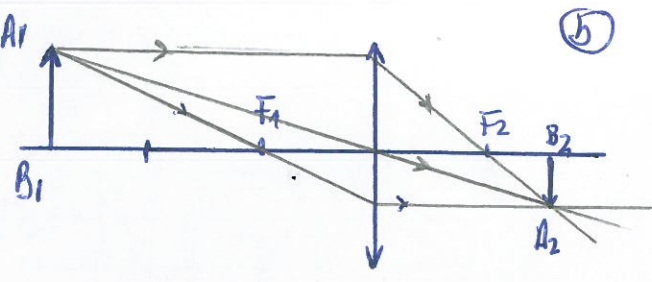
6 $y_o = 3 \text{ cm}$ @ Ecuación del fabricante de lentes:

$S_i = -75 \text{ cm}$
 $S_o = 37.5 \text{ cm}$

$$\frac{1}{S_o} - \frac{1}{S_i} = \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{37.5 \text{ cm}} - \frac{1}{-75 \text{ cm}} = \frac{1}{f_2} \Rightarrow f_2 = +25 \text{ cm}$$

$$f_1 = -25 \text{ cm}$$

(B) Si el objeto está a una distancia de la lente mayor que el doble de la distancia focal, la imagen es real, invertida y de menor tamaño.



$$A_L = +\frac{S_o}{S_i} = +\frac{37.5}{-75} = -0.5$$

$$A_L = \frac{y_2}{y_1} \Rightarrow y_2 = M \cdot A_L = 3 \text{ cm} \cdot (-0.5) = -1.5 \text{ cm}$$

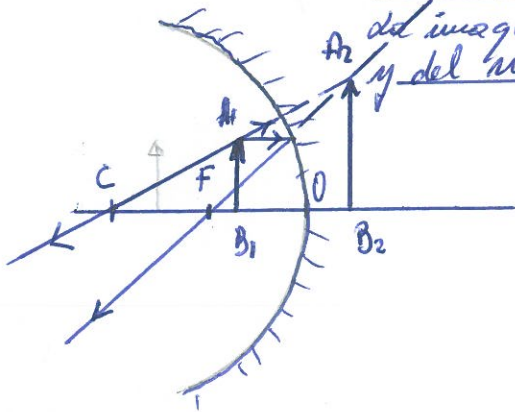
(C) En el foco.

7

Un espejo cóncavo.

La imagen formada por un espejo cóncavo es siempre virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto.

La imagen formada con un espejo plano es virtual, derecha y del mismo tamaño que el objeto. $S_2 = -S_1$ $A_2 = 1$



8

No existe. Al pasar de un medio menos refringente a uno más refringente, el rayo refractado se acerca a la normal. Para cualquier ángulo de incidencia, el ángulo de refracción siempre es menor, por lo que no hay un ángulo de incidencia límite para el que el rayo refractado sea 90° .

Ni $\text{sen } l = n_0 \text{ sen } \hat{r}$

$1 \cdot \text{sen } l = 1.5 \text{ sen } 90^\circ \Rightarrow \text{sen } l = 1.5$ (imposible)

11

$y_0 = 1.5 \text{ cm}$

$S_1 = -15 \text{ cm}$

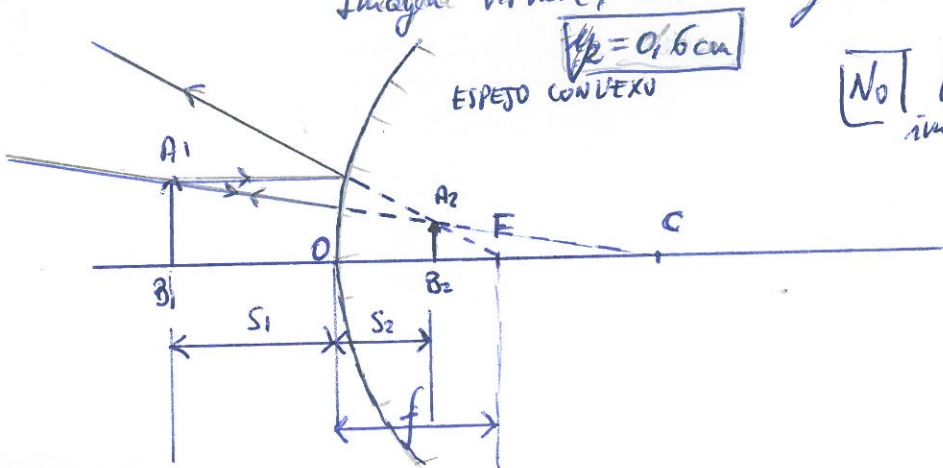
$R = 20 \text{ cm}$

$f = \frac{R}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm}$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_1} \Rightarrow \frac{1}{10 \text{ cm}} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{-15 \text{ cm}} \Rightarrow S_2 = 6 \text{ cm}$

$A_2 = \frac{y_2}{y_1} = \frac{S_2}{S_1} \Rightarrow y_2 = y_1 \cdot \left(\frac{S_2}{S_1} \right) = 1.5 \text{ cm} \cdot \left(\frac{6 \text{ cm}}{-15 \text{ cm}} \right) = 0.6 \text{ cm}$

Imagen virtual, derecha y de menor tamaño que la original



12

Con un espejo cóncavo las imágenes son siempre virtuales

13

ESPEJO CONCAVO

$R = 50 \text{ cm}$

$f = \frac{R}{2} = \frac{50 \text{ cm}}{2} = 25 \text{ cm}$

$y_1 = 5 \text{ cm}$

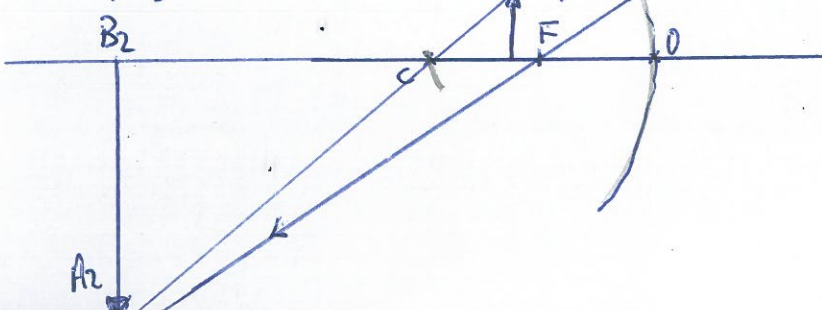
$S_1 = 30 \text{ cm}$

$S_2 = ?$

$y_2 = ?$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_1} \Rightarrow \frac{1}{25} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{30} \Rightarrow \frac{1}{S_2} = \frac{1}{25} - \frac{1}{30} = -\frac{1}{300} + \frac{1}{250} \Rightarrow S_2 = -150 \text{ cm}$

$A_2 = \frac{y_2}{y_1} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{-150 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = -5 \Rightarrow y_2 = -5 \cdot y_1 = -5 \cdot 5 \text{ cm} = -25 \text{ cm}$

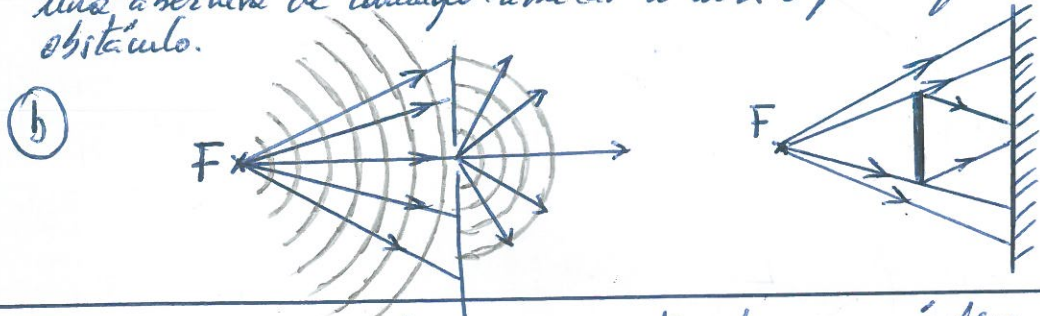


FENÓMENOS ONDULATORIOS

LUZ

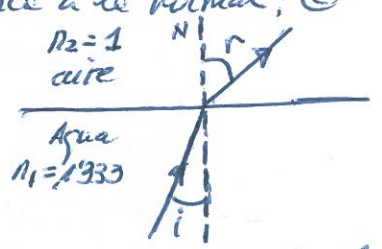
1 Si la luz se encuentra con un obstáculo de tamaño comparable a su λ , experimenta:
 (a) Polarización; (b) difracción; (c) reflexión. (Dibuje la marcha de los rayos)

Difracción: desviación de la propagación rectilínea de los ondas, cuando atraviesan una abertura de tamaño similar a su λ o por un borde de un obstáculo.



2 Cuando un rayo de luz incide en un medio de menor índice de refracción, el rayo refractado: (a) varía su frecuencia; (b) se acerca a la normal; (c) puede no existir rayo refractado.

Según la ley de Snell $n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$



Si pasa de un medio de mayor índice de refracción a otro de menor índice de refracción, el rayo se aleja de la normal. Al incidir con un ángulo mayor el ángulo de refracción, también se hace más grande. Para un cierto ángulo de incidencia, llamado ángulo límite, el ángulo de refracción vale $r=90^\circ$ y no hay refracción.

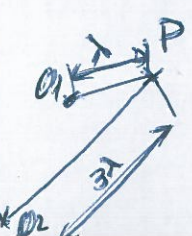
3 Cuando la luz ^{traviesa} la zona de separación de dos medios, experimenta: (a) difracción; (b) refracción; (c) polarización.

Experimenta refracción, cambio de dirección en su propagación rectilínea. Según la ley de Snell $\text{sen } i \cdot n_2 = \text{sen } r \cdot n_1$, siendo i el ángulo de incidencia en el medio en el que el índice de refracción es n_1 , e r el ángulo de refracción en el medio en el que el índice de refracción es n_2 (Dibuje)

4 En la polarización lineal de la luz: (a) se modifica la frecuencia de onda; (b) el campo eléctrico oscila en el mismo plano; (c) no se transporta energía.

La polarización lineal de la luz consiste en que el vector campo eléctrico oscila siempre en un plano que es el plano de polarización. Se consigue con un polarizador.

5 Dos focos O_1 y O_2 emiten ondas en fase de la misma A, f, λ y v propagación, interfiriendo en un punto P que está a una distancia λ m de O_1 y 3λ de O_2 . La amplitud resultante en P será: (a) nula; (b) A; (c) 2A



$$y_1 = A \text{sen}(\omega t - k r_1)$$

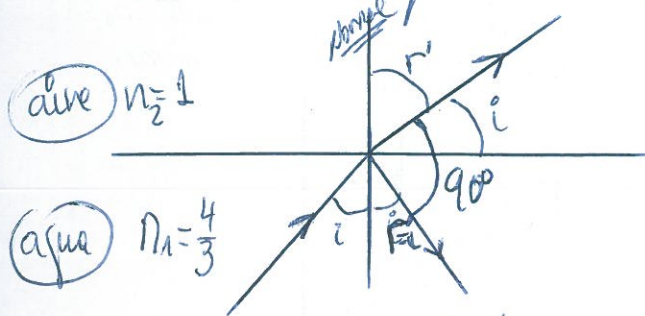
$$y_2 = A \text{sen}(\omega t - k r_2)$$

$$y_r = y_1 + y_2 = 2A \cos\left(k \frac{r_1 - r_2}{2}\right) \text{sen}\left(\omega t - k \frac{r_1 + r_2}{2}\right)$$

$$A_r = 2A \cos k \left(\frac{r_1 - r_2}{2}\right) = 2A \cos \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{3\lambda - \lambda}{2}$$

$$\boxed{A_r = 2A \cos \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{2\lambda}{2} = 2A \cos 2\pi = 2A \cdot 1 = 2A}$$

- 6 Un rayo de luz pasa del agua ($n_{\text{agua}} = 4/3$) al aire ($n_{\text{aire}} = 1$). Calcula: (a) el ángulo de incidencia si los rayos reflejados y refractados son perpendiculares entre sí; (b) el ángulo límite; (c) ¿hay ángulo límite si la luz incide del aire al agua?



(a)

$$\text{sen } i \cdot n_1 = n_2 \cdot \text{sen } r'$$

$$\text{sen } i \cdot n_1 = n_2 \cdot \text{sen } (90 - e) \quad \text{sen } e = \cos(90 - e)$$

$$\text{sen } i \cdot n_1 = n_2 \cdot \cos i$$

$$\frac{\text{sen } i}{\cos i} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{3}{4} \Rightarrow \text{tg } i = \frac{3}{4} \Rightarrow \boxed{L = 36.86^\circ}$$

- (b) El ángulo límite L es el ángulo de incidencia al que corresponde un ángulo de refracción de 90°

$$1 \cdot \text{sen } L = n_2 \cdot \text{sen } 90^\circ \Rightarrow 1 \cdot \frac{\text{sen } L}{1} = \frac{4}{3} \cdot \text{sen } 90^\circ$$

$$\text{sen } L = \frac{3}{4} \Rightarrow \boxed{L = 48.6^\circ}$$

- (c) Cuando la luz pasa de un medio menos refringente (aire) a otro más refringente (agua), el ángulo de incidencia i es siempre mayor que el de refracción r . Como el valor máximo del i es de 90° , la ley de Snell permite determinar el valor máximo del r . $L_{\text{máximo}} = 90^\circ \Rightarrow n_1 \cdot \text{sen } 90^\circ = n_2 \cdot \text{sen } \theta_{\text{máximo}} \Rightarrow 1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_{\text{máximo}}$
 $\text{sen } \theta_{\text{máximo}} = \frac{1}{n_2} \Rightarrow \theta_{\text{máximo}} = \text{sen}^{-1}(\frac{1}{n_2})$ (si $n_2 > 1 \Rightarrow \theta_{\text{máximo}} < 90^\circ$)

- 7 Una onda armónica estacionaria se caracteriza por tener frecuencia variable; (b) transportar energía; (c) formar nudos y vientres.

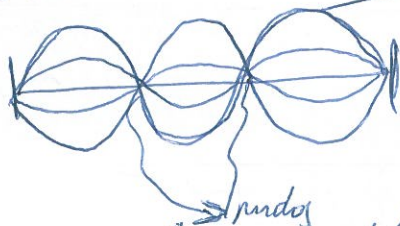
Una onda estacionaria es producida por interferencia de dos ondas armónicas de igual amplitud y frecuencia que se propagan en la misma dirección y sentido contrario.

Una cuerda libre en ambos extremos, afectada por movimiento ondulatorio, las ondas estacionarias son provocados por las reflexiones que este movimiento experimenta en los extremos.

La ec. de una onda estacionaria, aplicando el principio de superposición es:

$$y_r = 2A \cos(kx) \text{sen } \omega t = A_r \text{sen } \omega t \quad A_r = 2A \cos(kx)$$

de onda estacionaria es armónica, de igual frecuencia y amplitud A_r independiente del tiempo pero que varía sinusoidalmente en x . Los nudos son los puntos en los que la amplitud es nula. Los vientres son los que la amplitud es máxima con antinodos o vientres.



- 8 Cuando un rayo de luz monocromática pasa del aire al agua ($n_{\text{agua}} = 4/3$), produce un cambio (a) en la frecuencia; (b) en la λ ; (c) en la energía.
- En un medio de $n > 1$ las λ disminuyen porque $v = \frac{c}{n}$ ($v < c$); como la frecuencia no varía, $\lambda' = v/f$, $\lambda = c/f \Rightarrow \lambda' < \lambda$. La longitud de onda disminuye.

Punto remoto = 25m

La miopía consiste en que una persona puede enfocar los objetos cercanos pero no ve claramente los lejanos. Es decir, el punto remoto está a una distancia infinita, que puede ver unos pocos metros y no ve con claridad los objetos situados más allá de ese punto. La miopía se corrige con lentes divergentes que respectan los rayos y los aleja del eje principal, lo que permite que el cristalino los enfoque en la retina.

- a) Si la persona no ve los objetos situados más allá de 25m sufre miopía
- b) Debe usar lentes de forma que los objetos situados en el infinito $S_1 = -\infty$ tengan su imagen respecto a la lente en el punto remoto de la persona $S_2 = -25m$. Imponemos esta condición para hallar la distancia focal de las lentes que debe usar esa persona.

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1} \quad f_2 = -25m$$

\downarrow \downarrow
 $-25m$ $-\infty$

c) La distancia focal es negativa \Rightarrow se trata de lentes divergentes

d) Calculamos la potencia $P = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{-25m} = -0.04$ dioptrías

Una persona no ve claramente los objetos situados más allá de 25m, su punto remoto. Determina:
 a) El defecto que padece su vista; b) la distancia focal de las lentes que debe usar; c) el tipo de lente; d) su potencia.

a) El defecto de visión de un ojo miope puede corregirse con lentes divergentes cuya imagen se sitúa en el punto remoto del ojo, que en este caso es de 75cm, de un objeto situado en el infinito ($S_1 = \infty$) como corresponde a lentes divergentes

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1} \rightarrow f_2 = -0.75m$$

\downarrow \downarrow
 $-75cm$ ∞

$P = \frac{1}{f_2} = -1.33D$

b) El defecto de visión de un ojo hipermetrope puede corregirse con lentes convergentes. La lente debe formar la imagen de los objetos cercanos en el punto próximo del ojo con defecto.

Si queremos que el hipermetrope pueda ver correctamente un objeto situado a 25cm, la lente correctora debe formar la imagen del objeto a 1m.

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1} = \frac{1}{-1m} - \frac{1}{-0.25m} \rightarrow \frac{1}{f_2} = 3D = P$$

5 página 253 libro texto

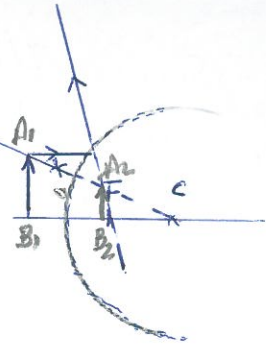
$R = 15\text{cm}$
 virtual
 $S_2 = 5\text{cm}$
 $y_2 = 1\text{cm}$

$$f = \frac{R}{2} = \frac{15}{2} = 7.5\text{cm}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_1} \rightarrow \frac{1}{7.5\text{cm}} = \frac{1}{5\text{cm}} + \frac{1}{S_1} \rightarrow \boxed{S_1 = -15\text{cm}}$$

$$A_L = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{S_2}{S_1} \quad \frac{1\text{cm}}{y_1} = -\frac{5\text{cm}}{-15\text{cm}} \rightarrow \boxed{y_1 = 3\text{cm}}$$

Imagen virtual, derecha y de menor tamaño, como corresponde a la imagen formada en un espejo cóncavo



6

$$R = -30\text{cm} \rightarrow f = \frac{R}{2} = -15\text{cm}$$

$$S_1 = -10\text{cm}$$

$$y_1 = 5\text{cm}$$

$$y_2 = ?$$

$$S_2 = ?$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_1} \rightarrow \text{Ecuación fundamental de un espejo esférico}$$

$$\frac{1}{-15\text{cm}} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{-10\text{cm}} \rightarrow \boxed{S_2 = 30\text{cm}}$$

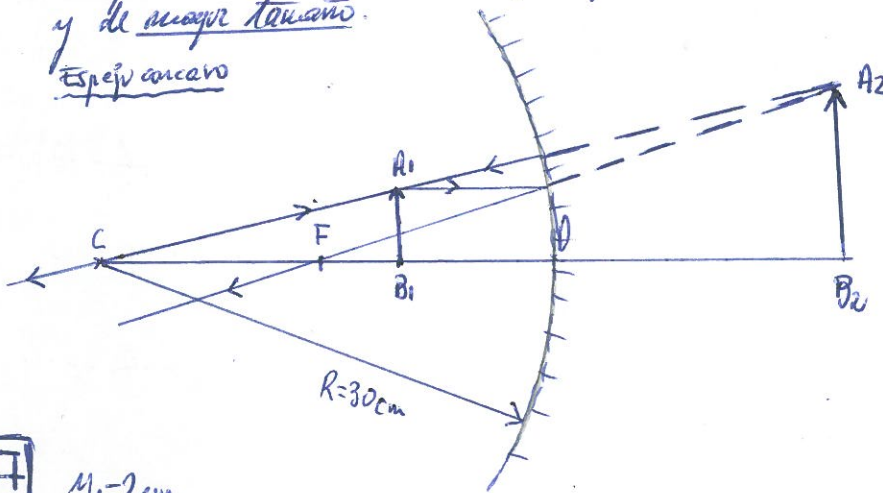
Aumento lateral A_L

$$A_L = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{S_2}{S_1} \rightarrow y_2 = y_1 \cdot \left(-\frac{S_2}{S_1}\right) = 5\text{cm} \cdot \left(-\frac{30\text{cm}}{-10\text{cm}}\right)$$

$$\boxed{y_2 = 15\text{cm}}$$

El objeto está situado entre el foco y el polo del espejo, y la imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño.

Espejo cóncavo



7

$$y_1 = 2\text{cm}$$

$$S_1 = -3\text{cm}$$

$$f_1 = -12\text{cm} \rightarrow f_2 = -f_1 = 12\text{cm}$$

(a) ¿Real o virtual?

(b) $y_2 = ?$

Ecuación del fabricante de lentes: $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1}$

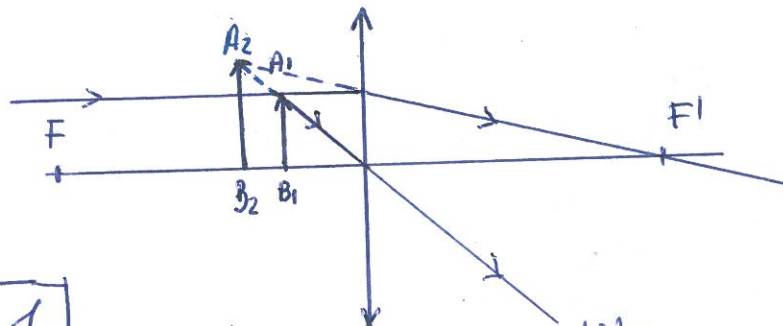
$$\frac{1}{12\text{cm}} = \frac{1}{S_2} - \frac{1}{-3\text{cm}} \rightarrow \boxed{S_2 = -4\text{cm}}$$

El aumento lateral

$$A_L = \frac{y_2}{y_1} = \frac{S_2}{S_1}$$

$$y_2 = y_1 \cdot \frac{S_2}{S_1} = 2\text{cm} \cdot \frac{-4\text{cm}}{-3\text{cm}} \rightarrow \boxed{y_2 = 2.67\text{cm}}$$

LENTE CONVERGENTE



El objeto está situado a una distancia de la lente menor que la distancia focal, la imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño que el objeto
VIRTUAL → la imagen se forma por la proyección de dos rayos refractados.

8 $y_2 = 25\text{cm}$
 $y_1 = 10\text{cm}$
 $S_1 = -100\text{cm}$
 $P = ?$
 Tipo de lente = ?

Utilizemos la ecuación del aumento lateral para hallar la posición de la imagen virtual

Imagen: $A_L = \frac{y_2}{y_1} = \frac{S_2}{S_1} \quad \frac{25\text{cm}}{10\text{cm}} = \frac{S_2}{-100\text{cm}} \rightarrow S_2 = -25\text{cm}$

Substituímos en la ecuación fundamental de la lente y calculamos su potencia

$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1} \rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{1}{-25\text{cm}} - \frac{1}{-100\text{cm}} \rightarrow f_2 = 1'67\text{m}$

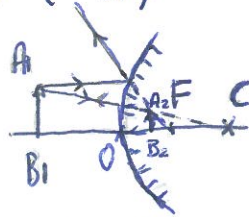
$P = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{1'67\text{m}} = 0'6\text{D}$

lente convergente donde el objeto se encuentre entre el foco objeto y el centro óptico, y la imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño

29 $y_1 = 15\text{cm}$
 $S_1 = -20\text{cm}$
 $f = +40\text{cm}$
 (por ser espejo convexo)
 $S_2 = ?$
 $y_2 = ?$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_1} \quad \frac{1}{40\text{cm}} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{-20\text{cm}} \rightarrow S_2 = -13'33\text{cm}$

$A_L = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{S_2}{S_1} \rightarrow y_2 = y_1 \cdot \left(-\frac{S_2}{S_1}\right) = 15\text{cm} \cdot \left(-\frac{-13'33\text{cm}}{-20\text{cm}}\right) = 10\text{cm}$



Espejo convexo imagen virtual, derecha y de menor tamaño

30 Espejo cóncavo
 $y_o = 3'5\text{cm}$
 $f = -9'5\text{cm}$
 $f_2 = 9'5\text{cm}$
 $S_1 = ?$
 Imagen ¿real o virtual?

$\frac{1}{f} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_1} \rightarrow \frac{1}{-9'5\text{cm}} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_1}$

$A_L = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{S_2}{S_1}$

$\frac{9'5\text{cm}}{3'5\text{cm}} = -\frac{S_2}{S_1} \rightarrow S_2 = -\frac{9'5}{3'5} \cdot S_1$

$\frac{1}{-9'5} = -\frac{3'5}{9'5 S_1} + \frac{1}{S_1} \cdot \frac{9'5}{3'5} - 1 = -\frac{3'5}{S_1} + \frac{9'5}{S_1} = \frac{6}{S_1} \rightarrow S_1 = -6\text{cm}$

$S_2 = -\frac{9'5}{3'5} \cdot S_1 = -\frac{9'5}{3'5} \cdot (-6)\text{cm} = 16'28\text{cm}$

Imagen virtual al estar el objeto entre el foco y el polo de la lente o centro óptico, derecha y de mayor tamaño

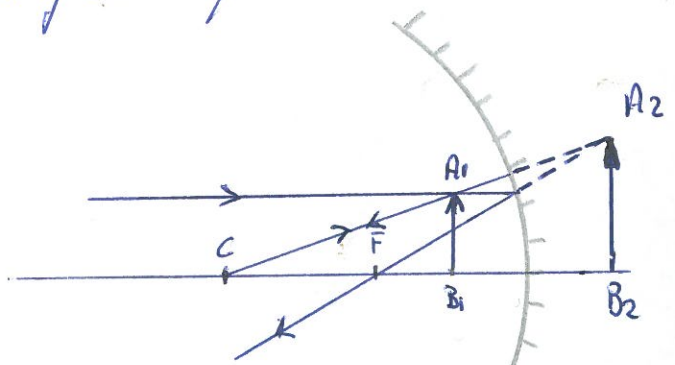
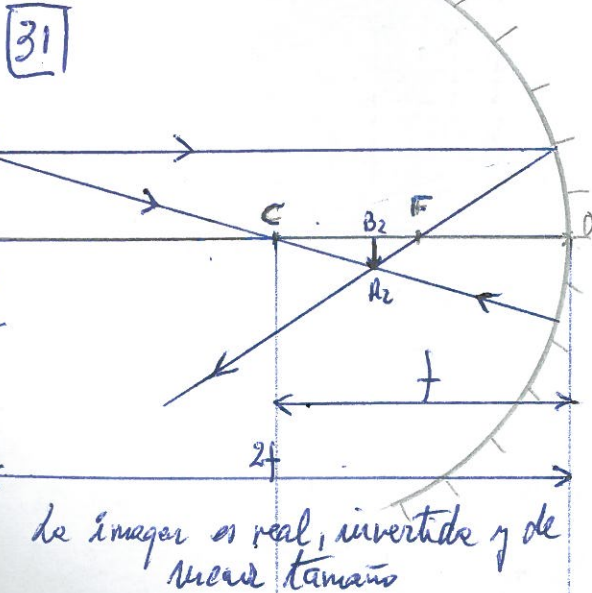


Imagen virtual, derecha y de mayor tamaño que el objeto

ESPEJO CONCAVO

32 $f = -20\text{cm}$
 $S_1 = -10\text{cm}$
 $\frac{1}{f} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_1} \rightarrow \frac{1}{-20\text{cm}} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{-10\text{cm}} \rightarrow \boxed{S_2 = 20\text{cm}}$

Por estar el objeto entre el foco y el polo del espejo, la imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño.
 $A_L = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{S_2}{S_1} = -\frac{20\text{cm}}{-10\text{cm}} = 2 \quad y_2 = 2y_1$ { Mayor tamaño (doble) que el objeto
 Por ser $\oplus \rightarrow$ imagen derecha

ESPEJO CONVEXO

$f = 20\text{cm}$
 $S_1 = -10\text{cm}$
 $\frac{1}{f} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_1} \rightarrow \frac{1}{20\text{cm}} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{-10\text{cm}} \rightarrow \boxed{S_2 = 6.67\text{cm}}$

La imagen de un objeto formada en un espejo convexo es siempre virtual, derecha y de menor tamaño que la del objeto.

33 $y_1 = 5\text{cm}$

$A_L = \frac{y_2}{y_1} = \frac{S_2}{S_1} \rightarrow \frac{-10\text{cm}}{5\text{cm}} = \frac{S_2}{S_1} \rightarrow S_2 = -2S_1$ Sustituimos este resultado en la ecuación fundamental de las lentes delgadas y calculamos la distancia objeto

$y_2 = -10\text{cm}$
 (invertida)

$f_2 = 10\text{cm}$

$S_1 = ?$

$f_2 > 0$ LENTE CONVERGENTE

$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1} \rightarrow \frac{1}{10\text{cm}} = \frac{1}{-2S_1} - \frac{1}{S_1} = \frac{-1-2}{2S_1} = -\frac{3}{2S_1}$

$\boxed{S_1 = \frac{-3 \cdot 10\text{cm}}{2} = -15\text{cm}}$

34 $f_2 = 0.5\text{cm}$

$S_1 = -0.51\text{cm}$

$y_1 = 5\text{cm}$

(a) Nitida imagen

(b) Tamaño mínimo (imagen entera)

(a) $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1} \rightarrow \frac{1}{0.5\text{cm}} = \frac{1}{S_2} - \frac{1}{-0.51\text{cm}} \rightarrow \boxed{S_2 = 25.5\text{cm}}$

La pantalla tiene que colocarse a 25.5 cm de la lente del proyector para que se observe nítida la imagen del objeto.

(b) A_L para calcular el tamaño de la imagen.

$A_L = \frac{y_2}{y_1} = \frac{S_2}{S_1} \rightarrow y_2 = \frac{S_2}{S_1} \cdot y_1 = \frac{25.5\text{cm}}{-0.51\text{cm}} \cdot 5\text{cm} = -250\text{cm}$
 (invertida)

40 $f = 6 \cdot 10^7 \text{Hz}$

$v = 0.75\text{c}$

$f_{\text{medio}} = ?$

$\lambda = ?$

La frecuencia es característica de la onda electromagnética y no varía, aunque la onda se propague por otro medio. Por tanto $f = 6 \cdot 10^7 \text{Hz}$

$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f} = \frac{0.75\text{c}}{6 \cdot 10^7 \text{Hz}} = \frac{0.75 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{m}}{6 \cdot 10^7 \text{Hz}} = 3.75\text{m}$

43 \rightarrow Virtual

8 página 258

$S_1 = -15\text{cm}$

$A_L = -2$

$A_L = ? \quad S_1 = 5\text{cm}$

Para hallar la posición de la imagen utilizamos la ecuación del aumento lateral

$A_L = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{S_2}{S_1} \rightarrow S_2 = -S_1 \cdot A_L = -(-15) \cdot (-2) = -30\text{cm}$

Distancia focal $\frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_1} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{-30\text{cm}} + \frac{1}{-15\text{cm}} = \frac{1}{f} \Rightarrow f = -10\text{cm}$

Volvemos a utilizar la ecuación fundamental del espejo para esta segunda posición y hallamos la posición de la imagen.

$$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{s_2} + \frac{1}{-5\text{cm}} = \frac{1}{-10\text{cm}}$$

y el aumento lateral es

$$M_L = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{s_2}{s_1} = -\frac{-10}{-5} = +2$$

9

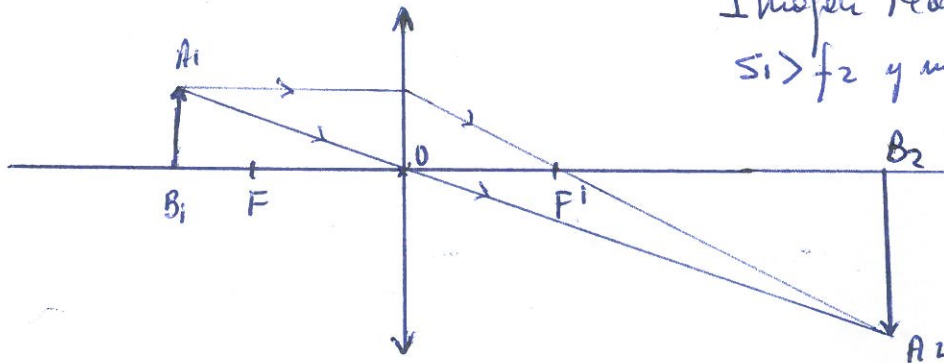
$D = +10D$
 $s_i = -15\text{cm}$
 ¿natural?!

$$\frac{1}{f_2} = P \rightarrow \frac{1}{f_2} = +10 \rightarrow f_2 = \frac{1}{10} \text{ m} = 0.1 \text{ m} = 10\text{cm}$$

$f_2 > 0 \rightarrow$ LENTE CONVERGENTE
 $s_2 = 30\text{cm} > 0 \rightarrow$ Imagen real

Imagen real y mayor tamaño
 $s_i > f_2$ y menor que el doble de la distancia focal
 \Rightarrow Imagen real, invertida y de mayor tamaño

(d)



10

Cuando una lente convergente forma una imagen real a la derecha de la lente, la distancia entre el objeto y la imagen es $\Delta = -s_1 + s_2$. Utilizando la ecuación fundamental de las lentes, debemos para escribir la distancia imagen en términos de la distancia objeto:

$$\frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f_2} \rightarrow \frac{1}{s_2} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{s_1} = \frac{s_1 + f_2}{s_1 f_2} \rightarrow s_2 = \frac{s_1 f_2}{s_1 + f_2}$$

Sustituimos este resultado para llegar a una expresión de la distancia entre el objeto y la imagen que solo depende de la posición del objeto.

$$\Delta = -s_1 + \frac{s_1 f_2}{s_1 + f_2} = \frac{-s_1^2 - s_1 f_2 + s_1 f_2}{s_1 + f_2} = \frac{-s_1^2}{s_1 + f_2}$$

Derivamos esta ecuación e igualamos a cero para hallar la distancia objeto que hace mínimo la separación entre objeto e imagen.

$$\frac{d\Delta}{ds_1} = \frac{-2s_1(s_1 + f_2) - s_1^2}{(s_1 + f_2)^2} = \frac{-2s_1^2 - 2s_1 f_2 - s_1^2}{(s_1 + f_2)^2} = \frac{-s_1^2 - 2s_1 f_2}{(s_1 + f_2)^2}$$

$$\frac{d\Delta}{ds_1} = 0 \rightarrow \begin{cases} s_1 = 0 \\ s_1 + 2f_2 = 0 \end{cases} \rightarrow \boxed{s_1 = -2f_2}$$

$\odot \rightarrow$ el objeto se coloca a la izqda. de la lente



2017-Modelo

A. Pregunta 4.- Una lente delgada forma de un objeto real, situado 40 cm delante de ella, una imagen real e invertida de igual tamaño que el objeto.

- a) Calcule la posición de la imagen y la potencia de la lente. $S_2 = 40 \text{ cm}$ $P = 5 \text{ dioptrías}$
 b) Realice la construcción gráfica de la imagen.

2016-Septiembre

A. Pregunta 4.- Un objeto está situado 3 cm a la izquierda de una lente convergente de 2 cm de distancia focal.

- a) Realice el diagrama de rayos correspondiente. *Imagen real, invertida y mayor*
 b) Determine la distancia de la imagen a la lente y el aumento lateral $S_2 = 6 \text{ cm}$ $A_L = -2$

2016-Junio

A. Pregunta 4.- Se sitúa un objeto de 2 cm de altura 30 cm delante de un espejo cóncavo, obteniéndose una imagen virtual de 6 cm de altura.

- a) Determine el radio de curvatura del espejo y la posición de la imagen. $R = -90 \text{ cm}$ $S_2 = 90 \text{ cm}$
 b) Dibuje el diagrama de rayos. *Imagen VIRTUAL, DERECHA Y DE MAYOR TAMAÑO*

2016-Modelo

A. Pregunta 4.- Se desea obtener una imagen virtual de doble tamaño que un objeto. Si se utiliza:

- a) Un espejo cóncavo de 40 cm de distancia focal, determine las posiciones del objeto y de la imagen respecto al espejo. $S_1 = -20 \text{ cm}$ $S_2 = 40 \text{ cm}$
 b) Una lente delgada de una dioptría de potencia, determine las posiciones del objeto y de la imagen respecto a la lente. $S_1 = -50 \text{ cm}$ $S_2 = -100 \text{ cm}$

2015-Septiembre

A. Pregunta 4.- Considere un espejo esférico cóncavo con un radio de curvatura de 60 cm. Se coloca un objeto, de 10 cm de altura, 40 cm delante del espejo. Determine:

- a) La posición de la imagen del objeto e indique si ésta es real o virtual. $S_2 = -120 \text{ cm}$ *Imagen: - REAL*
 b) La altura de la imagen e indique si ésta es derecha o invertida. $y_2 = -80 \text{ cm}$ *- INVERTIDA*
- MAYOR TAMAÑO

2015-Junio-Coincidentes

A. Pregunta 4.- Considere un espejo esférico cóncavo. Determine, realizando un diagrama de rayos, el tamaño y naturaleza de la imagen si se sitúa el objeto:

- a) Entre el espejo y el foco. *VIRTUAL, DERECHA, MAYOR TAMAÑO*
 b) A más distancia del espejo que el centro de curvatura. *REAL, INVERTIDA, MENOR.*

2015-Junio

A. Pregunta 4.- 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. $S_1 = -15 \text{ cm}$ $y_1 = 3 \text{ cm}$ *Imagen VIRTUAL, DERECHA*
Menor tamaño (virtudes)
 b) Dibuje el diagrama de rayos correspondiente.

B. Pregunta 4.- 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.

2015-Modelo

B. Pregunta 4.- 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.

2014-Septiembre

A. Pregunta 4.- Un objeto de 2 cm de altura se coloca 3 cm delante de una lente convergente cuya distancia focal es 12 cm.

- a) Dibuje el diagrama de rayos e indique si la imagen es real o virtual.
 b) Determine la altura de la imagen.

2014-Junio-Coincidentes

A. Pregunta 4.- Se sitúa un objeto delante de un espejo cóncavo a una distancia de éste mayor que su radio de curvatura.

- a) Realice el diagrama de rayos correspondiente a la formación de la imagen.
 b) Indique la naturaleza de la imagen y si ésta es de mayor o menor tamaño que el objeto.

B. Pregunta 4.- Una lente divergente forma una imagen virtual y derecha de un objeto situado 10

