

CUESTIONES Y PROBLEMAS SOBRE ÓPTICA

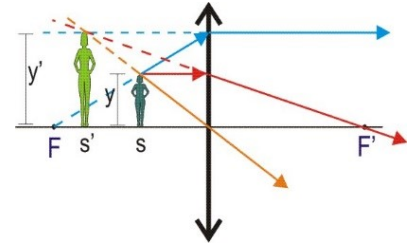
2022. Junio

C.2. a) Realice y explique el trazado de rayos para un objeto situado entre el foco objeto y una lente convergente. Justifique las características de la imagen.

b) Un objeto de 30 cm de altura se coloca a 2 m de distancia de una lente delgada divergente. La distancia focal de la lente es de 50 cm. Indicando el criterio de signos aplicado, calcule la posición y el tamaño de la imagen formada. Realice razonadamente el trazado de rayos y justifique la naturaleza de la imagen.

a) Determinamos geoméricamente la situación y características de la imagen mediante la trayectoria de 3 rayos:

- Rayo que incide paralelo al eje óptico, al salir de la lente, pasa por el foco imagen F'.
- Rayo que incide sobre el vértice, sale con el mismo ángulo con el que incidió.
- Rayo cuya línea pasa por el foco objeto, sale paralelo al eje óptico.



Características de la imagen: Es virtual, ya que los rayos no convergen en un punto, sino sus prolongaciones. Parecen provenir de un punto.

La imagen está al derecho y es mayor que el objeto, como vemos en el diagrama.

b) Tenemos una lente divergente. Nos dan las características del objeto. Usaremos normas DIN a la hora de medir las distancias, y las ecuaciones de las lentes delgadas.

Ecuación de la lente: $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$ Aumento lateral: $\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$

Posición de la imagen.

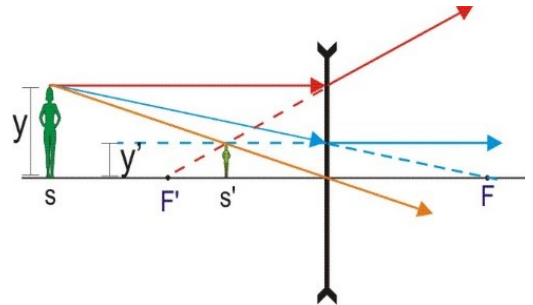
Datos: $y = 0,3 \text{ m}$, $s = -2 \text{ m}$, $f' = -0,5 \text{ m}$ (en una lente divergente la distancia focal f' es negativa)

$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$ → $\frac{1}{s'} - \frac{1}{-2} = \frac{1}{-0,5}$ → $s' = -0,4 \text{ m}$ posición de la imagen

Tamaño de la imagen $\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$ → $y' = \frac{s'}{s} \cdot y = 0,06 \text{ m}$

Trazado de rayos:

- Rayo que incide paralelo al eje óptico, al salir de la lente, su línea pasa por el foco imagen F'.
- Rayo que incide sobre el vértice, sale con el mismo ángulo con el que incidió.
- Rayo cuya línea pasa por el foco objeto, sale paralelo al eje óptico.



La imagen es virtual, ya que s' es negativa, la imagen está a la izquierda de la lente, los rayos no convergen en un punto, sino sus prolongaciones. La imagen es derecha (y' e y del mismo signo) y menor que el objeto.

2022. Julio.

- C1. a) Un rayo de luz monocromática se propaga por el aire e incide formando un ángulo de incidencia θ sobre una lámina de vidrio de caras planas y paralelas. El rayo atraviesa la lámina, se propaga por el vidrio y sale nuevamente al aire. i) Dibuje un esquema de la trayectoria que sigue el rayo en el proceso descrito. ii) Analice su velocidad, longitud de onda y frecuencia a lo largo del camino citado.
- b) Un rayo de luz monocromática se propaga desde el aire al agua, e incide formando un ángulo de 30° con la normal a la superficie. El rayo refractado forma un ángulo de 128° con el reflejado. i) Determine el ángulo de refracción ayudándose de un esquema. ii) Determine la velocidad de propagación de la luz en el agua. iii) Si el rayo luminoso se dirigiera desde el agua hacia el aire ¿a partir de qué ángulo de incidencia se produciría la reflexión total? Justifique sus respuestas.

$n_{\text{aire}} = 1; c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

En las distintas refracciones se cumple la ley de Snell $n_1 \text{ sen } \alpha_1 = n_2 \text{ sen } \alpha_2$

aire-vidrio: $n_1 \text{ sen } \theta = n_2 \text{ sen } \alpha_2$

Como las caras del vidrio son paralelas, el ángulo refractado α_2 coincide con el de incidencia en la 2ª refracción. Así:

vidrio-aire $n_2 \text{ sen } \alpha_2 = n_3 \text{ sen } \alpha_3$

por lo tanto $n_1 \text{ sen } \theta = n_3 \text{ sen } \alpha_3$ como $n_1 = n_3 = 1 \rightarrow$

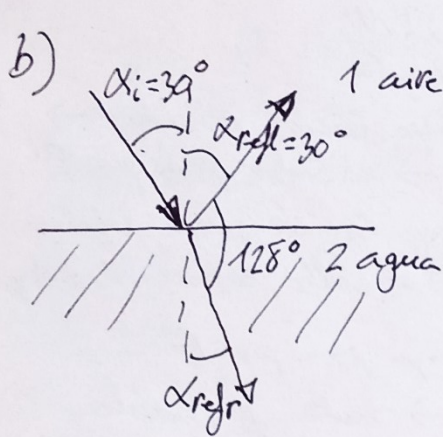
$\rightarrow \theta = \alpha_3$ el ángulo de emergencia coincide con el de incidencia.

ii) La velocidad de la luz depende exclusivamente del medio, siempre que este sea no dispersivo.

En el aire $v_1 = v_3 = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

En el vidrio $v_2 = \frac{c}{n_2} < c$ ya que $n_2 > n_1$

- La frecuencia depende sólo del foco emisor, por lo que se mantiene constante en todo el recorrido.
- La longitud de onda varía al cambiar de medio $\lambda = \frac{v}{f}$ como $v_2 < v_1 \rightarrow \lambda_2 < \lambda_1$ En el vidrio la longitud de onda es menor. Al pasar otra vez al aire vuelve a hacerse como al principio.



i) El rayo reflejado forma con la normal un ángulo igual al de incidencia $\alpha_{refl} = \alpha_i = 30^\circ$.
 Veamos en el esquema que $\alpha_{refl} + 128^\circ + \alpha_{refl_r} = 180^\circ \rightarrow \alpha_{refl_r} = 22^\circ$

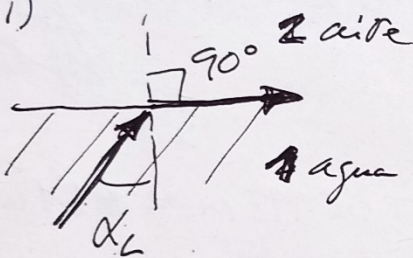
ii) Calculamos el índice de refracción del agua aplicando la ley de Snell

$$n_1 \text{ Sen } \alpha_i = n_2 \text{ Sen } \alpha_{refl_r} \rightarrow 1 \cdot \text{Sen } 30^\circ = n_2 \text{ Sen } 22^\circ \rightarrow n_2 = 1,33$$

calculamos la velocidad de la luz en el agua

$$n_2 = \frac{c}{v_2} \rightarrow v_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{1,33} = 2,256 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

iii)



El ángulo que nos piden es el ángulo límite α_c . Para ese ángulo de incidencia, el ángulo de refracción es 90°

Aplicando Snell $n_1 \text{ Sen } \alpha_1 = n_2 \text{ Sen } \alpha_2$
 agua aire

$$1,33 \cdot \text{Sen } \alpha_c = 1 \cdot \text{Sen } 90^\circ \rightarrow \text{Sen } \alpha_c = \frac{1}{1,33} \rightarrow \alpha_c = 48,75^\circ$$

2022. Julio.

- C2. a) Realice y explique el trazado de rayos para un objeto situado entre el foco objeto y el doble de la distancia focal de una lente convergente. Determine, justificadamente, las características de la imagen.
- b) Una lente delgada convergente de distancia focal 20 cm, forma una imagen situada a una distancia de 40 cm a su izquierda y 30 cm de altura. Calcule la posición y el tamaño del objeto, indicando el criterio de signos aplicado. Realice razonadamente el trazado de rayos y justifique la naturaleza de la imagen.

a) usando criterio de signos DIN.

Reglas:

- Rayo incidente paralelo \rightarrow al salir pasa por F'
- Rayo incidente sobre vertical \rightarrow al salir, con el mismo ángulo.
- Rayo para F \rightarrow sale paralelo.

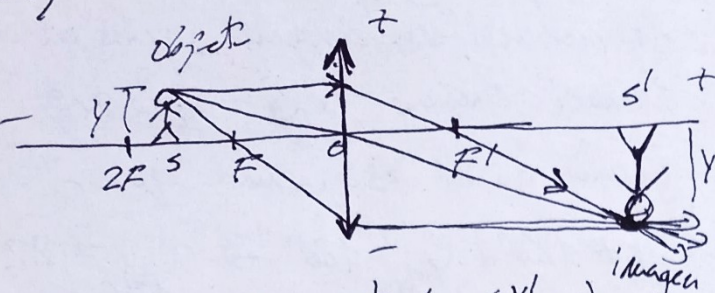


Imagen: Invertida ($\frac{y'}{y} < 0$)
 Mayor que el objeto ($|M| > |M|$)

Naturaleza: Real: Los rayos convergen en un punto

b) lente convergente: $f' > 0$ $f' = 0.2 \text{ m}$

Imagen: $s' = -0.4 \text{ m}$ (a la izda) $y' = 0.3 \text{ m}$

Aplicamos criterio de signos DIN

Ecuaciones de las lentes delgadas

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{-0.4} - \frac{1}{s} = \frac{1}{0.2} \rightarrow s = -0.133 \text{ m}$$

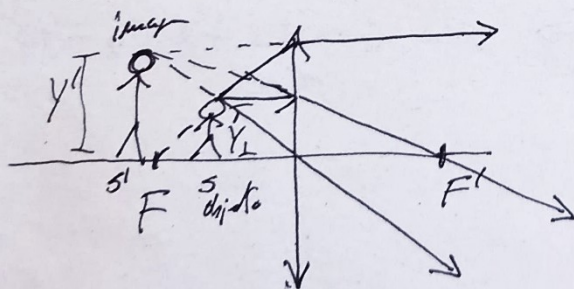
Posición del objeto

Aumento lateral

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \rightarrow \frac{0.3}{y} = \frac{-0.4}{-0.133} \rightarrow y = 0.0998 \text{ m} \approx 0.1 \text{ m}$$

Altura del objeto (10 cm)

Esquema de rayos



Reglas: expresadas en apdo a)

Imagen: Derecha $\frac{y'}{y} > 0$

Mayor $y' > y$

Virtual: Rayos divergen.

Parecen provenir de un punto

2021. Junio

C.1. a) Un rayo de luz monocromática pasa de un medio de índice de refracción n_1 a otro medio con índice de refracción n_2 , siendo $n_1 < n_2$. Razone y justifique la veracidad o falsedad de las siguientes frases: i) La velocidad de dicho rayo aumenta al pasar del primer medio al segundo. ii) La longitud de onda del rayo es mayor en el segundo medio.

b) Sea un recipiente que contiene agua que llega hasta una altura de 0,25 m, y sobre la que se ha colocado una capa de aceite. Procedente del aire, incide sobre la capa de aceite un rayo de luz que forma 50° con la normal a la superficie de separación aire-aceite. i) Haga un esquema de la trayectoria que sigue el rayo en los diferentes medios (aire, aceite y agua), en el que se incluyan los valores de los ángulos que forman con la normal los rayos refractados en el aceite y en el agua. ii) Calcule la velocidad de la luz en el agua.

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; $n_{\text{aire}} = 1$; $n_{\text{aceite}} = 1,47$; $n_{\text{agua}} = 1,33$

a) i) El índice de refracción de un medio indica la relación entre la velocidad de la luz en el vacío, y en dicho medio

$$n = \frac{c}{v} \quad . \text{ Si } n_1 < n_2 \rightarrow \frac{c}{v_1} < \frac{c}{v_2} \rightarrow v_2 < v_1$$

La velocidad disminuye al pasar al segundo medio. La afirmación es falsa.

ii) Al pasar de un medio a otro, la frecuencia f de la luz permanece constante, ya que sólo depende del foco emisor, pero su longitud de onda cambia al ser diferente la velocidad de propagación

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad v_2 < v_1 \rightarrow \lambda_2 < \lambda_1$$

La longitud de onda disminuye al pasar al segundo medio. La afirmación es falsa.

(Podría razonarse también con el índice de refracción, $n_1 \cdot \lambda_1 = n_2 \cdot \lambda_2 \rightarrow \text{como } n_1 < n_2 \rightarrow \lambda_2 < \lambda_1$)

b) i) Al pasar de un medio a otro, la luz sufre refracción. El rayo se desvía. Los ángulos que forman los rayos incidente y refractado con la normal están relacionados por la ley de Snell. $n_1 \cdot \text{sen} \alpha_1 = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_{\text{refr}}$

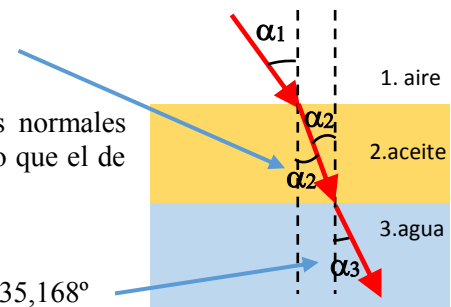
Medio 1(Aire) – Medio 2 (aceite): $n_1 = 1$; $\alpha_1 = 50^\circ$; $n_2 = 1,47$

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_1 = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_2 \rightarrow 1 \cdot \text{sen} 50^\circ = 1,47 \cdot \text{sen} \alpha_2 \rightarrow \alpha_2 = 31,407^\circ$$

Como las superficies de separación entre los medios son paralelas, las normales también lo son, por tanto, el ángulo de refracción en el aceite es el mismo que el de incidencia sobre el agua (dibujo)

Medio 2(aceite) – Medio 3 (agua): $n_2 = 1,47$; $\alpha_2 = 50^\circ$; $n_3 = 1,33$

$$n_2 \cdot \text{sen} \alpha_2 = n_3 \cdot \text{sen} \alpha_3 \rightarrow 1,47 \cdot \text{sen} 31,407^\circ = 1,33 \cdot \text{sen} \alpha_3 \rightarrow \alpha_3 = 35,168^\circ$$



ii) Velocidad de la luz en el agua. A partir del índice de refracción del agua:

$$n_{\text{agua}} = \frac{c}{v_{\text{agua}}} \rightarrow v_{\text{agua}} = \frac{c}{n_{\text{agua}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{1,33} = 2,256 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

(El dato de 0,25 m para la altura del agua es innecesario. Es probable que en la redacción inicial se pidiera algo del tipo “tiempo que tarda la luz en atravesar el agua”, que se suprimió luego, pero se olvidó el quitar el dato)

2021. Junio

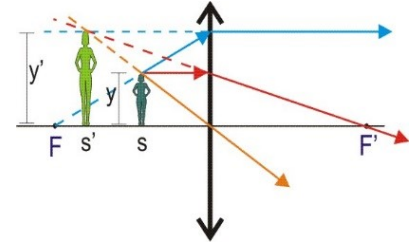
C.2. a) Con una lente queremos obtener una imagen virtual mayor que el objeto. Razone, realizando además el trazado de rayos correspondiente, qué tipo de lente debemos usar y dónde debe estar situado el objeto.

b) Un objeto de 30 cm de alto se encuentra a 60 cm delante de una lente divergente de 40 cm de distancia focal.

i) Calcule la posición de la imagen. ii) Calcule el tamaño de la imagen. iii) Explique, con ayuda de un diagrama de rayos, la naturaleza de la imagen formada. Justifique sus respuestas.

a) Para producir una imagen virtual que sea mayor que el objeto, debemos usar una lente convergente, ya que una lente divergente produce imágenes virtuales, pero menores que el objeto.

El objeto debe estar situado entre el foco objeto F y la lente. Si estuviera más alejado de la lente que F, la imagen sería real e invertida.



b) Tenemos una lente divergente. Nos dan las características del objeto. Usaremos normas DIN a la hora de medir las distancias, y las ecuaciones de las lentes delgadas.

Ecuación de la lente: $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$ Aumento lateral: $\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$

i) Posición de la imagen.

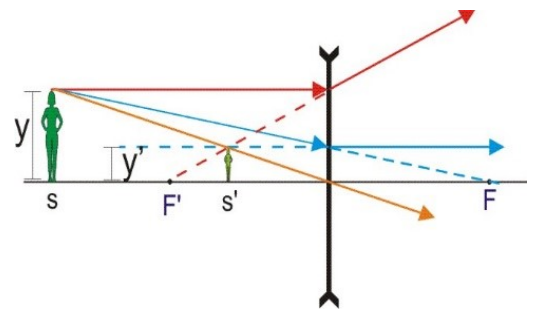
Datos: $y = 30 \text{ cm}$, $s = -60 \text{ cm}$, $f' = -40 \text{ cm}$ (en una lente divergente la distancia focal f' es negativa)

$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$ $\rightarrow \frac{1}{s'} - \frac{1}{-60} = \frac{1}{-40}$ $\rightarrow s' = -24 \text{ cm}$ posición de la imagen

ii) Tamaño de la imagen $\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \rightarrow y' = \frac{s' \cdot y}{s} = 12 \text{ cm}$

iii) Trazado de rayos

La imagen es virtual, ya que s' es negativa, la imagen está a la izquierda de la lente, los rayos no convergen en un punto, sino sus prolongaciones. La imagen es derecha (y' e y del mismo signo) y menor que el objeto.



2021. Julio

C.2. a) Razone y justifique la veracidad o falsedad de las siguientes frases: i) Cuando la luz pasa de un medio a otro experimenta un aumento de su velocidad si el segundo medio tiene un índice de refracción mayor que el primero. ii) La reflexión total de la luz en la superficie de separación de dos medios puede producirse cuando el índice de refracción del segundo medio es mayor que el del primero.

b) Un rayo de luz con componentes azul y roja de longitudes de onda en el aire de $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ y $6,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}$, respectivamente, incide desde el aire sobre una placa de un determinado material con un ángulo de 40° respecto a la normal a la superficie de la placa. i) Mediante un esquema, y de manera razonada, indique la trayectoria de los rayos azul y rojo, tanto en el aire como en el material. ii) Deduzca cuál de las dos componentes (azul o roja) se propaga más rápidamente en el interior de la lámina. iii) Determine las frecuencias de los rayos en el aire. $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; $n_{\text{aire}} = 1$; $n_{\text{material(azul)}} = 1,47$; $n_{\text{material(roja)}} = 1,44$

a) i) El índice de refracción de un medio indica la relación entre la velocidad de la luz en el vacío, y en dicho medio

$$n = \frac{c}{v} \text{ . Si } n_2 > n_1 \rightarrow \frac{c}{v_2} > \frac{c}{v_1} \rightarrow v_2 < v_1$$

La velocidad disminuye al pasar al segundo medio. La afirmación es falsa.

ii) La afirmación es falsa. Para que se produzca la reflexión total (la onda electromagnética no pasa a transmitirse por el otro medio, dándose sólo reflexión) es necesario que el índice de refracción del segundo medio sea menor que el del primero (incidencia). Aplicando la ley de Snell $n_1 \cdot \text{sen} \alpha_i = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_{\text{refr}}$, vemos que si $n_2 > n_1$, el ángulo refractado sería siempre menor que el ángulo de incidencia. Es decir, si vamos aumentando el ángulo de incidencia, éste llegaría a 90° , el máximo posible, sin que el ángulo refractado llegue a 90° (condición de ángulo límite a partir del cual se da refracción total). Se daría siempre refracción, el rayo siempre pasaría al segundo medio.

(De otra forma, a partir del concepto de ángulo límite y de su expresión, $\text{sen} \alpha_L = \frac{n_2}{n_1}$, se llega a que, para que exista el ángulo límite, necesariamente $n_1 > n_2$)

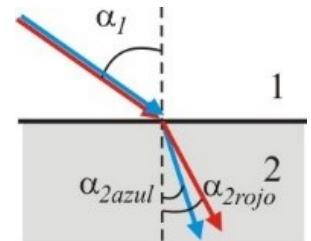
b) i) Al pasar de un medio a otro, la luz sufre refracción. El rayo se desvía. Los ángulos que forman los rayos incidente y refractado con la normal están relacionados por la ley de Snell. $n_1 \cdot \text{sen} \alpha_i = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_{\text{refr}}$

Rayo azul: $n_1 = 1$; $\alpha_1 = 40^\circ$; $n_2 = 1,47$

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_1 = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_2 \rightarrow 1 \cdot \text{sen} 40^\circ = 1,47 \cdot \text{sen} \alpha_2 \rightarrow \alpha_2 = 25,93^\circ$$

Rayo rojo: $n_1 = 1$; $\alpha_1 = 40^\circ$; $n_2 = 1,44$

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_1 = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_2 \rightarrow 1 \cdot \text{sen} 40^\circ = 1,44 \cdot \text{sen} \alpha_2 \rightarrow \alpha_2 = 26,51^\circ$$



Se cumple que, a mayor índice de refracción, menor ángulo refractado. El rayo azul se acerca más a la normal, desviándose más de la dirección original del rayo en el aire (mayor dispersión)

ii) El índice de refracción de un medio indica la relación entre la velocidad de la luz en el vacío, y en dicho medio $n = \frac{c}{v}$. Vemos que un índice de refracción mayor significa una menor velocidad en ese medio. Como el índice de refracción es mayor para la luz azul, el rayo azul se propagará a menor velocidad en el medio que el rayo rojo.

(También puede hacerse calculando las velocidades

$$v_{\text{azul}} = \frac{c}{n_{\text{azul}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{1,47} = 2,041 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$v_{\text{rojo}} = \frac{c}{n_{\text{rojo}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{1,44} = 2,083 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1})$$

iii) La frecuencia está relacionada con la longitud de onda por la relación: $f = \frac{v}{\lambda}$ En el aire: $f = \frac{c}{\lambda}$

$$f_{\text{azul}} = \frac{c}{\lambda_{\text{azul}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 6,67 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$f_{\text{rojo}} = \frac{c}{\lambda_{\text{rojo}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{6,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 4,35 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Julio 2020. 3

3. a) Determine, mediante trazado de rayos, la imagen que se produce en una lente convergente para un objeto situado a una distancia de la lente: i) Entre una y dos veces la distancia focal. ii) A más de dos veces la distancia focal. Indique, razonadamente, la naturaleza de la imagen en ambos casos.
 b) Situamos un objeto de 0,4 m de altura a 0,2 m de una lente convergente de 0,6 m de distancia focal. i) Realice la construcción geométrica del trazado de rayos. ii) Calcule de forma razonada: la posición, el tamaño y la naturaleza de la imagen formada.

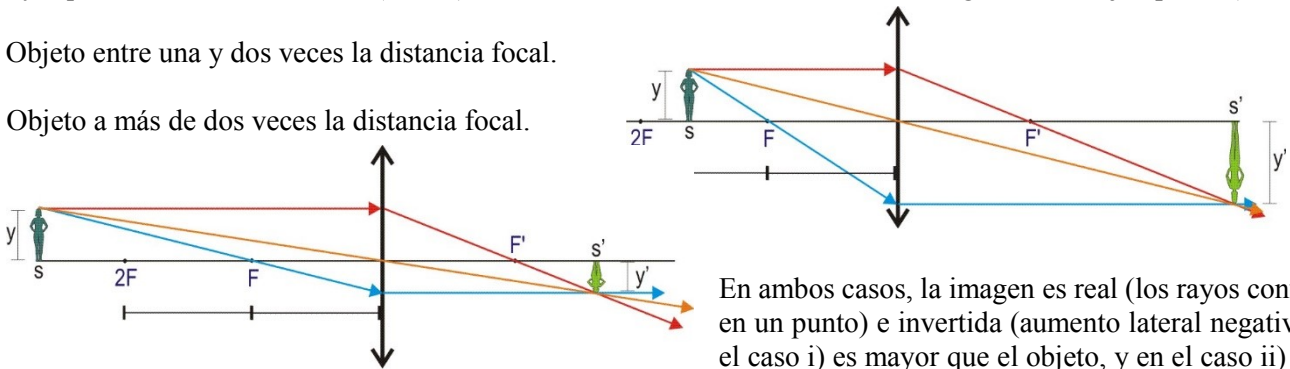
a) En una lente convergente, el foco imagen se encuentra a la derecha ($f' > 0$) y el foco objeto a la izquierda ($f < 0$)

Aplicando las reglas del trazado de rayos:

- Rayo que incide paralelo al eje óptico \rightarrow converge hacia el foco imagen F' (rojo)
- Rayo que incide pasando por el foco objeto $F \rightarrow$ sale paralelo al eje óptico (azul)
- Rayo que incide sobre el vértice (centro) de la lente \rightarrow Sale formando el mismo ángulo con el eje óptico. (naranja)

i) Objeto entre una y dos veces la distancia focal.

ii) Objeto a más de dos veces la distancia focal.



En ambos casos, la imagen es real (los rayos convergen en un punto) e invertida (aumento lateral negativo). En el caso i) es mayor que el objeto, y en el caso ii) menor

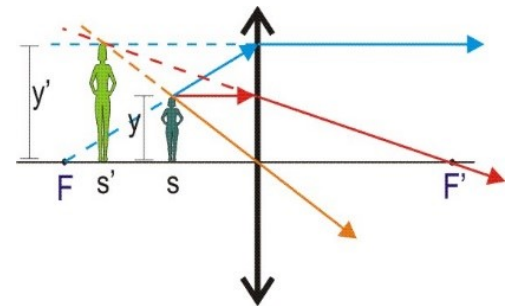
que el objeto.

b) Por los datos, tenemos una lente convergente con el objeto situado entre el foco objeto y la lente.

Usaremos normas DIN a la hora de medir las distancias.

Todas las distancias a la derecha de la lente o hacia arriba del eje óptico son positivas. Son negativas aquellas distancias a la izquierda de la lente o hacia abajo del eje óptico.

- y: tamaño del objeto: $y = 0,4 \text{ m}$
- s: posición del objeto $s = -0,2 \text{ m}$.
- f' : distancia focal (lente- F'). $f' = 0,6 \text{ m}$.
- s' : posición de la imagen
- y' : tamaño de la imagen.



i) Trazado de rayos. Aplicamos las reglas ya explicadas en el apartado a)

ii) Aplicamos las ecuaciones de Gauss para calcular posición y tamaño de

la imagen. Ecuación de la lente: $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$ Aumento lateral: $\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$

Posición $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$ $\rightarrow \frac{1}{s'} - \frac{1}{-0,2} = \frac{1}{0,6}$ $\rightarrow \frac{1}{s'} = -3,333$ $\rightarrow s' = -0,3 \text{ m}$

La imagen está situada a la izquierda de la lente. Es por tanto una **imagen virtual** (los rayos no convergen en un punto, sino que parecen divergir de él)

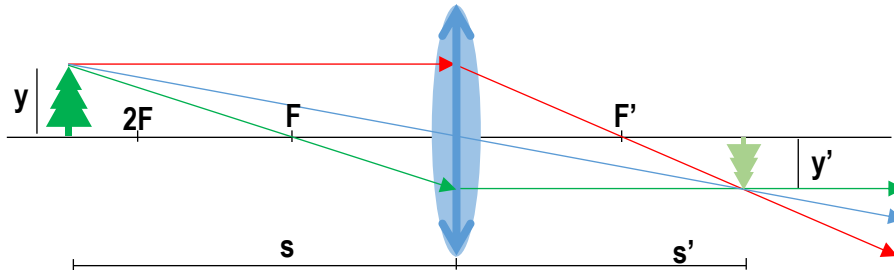
Tamaño $\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$ $\rightarrow \frac{y'}{0,4} = \frac{-0,3}{-0,2}$ $\rightarrow y' = 0,6 \text{ m}$

La imagen es **mayor que el objeto**, y está **derecha** (y e y' tienen igual signo).

Junio 2019. A. 3

3. a) **Construya, razonadamente, la imagen de un objeto situado delante de una lente convergente a una distancia mayor que el doble de la distancia focal. A partir de la imagen obtenida indique, razonadamente, las características de la misma: real o virtual, si está derecha o invertida y su tamaño.**
 b) **A 4 m delante de una lente divergente se sitúa un objeto de tamaño 1 m. si la imagen se forma delante de la lente a una distancia de 1 m, calcule: i) la distancia focal justificando el signo obtenido. ii) Tamaño de la imagen indicando si está derecha o invertida respecto al objeto.**

a)



Trazado de rayos en una lente convergente:

- Rayo que incide paralelo al eje óptico → converge hacia el foco imagen F' (rojo)
- Rayo que incide pasando por el foco objeto F → sale paralelo al eje óptico (verde)
- Rayo que incide sobre el vértice (centro) de la lente → Sale formando el mismo ángulo con el eje óptico. (azul)

La imagen obtenida es real, ya que los rayos convergen en un punto. Si colocáramos una pantalla en ese punto, se vería la imagen.

La imagen obtenida está invertida y es menor que el objeto (Si el objeto estuviera entre 2F y F, la imagen sería mayor)

b) Usaremos normas DIN a la hora de medir las distancias.

Todas las distancias a la derecha de la lente o hacia arriba del eje óptico son positivas. Son negativas aquellas distancias a la izquierda de la lente o hacia abajo del eje óptico.

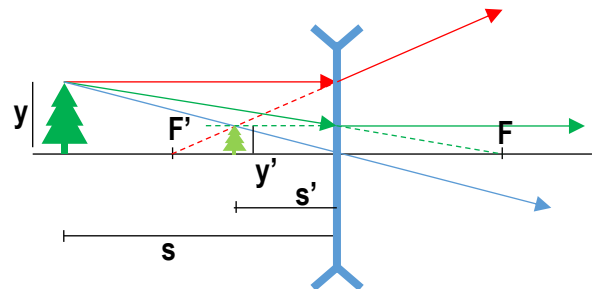
y: tamaño del objeto: $y = 1$ m

s: posición del objeto $s = -4$ m.

f': distancia focal (lente-F'). Es negativa en lentes divergentes.

s': posición de la imagen $s' = -1$ m.

y': tamaño de la imagen.



Ecuaciones de Gauss: Ecuación de la lente: $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$

Aumento lateral: $\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$

Aplicando estas ecuaciones obtenemos los valores de i) f', ii) y' .

i) $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{-1} - \frac{1}{-4} = \frac{1}{f'} \rightarrow -\frac{3}{4} = \frac{1}{f'} \rightarrow f' = -1,333 \text{ m}$

Es un valor negativo, ya que en una lente divergente el foco imagen F' está a la izquierda de la lente.

ii) $\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \rightarrow \frac{y'}{1} = \frac{-1}{-4} \rightarrow y' = 0,25 \text{ m}$

La imagen es menor que el objeto (la cuarta parte) y está derecha, ya que el signo de y' es el mismo que el de y. Además, la imagen es virtual, los rayos no convergen en un punto, sino que parecen divergir de él ($s' < 0$).

Junio 2018. B. 3

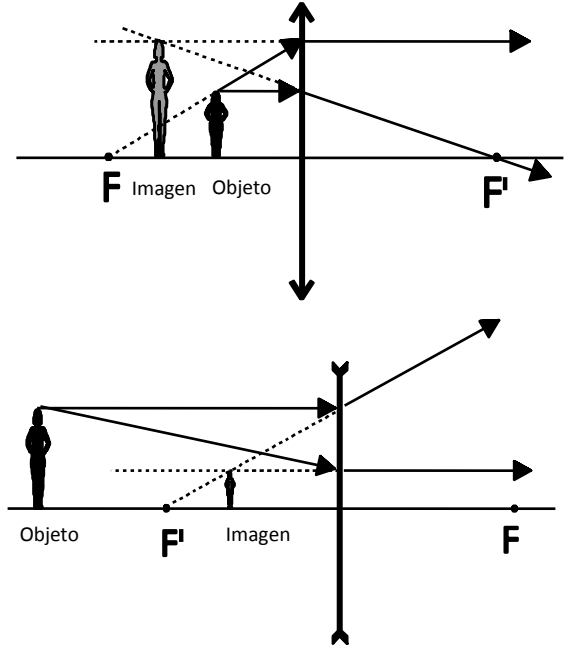
3. a) Explique dónde debe estar situado un objeto respecto a una lente delgada para obtener una imagen virtual y derecha: (i) Si la lente es convergente; (ii) si la lente es divergente. Realice en ambos casos las construcciones geométricas del trazado de rayos e indique si la imagen es mayor o menor que el objeto.

b) Un objeto luminoso se encuentra a 4 m de una pantalla. Mediante una lente situada entre el objeto y la pantalla se pretende obtener una imagen del objeto sobre la pantalla que sea real, invertida y tres veces mayor que él. Determine el tipo de lente que se tiene que utilizar, así como su distancia focal y la posición en la que debe situarse, justificando sus respuestas.

a) Un sistema óptico produce una imagen virtual cuando los rayos provenientes de un punto del objeto, al atravesar el sistema, no convergen en un punto, sino que se separan, parece que vienen de un punto, la imagen virtual. Si prolongamos hacia atrás los rayos, se juntarían en ese punto.

(i) En el caso de una lente convergente, el objeto debe encontrarse entre el foco y la lente, es decir, a una distancia de la lente menor que su distancia focal. Es el caso de una lupa. La imagen es virtual, derecha y mayor que el objeto.

(ii) En el caso de una lente divergente, da igual dónde coloquemos el objeto. Siempre se producirá una imagen virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto.



b) Para producir una imagen real e invertida mediante una lente, ésta debe ser convergente, y el objeto debe estar más alejado de la lente que su punto focal. Si queremos, además, que la imagen sea mayor que el objeto, la distancia s del objeto a la lente, no debe ser superior a dos veces la distancia focal, a partir de ahí, las imágenes producidas son menores que el objeto.

Usamos las ecuaciones de Newton de las lentes delgadas, aplicando las normas DIN:

- s : distancia objeto-lente (es un nº negativo, el objeto se coloca a la izquierda de la lente)
- s' : distancia imagen-lente (positiva si está a la derecha, negativa si está la izquierda de la lente)
- f' : distancia focal (positiva en las lentes convergentes, negativa en las lentes divergentes)
- y : tamaño del objeto (normalmente se coloca hacia arriba del eje óptico, por lo que es un nº positivo)
- y' : tamaño de la imagen (positivo si la imagen es derecha, negativo si está invertida)

Ecuación de la lente: $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$ Aumento lateral: $\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$

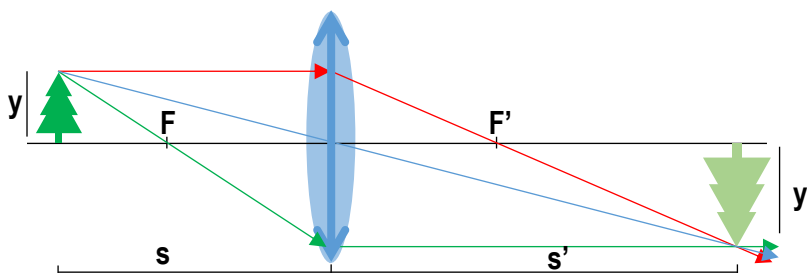
La imagen es 3 veces mayor que el objeto y está invertida: el aumento lateral es negativo $\frac{y'}{y} = -3$

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \rightarrow -3 = \frac{s'}{s} \rightarrow s' = -3 \cdot s$$

Nos dicen que la distancia entre el objeto y la imagen es de 4 m, por lo que la suma de las distancias s y s' (en valor absoluto), debe ser 4 m. Como s es negativa, debemos cambiar su signo.

$$\left. \begin{array}{l} -s + s' = 4 \text{ m} \\ s' = -3s \end{array} \right\} \quad -4 \cdot s = 4 \rightarrow s = -1 \text{ m} \quad \rightarrow \quad s' = 3 \text{ m}$$

Calculamos la distancia focal: $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{3} - \frac{1}{-1} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{f'} = \frac{4}{3} \text{ m} \rightarrow f' = 0,75 \text{ m}$



Junio 2017. A.3

3. a) Explique la naturaleza de las ondas electromagnéticas e indique las distintas zonas en las que se divide el espectro electromagnético, indicando al menos una aplicación de cada una de ellas.

b) Una antena de radar emite en el vacío radiación electromagnética de longitud de onda 0,03 m, que penetra en agua con un ángulo de incidencia de 20° respecto a la normal. Su velocidad en el agua se reduce al 80 % del valor en el vacío. Calcule el periodo, la longitud de onda y el ángulo de refracción en el agua. $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

a) Las ondas electromagnéticas (o.e.m.) consisten en oscilaciones de campos eléctricos y magnéticos que se propagan por el vacío y otros medios transparentes. Son ondas armónicas y transversales. La perturbación que se propaga consiste en un campo eléctrico y otro magnético oscilantes, perpendiculares entre sí y también perpendiculares a la dirección de propagación.

Su velocidad de propagación se calcula con $v = \frac{1}{\sqrt{\mu \cdot \epsilon}}$, dependiendo por tanto de las permitividades eléctrica y

magnética del medio. En el vacío $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (velocidad de la luz en el vacío. En cualquier otro medio

$v < c$).

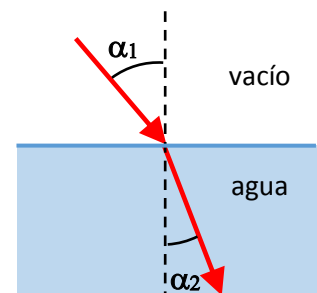
Las o.e.m. son producidas por cargas eléctricas aceleradas (cargas oscilantes, circuitos eléctricos, transiciones electrónicas y/o nucleares...)

Zonas del espectro electromagnético: Las distintas ondas electromagnéticas se diferencian sólo en su frecuencia y en la energía que emiten, por lo que su clasificación es subjetiva, en base a nuestra capacidad de detectarlas y la aplicación que les demos. De menor a mayor frecuencia:

- Ondas de radio: Aplicación: Comunicaciones (radio, televisión, wifi, telefonía), radar.
- Microondas: Aplicación: Telecomunicaciones vía satélite, hornos microondas.
- Infrarrojos: Aplicación: Calentamiento (radiadores), cámaras de visión nocturna, mandos a distancia.
- Luz visible: Aplicación: Óptica, iluminación, leds, láser...
- Ultravioleta: Aplicación: Esterilización, investigación policial
- Rayos X: Aplicación: Radiografías, TAC, Cristalografía, radioterapia.
- Rayos gamma: Aplicación: Radioterapia, astronomía.

Todas las diferentes categorías del espectro tienen aplicación en Astronomía, usando el tipo de telescopio adecuado para captar las distintas frecuencias.

b) Al incidir la onda electromagnética que se propaga por el vacío en la frontera con otro medio, el agua, se produce por una parte el fenómeno de reflexión (del que no nos vamos a ocupar en esta cuestión) y por otra la refracción de la onda. Se genera una nueva onda que se propaga por el agua, y cuya frecuencia es igual a la de la onda incidente, pero cuya velocidad de propagación será distinta, ya que depende del medio. Esto hace que la longitud de onda también cambie, así como el ángulo que los rayos forman con la normal (ángulo de refracción).



En el vacío, la velocidad de la onda es $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Su frecuencia será $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{0,03 \text{ m}} = 10^{10} \text{ Hz}$

En el agua, la velocidad de propagación se reduce al 80% $v_2 = 0,8 \cdot c = 2,4 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$

La frecuencia de la onda refractada será igual que la incidente, ya que no depende del medio

El periodo en el agua (igual que en el vacío) $T_2 = \frac{1}{f} = \frac{1}{10^{10} \text{ s}^{-1}} = 10^{-10} \text{ s}$

La longitud de onda en el agua $\lambda_2 = \frac{v_2}{f} = \frac{2,4 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{10^{10} \text{ s}^{-1}} = 0,024 \text{ m}$

El ángulo de refracción lo calculamos aplicando la ley de Snell

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_1 = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_2$$

$$n_1 = 1 \text{ (vacío)} \quad n_2 = \frac{c}{v_2} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{2,4 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}} = 1,25$$

$$\alpha_1 = 20^\circ$$

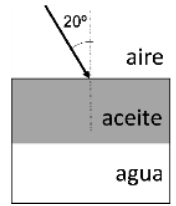
$$\text{Así} \quad 1 \cdot \text{sen} 20^\circ = 1,25 \cdot \text{sen} \alpha_2 \quad \rightarrow \quad \alpha_2 = 15,88^\circ$$

Junio 2017. B. 3

3. a) **Enuncie las leyes de la reflexión y de la refracción de la luz. Explique la diferencia entre ambos fenómenos.**

b) **Sea un recipiente con agua cuya superficie está cubierta por una capa de aceite. Realice un diagrama que indique la trayectoria de los rayos de luz al pasar del aire al aceite y después al agua. Si un rayo de luz incide desde el aire sobre la capa de aceite con un ángulo de 20°, determine el ángulo de refracción en el agua. ¿Con qué velocidad se desplazará la luz por el aceite?**

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; $n_{\text{aire}} = 1$; $n_{\text{aceite}} = 1,45$; $n_{\text{agua}} = 1,33$



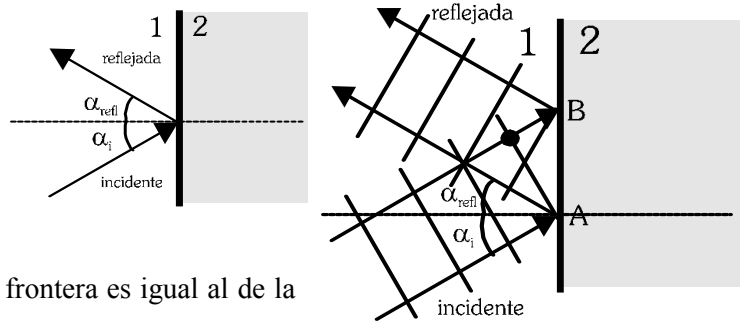
a) **Reflexión:** Al llegar la onda incidente a la frontera con el medio 2, los puntos de la frontera generan una nueva onda que se propaga por el medio 1.

La onda reflejada tiene igual f , λ , y velocidad de propagación que la onda incidente.

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

El ángulo que forma la dirección con la normal a la frontera es igual al de la onda incidente.

$$\alpha_i = \alpha_{refl}$$



Refracción: Se forma una onda luminosa que se transmite por el nuevo medio. Los puntos de la frontera se contagian de la vibración de la onda incidente y dan lugar a lo que se denomina onda refractada.

La frecuencia de la onda sigue siendo la misma (dependía sólo del foco emisor), pero como ahora el medio es diferente, la velocidad de propagación también lo será y, por tanto también variarán λ , k .

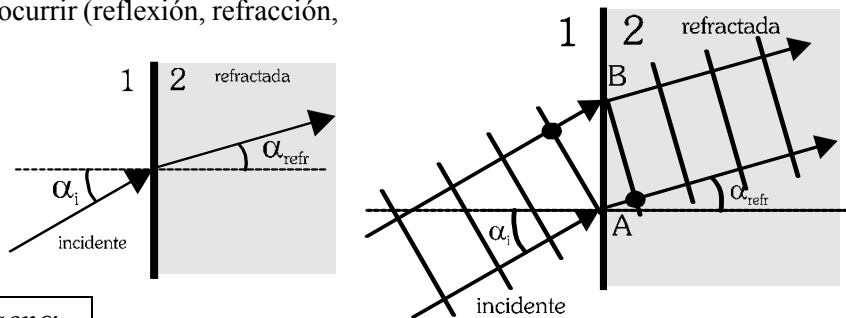
La amplitud de la onda refractada será menor que la de la onda incidente, ya que la energía de la onda incidente debe repartirse entre los tres procesos que pueden ocurrir (reflexión, refracción, absorción).

El rayo incidente, el refractado y la normal están en el mismo plano.

La dirección en la que se propaga la nueva onda refractada también es diferente.

Existe una relación entre los ángulos que forman los rayos incidente y refractado con la normal a la superficie. Esta relación se conoce como *ley de Snell*.

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_i = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_{refr}$$



Donde n es el índice de refracción de cada medio, que indica el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y en el medio.

$$n \geq 1 \quad n = \frac{c}{v}$$

Diferencias:

- Medio por el que se propaga. La onda reflejada se propaga por el mismo medio que la onda incidente, mientras que la onda refractada se propaga por el nuevo medio. En esta diferencia se basan todas las que se exponen a continuación.

- Velocidad de propagación: La onda reflejada se transmite a la misma velocidad que la incidente. La onda refractada se propaga a una velocidad $v = \frac{c}{n}$, siendo n el índice de refracción del medio. Como el medio cambia, v también.

- La longitud de onda de la onda reflejada es igual a la de la onda incidente (ya que su velocidad es la misma). La longitud de onda de la onda refractada es diferente.

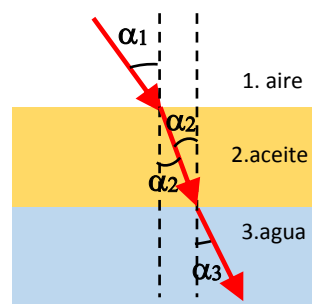
- El ángulo de reflexión coincide con el de incidencia. El ángulo de refracción varía, y viene dado por la ley de Snell

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_i = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_{refr}$$

b) El rayo de luz sufre dos refracciones al atravesar las dos interfases aire-aceite y aceite-agua. Vemos que, como las dos interfases son paralelas, el ángulo de refracción al pasar del aire al aceite (α_2) coincide con el ángulo de incidencia al pasar del aceite al agua. Podemos aplicar la ley de Snell a ambas refracciones: $n_1 \cdot \text{sen} \alpha_1 = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_2 = n_3 \cdot \text{sen} \alpha_3$ por lo que $n_1 \cdot \text{sen} \alpha_1 = n_3 \cdot \text{sen} \alpha_3 \rightarrow 1 \cdot \text{sen} 20^\circ = 1,33 \cdot \text{sen} \alpha_3 \rightarrow \alpha_3 = 14,9^\circ$

La velocidad de la luz en el aceite

$$v_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{1,45} = 2,07 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$



Junio 2106. B. 4

4. Un rayo de luz con una longitud de onda de 300 nm se propaga en el interior de una fibra de vidrio, de forma que sufre reflexión total en sus caras.

a) Determine para qué valores del ángulo que forma el rayo luminoso con la normal a la superficie de la fibra se producirá reflexión total si en el exterior hay aire. Razone la respuesta.

b) ¿Cuál será la longitud de onda del rayo de luz al emerger de la fibra óptica?

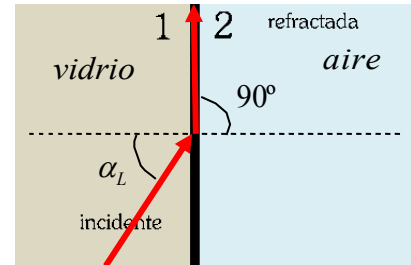
$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} ; n_{\text{vidrio}} = 1,38 ; n_{\text{aire}} = 1$$

a) La cuestión se refiere al concepto de ángulo límite, el ángulo de incidencia a partir del cual sólo se produce reflexión, no refracción, ya que el ángulo que forma el rayo refractado con la normal es de 90° y ya no pasa al otro medio.

Si $n_1 > n_2$, el ángulo de refracción siempre será mayor que el de incidencia,

Si aumentamos el ángulo de incidencia, llegará un momento en que α_{refr} se haga 90°. Entonces el rayo no pasa al medio 2 (al aire en este caso). No tenemos refracción, sino sólo reflexión.

A esto se le conoce como **reflexión total**. El ángulo de incidencia a partir del cual ocurre esto se le denomina **ángulo límite** α_{iL} (o α_L).



Aplicando la ley de Snell $\frac{\text{sen}\alpha_L}{\text{sen}90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \text{sen}\alpha_L = \frac{n_2}{n_1}$

El fenómeno de refracción total sólo se produce si $n_1 > n_2$, como es el caso de la cuestión, pero no al contrario. La expresión anterior no tendría una solución real para α_L .

El ángulo a partir del cual no se produciría rayo refractado en el aire, y habría reflexión total, es

$$\text{sen}\alpha_L = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1,38} = 0,725 \rightarrow \alpha_L = 46,44^\circ \quad \text{Reflexión total para } \alpha \geq 46,44^\circ$$

b) Al emerger el rayo de luz desde la fibra óptica al aire, cambia de medio, por lo que algunas características de la onda refractada serán diferentes de las de la onda incidente. La velocidad de propagación cambia, con lo que la longitud de onda también lo hará. La frecuencia se mantiene constante, ya que sólo depende del foco emisor.

Calculamos la velocidad de propagación en el vidrio a partir de su índice de refracción.

$$n_{\text{vidrio}} = \frac{c}{v_{\text{vidrio}}} \rightarrow v_{\text{vidrio}} = \frac{c}{n_{\text{vidrio}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{1,38} = 2,17 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

La frecuencia de la luz, conociendo su longitud de onda en el vidrio

$$f = \frac{v_{\text{vidrio}}}{\lambda_{\text{vidrio}}} = \frac{2,17 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{300 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 7,23 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Calculamos finalmente la longitud de onda en el aire, sabiendo que la velocidad de propagación es c , y que la frecuencia no ha cambiado respecto al vidrio.

$$\lambda_{\text{aire}} = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{7,23 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 4,149 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 414,9 \text{ nm}$$

La longitud de onda es mayor en el aire que en el vidrio, ya que la velocidad de propagación es mayor.

Junio 2015. B.4

4. Un rayo de luz roja, de longitud de onda en el vacío $650 \cdot 10^{-9} \text{ m}$, emerge al agua desde el interior de un bloque de vidrio con un ángulo de 45° . La longitud de onda en el vidrio es $433 \cdot 10^{-9} \text{ m}$.

- a) Dibuje en un esquema los rayos incidente y refractado y determine el índice de refracción del vidrio y el ángulo de incidencia del rayo.
 b) ¿Existen ángulos de incidencia para los que la luz sólo se refleja? Justifique el fenómeno y determine el ángulo a partir del cual ocurre este fenómeno.

$n_{\text{agua}} = 1,33$

- a) En la situación que nos propone la cuestión se está produciendo el fenómeno de refracción de la luz al pasar de un medio a otro. Al cambiar la velocidad de propagación, el frente de onda se desvía y el ángulo α_2 que forma el rayo refractado con la normal a la frontera también cambia.

En la refracción, la frecuencia f de la luz no cambia, ya que ésta sólo depende del foco, pero sí lo hace la longitud de onda λ , que depende tanto del foco como del medio por el que se propaga la onda electromagnética.

$\lambda = \frac{v}{f}$, donde v es la velocidad de propagación en el medio.

Calculamos en primer lugar la frecuencia de la onda a partir de su longitud de onda en el vacío.

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{c}{\lambda_{\text{vacío}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{650 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 4,62 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

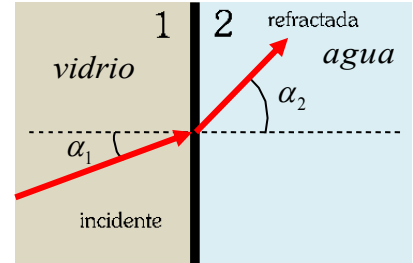
Conociendo la frecuencia, que se mantiene constante, calculamos ahora la velocidad de propagación en el vidrio.

$$f = \frac{v_{\text{vidrio}}}{\lambda_{\text{vidrio}}} \rightarrow v_{\text{vidrio}} = f \cdot \lambda_{\text{vidrio}} = 4,62 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} \cdot 433 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 2,00 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

Y el índice de refracción del vidrio será $n_1 = \frac{c}{v_{\text{vidrio}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1,5$

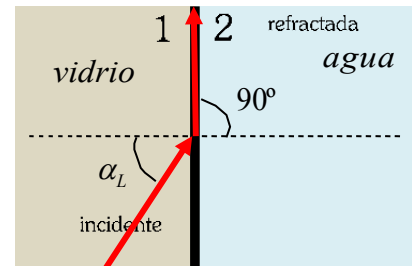
Para calcular el ángulo de incidencia en el vidrio, aplicamos la ley de Snell, que relaciona los ángulos de incidencia α_1 y de refracción α_2 , con los índices de refracción n_1 del vidrio y n_2 del agua.

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_1 = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_2 \rightarrow 1,5 \cdot \text{sen} \alpha_1 = 1,33 \cdot \text{sen} 45^\circ \rightarrow \text{sen} \alpha_1 = 0,627 \rightarrow \alpha_1 = 38,83^\circ$$



- b) La cuestión se refiere al concepto de ángulo límite, el ángulo de incidencia a partir del cual sólo se produce reflexión, no refracción, ya que el ángulo que forma el rayo refractado con la normal es de 90° y ya no pasa al otro medio.

Si $n_1 > n_2$, el ángulo de refracción siempre será mayor que el de incidencia, Si aumentamos el ángulo de incidencia, llegará un momento en que α_{refr} se haga 90° . Entonces el rayo no pasa al medio 2. No tenemos refracción, sino sólo reflexión. A esto se le conoce como **reflexión total**. El ángulo de incidencia para el que ocurre esto se le denomina **ángulo límite** α_{iL} (o α_L).



Aplicando la ley de Snell $\frac{\text{sen} \alpha_L}{\text{sen} 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \text{sen} \alpha_L = \frac{n_2}{n_1}$

El fenómeno de refracción total sólo se produce si $n_1 > n_2$, como es el caso de la cuestión, pero no al contrario. La expresion anterior no tendría una solución real para α_L .

El ángulo a partir del cual no se produciría rayo refractado en el agua, y habría reflexión total, es

$$\text{sen} \alpha_L = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,33}{1,5} = 0,887 \rightarrow \alpha_L = 62,46^\circ$$

Junio 2014. A. 2

2. a) Explique los fenómenos de reflexión y refracción de la luz y las leyes que lo rigen.

b) Razone si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:

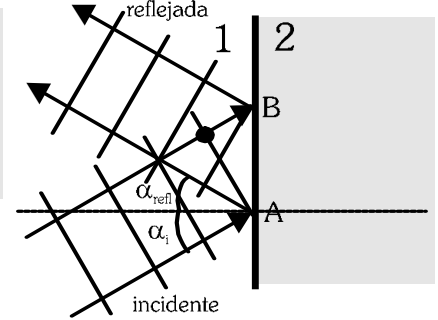
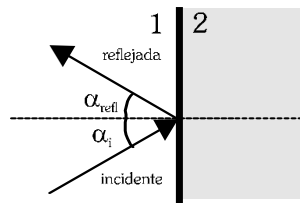
- i) la imagen de un objeto en un espejo convexo es siempre real, derecha y de menor tamaño que el objeto.**
- ii) La luz cambia su longitud de onda y su velocidad de propagación al pasar del aire al agua.**

a) La luz visible es un tipo particular de onda electromagnética. Como toda onda, puede sufrir reflexión y refracción. Son dos fenómenos ondulatorios que ocurren cuando una onda (luz, en este caso) que se propaga por un medio incide sobre la frontera con otro medio distinto. Además, puede que parte de la energía de la onda incidente sea absorbida por las partículas del nuevo medio.

Reflexión: Al llegar la onda incidente a la frontera con el medio 2, los puntos de la frontera generan una nueva onda que se propaga por el medio 1.

La onda reflejada tiene igual f , λ , y velocidad de propagación que la onda incidente.

El ángulo que forma la dirección con la normal a la frontera es igual al de la onda incidente. $\alpha_i = \alpha_{refl}$

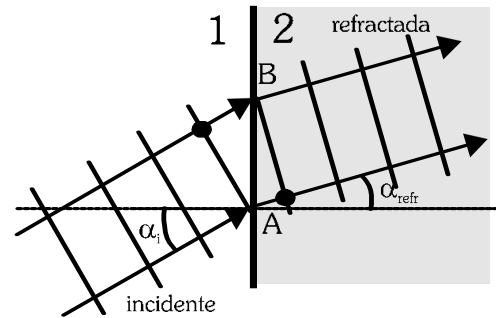
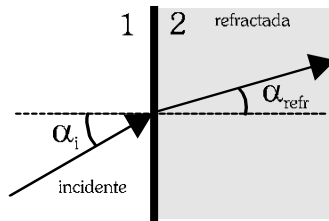


Refracción: Se forma una onda luminosa que se transmite por el nuevo medio. Los puntos de la frontera se contagian de la vibración de la onda incidente y dan lugar a lo que se denomina onda refractada.

La frecuencia de la onda sigue siendo la misma (dependía sólo del foco emisor), pero como ahora el medio es diferente, la velocidad de propagación también lo será y, por tanto también variarán λ , k .

La amplitud de la onda refractada será menor que la de la onda incidente, ya que la energía de la onda incidente debe repartirse entre los tres procesos que pueden ocurrir (reflexión, refracción, absorción)

La dirección en la que se propaga la nueva onda refractada también es diferente. Existe una relación entre los ángulos que forman los rayos incidente y refractado con la normal a la superficie. Esta relación se conoce como *ley de Snell*.



$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_i = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_{refr}$$

Donde n es el índice de refracción de cada medio, que indica el cociente

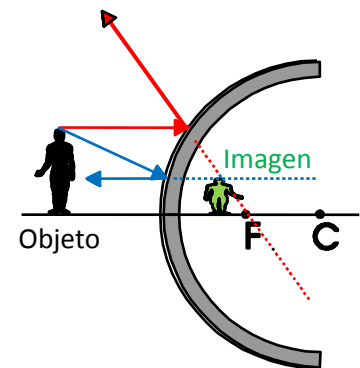
entre la velocidad de la luz en el vacío y en el medio. Siempre $n \geq 1$ $n = \frac{c}{v}$

b) i) Para razonar esta afirmación, realizamos el diagrama de rayos para obtener la imagen producida por un espejo convexo. Al estar el foco del espejo "dentro" del espejo (al otro lado), todas las posiciones del objeto son similares (es imposible que el objeto está entre el foco y el espejo, *salvo en el examen de selectividad del 2012, claro ;)*)

Usamos las reglas básicas del trazado de rayos:

- Rayo que incide paralelo al eje óptico, al reflejarse, su línea pasa por el foco (o parece proceder de él).
- Rayo que incide en dirección al foco, al reflejarse sale paralelo al eje óptico.

Los rayos reflejados divergen. Prolongándolos, obtenemos la posición de la imagen.



Como vemos en el diagrama de rayos, la imagen es derecha, menor que el objeto, pero nunca es real, sino virtual (los rayos no se concentran en un punto, sino que parecen divergir de él). Por tanto, la afirmación es falsa.

ii) La velocidad de propagación de cualquier onda (en un medio homogéneo, isótropo y no dispersivo) es una característica que depende exclusivamente del medio por el que esta se propague. Por lo tanto, al cambiar de medio, la velocidad de la luz cambia. En este caso, disminuye al pasar del aire ($n \approx 1$) al agua ($n = 4/3$).

La longitud de onda (distancia más corta entre dos puntos en fase) de la luz depende tanto del medio (a través de la velocidad v) como del foco (frecuencia f) $\lambda = \frac{v}{f}$

La frecuencia no varía con el medio, pero sí la velocidad de propagación, por lo que la longitud de onda de la luz cambia al pasar del aire al agua. En concreto, disminuye.

Junio 2013. B. 4

4. Un haz compuesto por luces de colores rojo y azul incide desde el aire sobre una de las caras de un prisma de vidrio con un ángulo de incidencia de 40° .

a) Dibuje la trayectoria de los rayos en el aire y tras penetrar en el prisma y calcule el ángulo que forman entre sí los rayos en el interior del prisma si los índices de refracción son $n_{\text{rojo}} = 1,612$ para el rojo y $n_{\text{azul}} = 1,671$ para el azul, respectivamente.

b) Si la frecuencia de la luz roja es de $4,2 \cdot 10^{14}$ Hz, calcule su longitud de onda dentro del prisma. $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; $n_{\text{aire}} = 1$

a) Cuando un rayo de luz que se propaga por un medio transparente (en este caso, el aire) se encuentra con la frontera con otro medio, pueden ocurrir (y suelen ocurrir conjuntamente) los fenómenos de reflexión, refracción y absorción. El caso que nos preocupa en esta cuestión es el de refracción, en el que la luz pasa a propagarse por el interior del cristal del prisma. Debido a la diferencia de velocidades de propagación en los dos medios, el frente de onda se desvía, con lo que los rayos forman un ángulo con la normal diferente al de incidencia. La relación entre ambos ángulos viene dada por la ley de Snell

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_1 = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_2$$

donde : n_1 : índice de refracción del medio 1. En este caso $n_1 = 1$

α_1 : ángulo de incidencia. En este caso 40°

n_2 : índice de refracción del medio 2.

α_2 : ángulo que forma el rayo refractado.

Como el índice de refracción es diferente para los rayos azul y rojo, también los ángulos de refracción serán distintos. Calculamos cada uno de ellos.

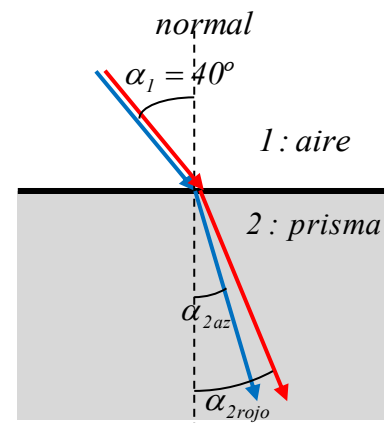
Rayo azul :

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_1 = n_{2\text{azul}} \cdot \text{sen} \alpha_2 \rightarrow 1 \cdot \text{sen} 40^\circ = 1,671 \cdot \text{sen} \alpha_2 \rightarrow \text{sen} \alpha_2 = 0,3847 \rightarrow \alpha_{2\text{azul}} = 22,62^\circ$$

$$\text{Rayo rojo : } n_1 \cdot \text{sen} \alpha_1 = n_{2\text{rojo}} \cdot \text{sen} \alpha_2 \rightarrow 1 \cdot \text{sen} 40^\circ = 1,612 \cdot \text{sen} \alpha_2 \rightarrow \text{sen} \alpha_2 = 0,3986 \rightarrow \alpha_{2\text{rojo}} = 23,50^\circ$$

Vemos que, al ser mayor el índice de refracción del rayo azul, su ángulo de refracción es menor que el del rojo. Es también el que más se desvía (se dispersa) de la dirección original del haz, como vemos en el dibujo.

La diferencia entre los dos ángulos de refracción es el dato que nos piden: $\Delta\alpha = 0,88^\circ$ ($0^\circ 52' 48''$)



b) La longitud de onda (distancia más corta entre dos puntos en fase) puede calcularse a partir de la frecuencia f y la velocidad de propagación v

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

La velocidad de propagación depende del medio. Además, para un medio dispersivo, depende de la frecuencia de la radiación. Como nos dan el índice de refracción para el color rojo, calculamos a partir de ahí la velocidad de propagación.

$$n = \frac{c}{v} \rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{1,612} = 1,861 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

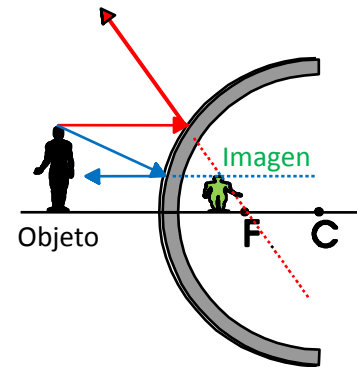
Ahora podemos calcular la longitud de onda de la luz roja en el interior del prisma, teniendo en cuenta que la frecuencia no cambia al cambiar de medio.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1,861 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{4,2 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 4,431 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Junio 2012. B.1

1. a) Explique la formación de imágenes por un espejo convexo y, como ejemplo, considere un objeto situado entre el centro de curvatura y el foco.
 b) Explique las diferencias entre imagen virtual e imagen real. Razone si puede formarse una imagen real con un espejo convexo.

Un espejo convexo (como el espejo retrovisor exterior de un coche, o los que encontramos en las esquinas de las calles o en los supermercados) posee su centro de curvatura hacia la parte “interior” del espejo, y el foco F en el punto medio entre la superficie del espejo y el centro C (ver la figura).

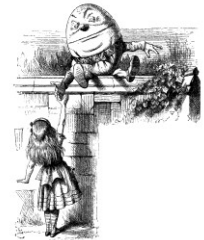


Aplicando las reglas de trazado de rayos:

- Un rayo paralelo al eje óptico que incida sobre el espejo, se refleja de forma que su prolongación pasa por el foco F (rayo rojo)
- Un rayo que incida sobre el espejo apuntando hacia el foco F, se refleja paralelo al eje óptico (rayo azul).

Estos rayos divergen, no convergen en ningún punto, por lo que la imagen no será real, sino virtual. Ambos rayos “parecen venir” de un punto situado dentro del espejo. Prolongando los rayos llegamos al punto donde se sitúa la imagen. Con el resto de los puntos que componen el objeto se procedería de la misma forma, hasta conseguir la imagen.

Como vemos, un espejo convexo siempre producirá una imagen virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto, se coloque éste donde se coloque. **Donde no puede colocarse de ninguna forma** es donde nos dice la cuestión, entre el centro de curvatura y el foco, ya que el objeto estaría literalmente **dentro** del espejo, lo cual es imposible (a menos, claro, que seamos uno de los personajes de “Alicia a través del espejo” de Lewis Carroll, y estemos buscando al caradehuevo Humpty Dumpty, pero no creo que vayan por ahí los tiros...)



(Este incomprensible fallo en el examen creo bastante polémica ese año)

b) Como se ha comentado en el apartado anterior, la imagen es real si los rayos que provienen de un punto del objeto, al salir del sistema óptico (lentes, espejos...) convergen en un punto. Si colocamos una pantalla en ese punto, veremos la imagen, si colocamos una película fotográfica, obtendremos una fotografía enfocada. (Ejemplos: proyector de video o diapositivas, cámara de fotos, ojo...)

Po el contrario, una imagen virtual se produce cuando los rayos que salen del sistema óptico no convergen, sino que divergen de un punto. “Parece” que vienen de un punto, prolongando los rayos, que es donde se sitúa la imagen. (Ejemplos: una lupa con el objeto entre el foco y la lente, un espejo convexo, una lente divergente...) Para hacer converger esos rayos es necesario otro sistema óptico (el ojo, una cámara)

En un espejo convexo, los rayos reflejados siempre divergen, con lo que la imagen siempre será virtual. Es imposible producir una imagen real con un espejo convexo (no hay más que ir por la calle y mirarse en el retrovisor de un coche aparcado.)

Junio 2011. B.4

4. Una onda electromagnética tiene en el vacío una longitud de onda de $5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$.

a) Explique qué es una onda electromagnética y determine la frecuencia y el número de onda de la onda indicada.

b) Al entrar la onda en un medio material su velocidad se reduce a $3c/4$. Determine el índice de refracción del medio y la frecuencia y la longitud de onda en ese medio.

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

a) Se entiende por onda electromagnética a la propagación de una perturbación electromagnética a través de un medio, que puede ser el vacío. A diferencia de las ondas mecánicas, en el caso de las ondas electromagnéticas la perturbación que se propaga consiste en un campo eléctrico y un campo magnético oscilantes, perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación. Las ecuaciones de onda serán entonces

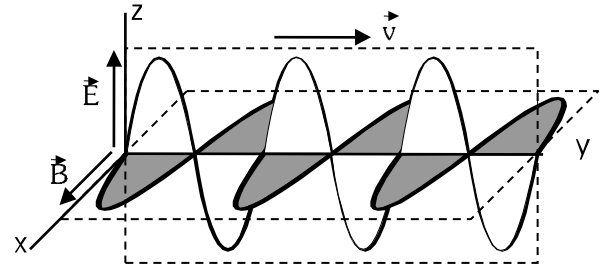
$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cdot \text{sen}(\omega t \pm kx)$$

$$\vec{B} = \vec{B}_0 \cdot \text{sen}(\omega t \pm kx)$$

Donde E_0 y B_0 son las amplitudes de los campos eléctrico y magnético, ω es la frecuencia angular de oscilación y k es el número de onda

La longitud de onda λ es la distancia más corta entre dos puntos en fase. Está relacionada con la frecuencia (f : nº de oscilaciones por segundo) y la velocidad de propagación v mediante la expresión $\lambda = \frac{v}{f}$

En el vacío todas las ondas electromagnéticas se propagan a la misma velocidad. $v = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$



Así, la frecuencia se calcula $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

El número de onda lo obtenemos a partir de la longitud de onda $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{5 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 1,257 \cdot 10^7 \text{ rad/m}$

b) Al pasar de un medio a otro, la onda electromagnética se refracta. La velocidad de propagación cambia, ya que esta magnitud depende exclusivamente del medio. En cualquier medio transparente la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas será menor que en el vacío.

El índice de refracción del medio (n) se define como el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío (c) y la velocidad de propagación en dicho medio (v). Así

$$n = \frac{c}{v} = \frac{c}{\frac{3}{4}c} = \frac{4}{3} = 1,333$$

La frecuencia de la onda electromagnética es una magnitud que depende exclusivamente del foco emisor, por lo que no cambia en el fenómeno de refracción, cuando pasa a transmitirse por otro medio. Así, la frecuencia en el nuevo medio será la misma que en el vacío $f = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

La longitud de onda depende tanto del foco como del medio, por lo que sí se ve modificada a pasar a propagarse por el nuevo medio. La nueva longitud de onda será

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{\frac{3}{4}c}{f} = \frac{2,25 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{6 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 3,75 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Junio 2010. A.2

2. a) Explique los fenómenos de reflexión y refracción de la luz.

b) ¿Tienen igual frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación la luz incidente, reflejada y refractada? Razone sus respuestas.

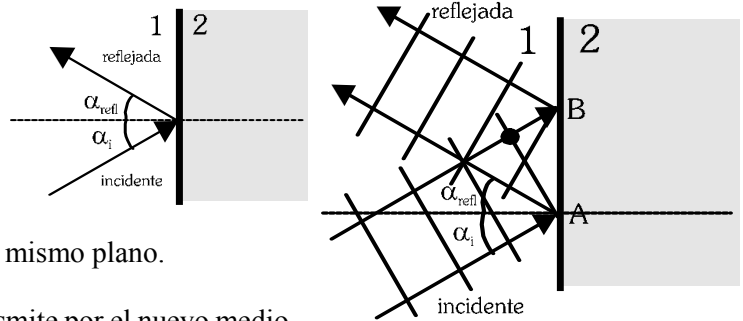
a) La luz visible es un tipo particular de onda electromagnética. Como toda onda, puede sufrir reflexión y refracción. Son dos fenómenos ondulatorios que ocurren cuando una onda (luz, en este caso) que se propaga por un medio incide sobre la frontera con otro medio distinto. Además, puede que parte de la energía de la onda incidente sea absorbida por las partículas del nuevo medio.

Reflexión: Al llegar la onda incidente a la frontera con el medio 2, los puntos de la frontera generan una nueva onda que se propaga por el medio 1.

La onda reflejada tiene igual f , λ , y velocidad de propagación que la onda incidente.

El ángulo que forma la dirección con la normal a la frontera es igual al de la onda incidente.

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



Refracción: Se forma una onda luminosa que se transmite por el nuevo medio.

Los puntos de la frontera se contagian de la vibración de la onda incidente y dan lugar a lo que se denomina onda refractada.

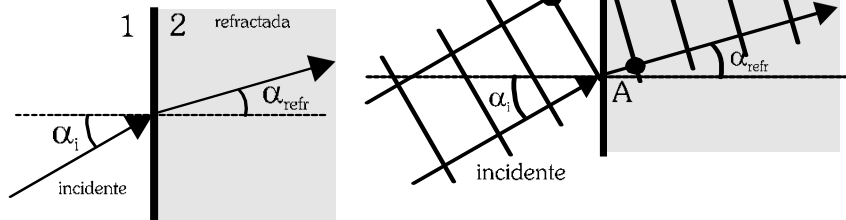
La frecuencia de la onda sigue siendo la misma (dependía sólo del foco emisor), pero como ahora el medio es diferente, la velocidad de propagación también lo será y, por tanto también variarán λ , k .

La amplitud de la onda refractada será menor que la de la onda incidente, ya que la energía de la onda incidente debe repartirse entre los tres procesos que pueden ocurrir (reflexión, refracción, absorción)

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

La dirección en la que se propaga la nueva onda refractada también es diferente. Existe una relación entre los ángulos que forman los rayos incidente y refractado con la normal a la superficie. Esta relación se conoce como *ley de Snell*.

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_i = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_{refr}$$



Donde n es el índice de refracción de cada medio, que indica el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y en el medio. Siempre $n \geq 1$

$$n = \frac{c}{v}$$

b) Al pasar la luz de un medio a otro, se produce el fenómeno de refracción.

- La frecuencia f (que nos indica el color de la luz, caso de que fuera visible) depende únicamente del foco emisor de ondas, y no del medio por el que se propaga la onda, por lo que se mantiene constante, tanto en la onda reflejada, como en la refractada.

- La velocidad de propagación v , en un medio ideal, depende exclusivamente del medio por el que se propague la onda. La onda reflejada se propaga a la misma velocidad que la incidente, al estar en el mismo medio. Sin embargo, la onda refractada se propaga a una velocidad distinta, al ser un medio diferente.

- La longitud de onda λ (distancia entre dos puntos en fase) depende tanto del foco emisor de la onda como del medio por el que ésta se propague. $\lambda = \frac{v}{f}$ En la onda reflejada, tanto la velocidad de propagación como la frecuencia son idénticas a las de la onda incidente, por lo que la longitud de onda también lo será. No ocurre lo mismo en la onda refractada. Al ser distinta la velocidad de propagación, la longitud de onda también será diferente.

Junio 2009. A.4

4. Una antena emite una onda de radio de $6 \cdot 10^7$ Hz.

a) Explique las diferencias entre esa onda y una onda sonora de la misma longitud de onda y determine la frecuencia de esta última.

b) La onda de radio penetra en un medio y su velocidad se reduce a $0,75 c$. Determine su frecuencia y su longitud de onda en ese medio

$$c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} ; v_s = 340 \text{ m s}^{-1}$$

a) Las ondas de radio son un tipo de ondas electromagnéticas de baja frecuencia.

Encontramos varias diferencias entre la onda de radio y la onda sonora.

- La primera está en su naturaleza. La onda de radio es electromagnética, está originada por campos eléctricos y magnéticos oscilantes. La onda sonora es originada por vibraciones de las partículas y se transmite como oscilaciones en la presión del medio.

- Una onda electromagnética es transversal (las direcciones de perturbación y de propagación son perpendiculares) mientras que la onda sonora es longitudinal (ambas direcciones coinciden). Esto hace que una onda de radio pueda ser polarizada, no así una onda sonora.

- Una onda de radio puede transmitirse por el vacío, mientras que la onda sonora es mecánica, necesita un medio material para propagarse. En un mismo medio, las velocidades de propagación son distintas, mucho mayor la de la onda de radio.

- Una onda sonora de la misma longitud de onda que la de radio tendrá una frecuencia diferente, ya que la velocidad de propagación es diferente. Calculamos a continuación la frecuencia de la onda sonora (suponemos que ambas se propagan en el aire)

En primer lugar calculamos la longitud de onda de la onda de radio (R).

$$\lambda_R = \frac{v_R}{f_R} = \frac{c}{f_R} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{6 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}} = 5 \text{ m}$$

Calculamos ahora la frecuencia correspondiente a una onda sonora (S) con una longitud de onda de 5 m.

$$f_S = \frac{v_S}{\lambda_S} = \frac{340 \text{ ms}^{-1}}{5 \text{ m}} = 68 \text{ Hz}$$

b) Al pasar a propagarse por un medio diferente (refracción), cambian aquellas características de la onda que dependen del medio, como la velocidad de propagación (que nos dicen que se reduce a $0,75 c$) y la longitud de onda. La frecuencia sólo depende del foco emisor, por lo que se mantiene constante e igual a $6 \cdot 10^7$ Hz.

La longitud de onda en el nuevo medio será $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{0,75 \cdot c}{f} = \frac{2,25 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{6 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}} = 3,75 \text{ m}$

En el nuevo medio: frecuencia = $6 \cdot 10^7$ Hz.

Longitud de onda = 3,75 m

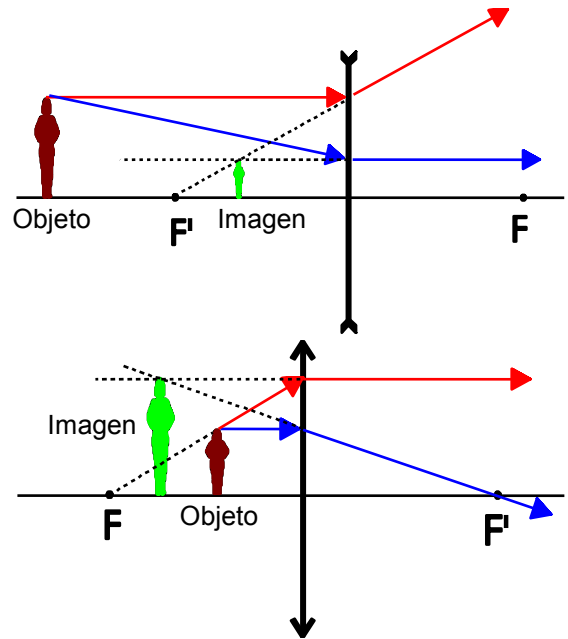
Junio 2008. A.2

2. a) Explique la formación de imágenes y sus características en una lente divergente.
 b) ¿Pueden formarse imágenes virtuales con lentes convergentes? Razone la respuesta.

a) Una lente divergente es un sistema óptico (normalmente de vidrio) que, mediante refracción, rayos que inciden paralelos al eje óptico, a la salida diverjan de un punto denominado foco. La posición de los focos objeto (F) e imagen (F') está indicada en el esquema.

La imagen que produce una lente divergente es siempre virtual (los rayos no convergen en un punto, sino que parecen divergir de él), derecha y más pequeña que el objeto, como puede verse en el esquema de rayos.

b) Una lente convergente puede producir una imagen virtual si el objeto está situado entre el foco objeto y la lente. Es el caso de una lupa, que produce imágenes virtuales, derechas y de mayor tamaño que el objeto. En el siguiente esquema vemos cómo se forman las imágenes en este caso.



Junio 2007. B.4

4. Un haz de luz de $5 \cdot 10^4$ Hz viaja por el interior de un diamante.

a) Determine la velocidad de propagación y la longitud de onda de esa luz en el diamante.

b) Si la luz emerge del diamante al aire con un ángulo de refracción de 10° , dibuje la trayectoria del haz y determine el ángulo de incidencia.

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} ; n_{\text{diamante}} = 2,42$$

a) Nos encontramos ante un haz de luz (una onda electromagnética) que se propaga por un medio transparente.

La velocidad de la luz en el diamante la calculamos a partir de su índice de refracción, que es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio:

$$n = \frac{c}{v} \rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{2,42} = 1,24 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Y a partir de ahí calculamos la longitud de onda de la luz en el diamante, a partir de la velocidad de propagación y la frecuencia (que se mantiene constante)

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1,24 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{5 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}} = 2480 \text{ m}$$

b) El rayo de luz sufre refracción al pasar a propagarse por un medio con diferente índice de refracción (la luz se propaga a diferente velocidad).

Al propagarse por un medio diferente, cambian las características de la onda que dependen del medio, como la velocidad de propagación y la longitud de onda. La frecuencia (el tipo de radiación, el "color" de la luz) depende exclusivamente del foco emisor, y no cambia al pasar de un medio a otro. En la refracción, debido a la diferencia de velocidad experimentada por la onda, el frente de onda se desvía. La relación entre el ángulo que forman con la normal a la frontera los rayos incidentes y refractados viene dada por la ley de Snell:

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_1 = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_2$$

donde n_1 y α_1 corresponden a la onda incidente y n_2 , α_2 al rayo refractado (emergente), como se ve en el esquema.

$$n_1 = 2,42 ;$$

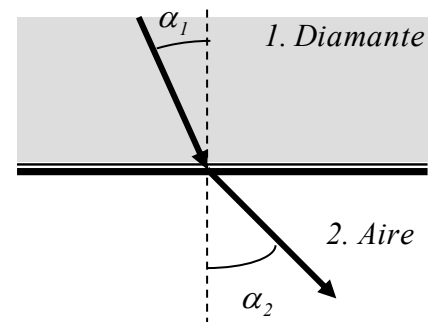
$\alpha_2 = 10^\circ$ $n_2 \sim 1$ (consideramos que el índice de refracción del aire es aproximadamente igual al del vacío)

Aplicando la ley de Snell:

$$2,42 \cdot \text{sen} \alpha_1 = 1 \cdot \text{sen} 10^\circ \rightarrow \alpha_1 = \text{arcsen}(0,072) = 4,11^\circ$$

El ángulo de incidencia es de $4,11^\circ$.

(Se observa que, al pasar de un medio a otro con menor índice de refracción, el ángulo de refracción es mayor que el de incidencia)



Junio 2006. A.2

2. a) Explique los fenómenos de reflexión y refracción de la luz con ayuda de un esquema.

b) Un haz de luz pasa del aire al agua. Razone cómo cambian su frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación.

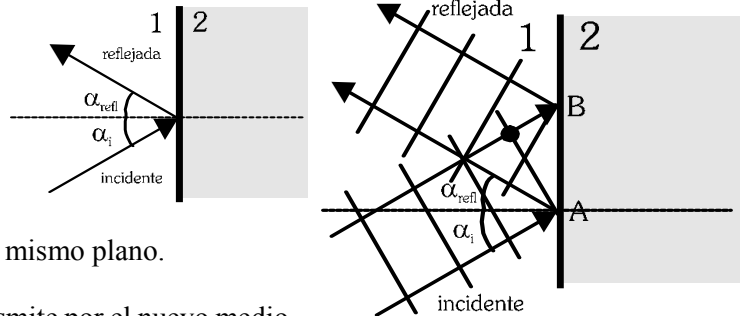
a) La luz visible es un tipo particular de onda electromagnética. Como toda onda, puede sufrir reflexión y refracción. Son dos fenómenos ondulatorios que ocurren cuando una onda (luz, en este caso) que se propaga por un medio incide sobre la frontera con otro medio distinto.

Reflexión: Al llegar la onda incidente a la frontera con el medio 2, los puntos de la frontera generan una nueva onda que se propaga por el medio 1.

La onda reflejada tiene igual f , λ , y velocidad de propagación que la onda incidente.

El ángulo que forma la dirección con la normal a la frontera es igual al de la onda incidente.

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



Refracción: Se forma una onda luminosa que se transmite por el nuevo medio.

Los puntos de la frontera se contagian de la vibración de la onda incidente y dan lugar a lo que se denomina onda refractada.

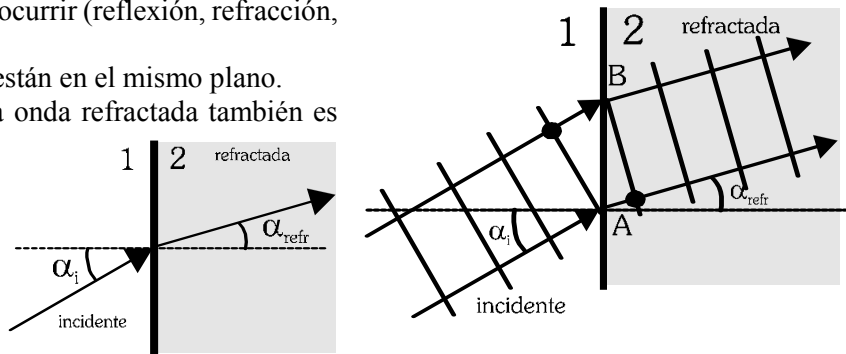
La frecuencia de la onda sigue siendo la misma (dependía sólo del foco emisor), pero como ahora el medio es diferente, la velocidad de propagación también lo será y, por tanto también variarán λ , k .

La amplitud de la onda refractada será menor que la de la onda incidente, ya que la energía de la onda incidente debe repartirse entre los tres procesos que pueden ocurrir (reflexión, refracción, absorción).

El rayo incidente, el refractado y la normal están en el mismo plano.

La dirección en la que se propaga la nueva onda refractada también es diferente. Existe una relación entre los ángulos que forman los rayos incidente y refractado con la normal a la superficie. Esta relación se conoce como *ley de Snell*.

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_i = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_{refr}$$



Donde n es el índice de refracción de cada medio, que indica el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y en el medio. Siempre $n \geq 1$ $n = \frac{c}{v}$

b) Al pasar la luz de un medio a otro, se produce el fenómeno de refracción.

- La frecuencia ν (que nos indica el "color" de la luz) depende únicamente del foco emisor de ondas, y no del medio por el que se propaga la onda, por lo que se mantiene constante al pasar de un medio a otro.

- La velocidad de propagación v , en un medio ideal, depende exclusivamente del medio por el que se propague la onda. Esta magnitud cambia (en este caso disminuye) al pasar del aire al agua.

- La longitud de onda λ depende tanto del foco emisor de la onda como del medio por el que ésta se propague. $f = \frac{c}{\lambda}$.

Por lo tanto, al variar v , también cambia la longitud de onda. En este caso, la longitud de onda disminuye, ya que v disminuye.

Junio 2005. A.2

2. a) Señale los aspectos básicos de las teorías corpuscular y ondulatoria de la luz e indique algunas limitaciones de dichas teorías.

b) Indique al menos tres regiones del espectro electromagnético y ordénelas en orden creciente de longitudes de onda.

a) Esta cuestión es muy ambigua, ya que puede referirse a la controversia Newton-Huygens (ver cualquier libro de texto), tal y como aparece en las recomendaciones de cara a Selectividad; o bien (y esto sería más completo) puede referirse a la teoría corpuscular cuántica (Planck-Einstein-Bohr), frente a la teoría ondulatoria electromagnética (Maxwell). Explicaremos la cuestión atendiendo a esto último:

Teoría corpuscular (Planck-Einstein-Bohr): Ciertos experimentos (radiación térmica, efecto fotoeléctrico, espectros atómicos) pueden explicarse suponiendo que la luz está constituida por pequeñas partículas o cuantos de luz, denominadas fotones. La masa en reposo de los fotones se considera nula, y su energía viene dada por $E = h \cdot \nu$, donde ν es la frecuencia de la fuente luminosa y h la constante de Planck. La energía se transmite de forma discreta.

Limitaciones: El carácter corpuscular no puede explicar satisfactoriamente fenómenos ondulatorios tales como interferencias, difracción, ondas estacionarias.

Teoría ondulatoria (Maxwell): Supone que la luz consiste en la propagación por el espacio de una onda electromagnética transversal, cuyas perturbaciones son campos eléctricos y magnéticos oscilantes. Explica la propagación, reflexión, refracción, interferencias, resonancia, difracción. La transmisión de energía en este caso es continua.

Limitaciones: La teoría ondulatoria de la luz no explica satisfactoriamente la interacción entre materia y radiación (radiación térmica, efecto fotoeléctrico, espectros atómicos)

Actualmente se habla de que la luz posee carácter dual. El carácter corpuscular u ondulatorio se pone de manifiesto dependiendo del experimento que realicemos.

b) Para una onda electromagnética, la relación entre frecuencia y longitud de onda viene dada por $f = \frac{c}{\lambda}$.

A mayor longitud de onda, menor frecuencia, y viceversa. Un orden creciente de longitud de onda corresponde a un orden decreciente de frecuencia.

Por ejemplo, tres regiones del espectro electromagnético en este orden serían

Rayos γ ; Rayos X ; Rayos UV.

O también Rayos UV ; luz visible ; rayos infrarrojos

O también Microondas ; ondas de radio FM ; ondas de radio largas

Hay muchas posibilidades.

Las regiones establecidas por convenio son las siguientes, en el orden ya dicho:

Rayos γ ; Rayos X ; Rayos UV ; luz visible ; Rayos infrarrojos ; microondas ; ondas de radio cortas; ondas de radio largas ; ruido eléctrico.