

# TEMA 6.- Óptica

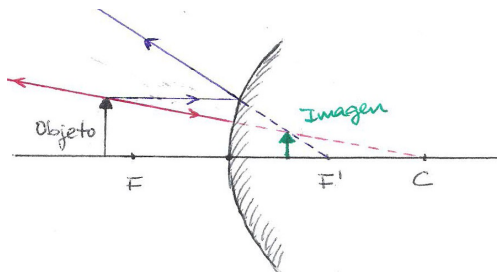
## CUESTIONES

51.- a) Si queremos ver una imagen ampliada de un objeto, ¿qué tipo de espejo tenemos que utilizar? Explique, con ayuda de un esquema, las características de la imagen formada.

b) La nieve refleja casi toda la luz que incide en su superficie. ¿Por qué no nos vemos reflejados en ella?

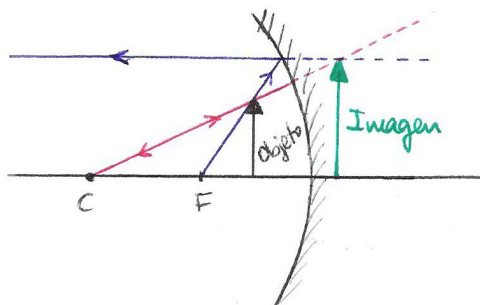
a) No podemos utilizar un espejo plano, pues la imagen de éste es virtual, derecha y del mismo tamaño que el objeto. Así pues, el espejo deberá ser esférico. Se nos plantean entonces dos posibilidades:

1. *Espejo convexo*: la imagen de un objeto que nos ofrece un espejo convexo es siempre virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto. En efecto:

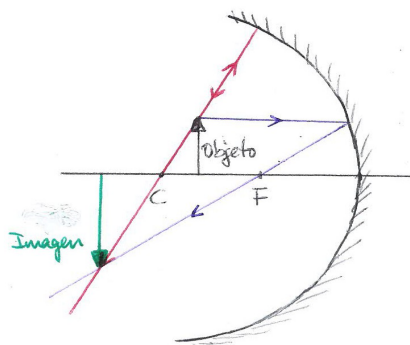


2. *Espejo cóncavo*: la imagen de un objeto que nos ofrece un espejo cóncavo depende de la situación del objeto:

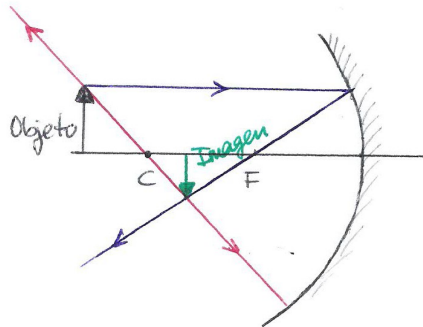
- x Si está situado entre el foco y el espejo, la imagen será **virtual**, derecha y **de mayor tamaño que el objeto**:



- x Si está situado entre el centro de curvatura y el foco, la imagen será real, invertida y de mayor tamaño que el objeto:

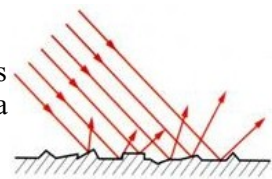


- x Si está situado a la izquierda del centro de curvatura, la imagen será real, invertida y de menor tamaño que el objeto:



Así pues, para ver una imagen (deberá ser, entonces, virtual) ampliada de un objeto deberemos situarlo delante de un espejo cóncavo, entre el centro de curvatura y el foco.

- b) Porque la reflexión de la luz en la nieve no es especular, sino difusa. Así, los rayos de luz que se reflejan en ella interfieren destructivamente al no ser totalmente lisa la superficie de la nieve, de manera que no nos podremos ver reflejados en ella.



**52.- a) ¿Qué es el índice de refracción de un medio? Razone cómo cambian la frecuencia y la longitud de onda de una luz láser al pasar del aire al interior de una lámina de vidrio.**

**b) Razone si tres haces de luz visible de colores azul, amarillo y rojo, respectivamente: i) tienen la misma frecuencia; ii) tienen la misma longitud de onda; iii) se propagan en el vacío con la misma velocidad. ¿Cambiaría alguna de estas magnitudes al propagarse en el agua?**

- a) El índice de refracción de un medio es una característica (adimensional) de dicho medio que nos da idea de la velocidad con que la luz se propaga a través de él. Se define como la relación entre la velocidad de la luz en el vacío (o en el aire),  $c$ , y la velocidad de propagación de la luz a través de él:

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0 f}{\lambda f} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

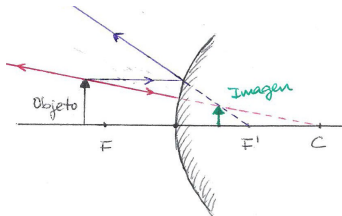
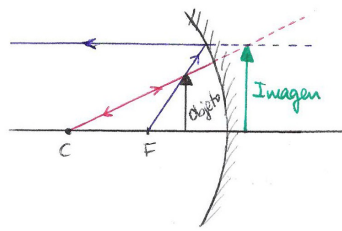
Observar en la expresión anterior que el índice de refracción es inversamente proporcional a la longitud de onda. Así, si una luz láser pasa del aire al interior de una lámina de vidrio varía su velocidad de propagación, de modo que su frecuencia no varía y disminuye su longitud de onda (pues aumenta el índice de refracción).

- b) Los haces de luz del espectro visible poseen un intervalo de longitudes de onda característico, o lo que es lo mismo, cada rayo luminoso tiene una longitud de onda y frecuencia según sea su color. Sin embargo, en un mismo medio (vacío) todos se propagan a la misma velocidad. Cuando el haz de luz pasa a propagarse por el agua, cambia su velocidad de propagación y su longitud de onda, no así su frecuencia (que es la que determina el color del haz).

**53.- a) Construya gráficamente la imagen obtenida en un espejo cóncavo de un objeto situado entre el espejo y el foco. ¿Qué características tiene dicha imagen?**

**b) Los espejos convexos se emplean, por sus características, en los retrovisores de los automóviles, en los espejos de los cruces en las calles, etc. Explique por qué.**

- a) Como puede observarse en el esquema de la página siguiente, la imagen obtenida será virtual, derecha y de mayor tamaño que el objeto:



b) Porque la imagen que forma un espejo convexo de un objeto es menor que el tamaño real del mismo, tal y como se indica en el diagrama de la izquierda; es por ello por lo que este tipo de espejo se utiliza para ampliar el campo de visión en aquellos casos donde sea necesario. Sin embargo, tienen el inconveniente de que la imagen que nosotros observamos en ellos no tiene el mismo tamaño que el objeto, sino que es menor, por lo que en muchas ocasiones da la impresión de que los objetos se encuentran más lejos de lo que realmente están.

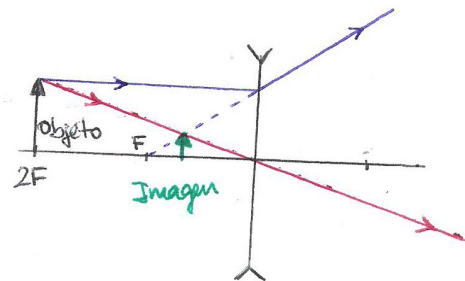
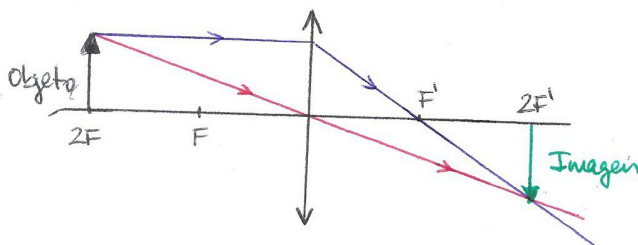
**54.- Dibuje la marcha de los rayos e indique el tipo de imagen formada con una lente convergente si:**

- a) La distancia objeto,  $s$ , es igual al doble de la focal,  $f$ .
- b) La distancia objeto es igual a la focal.

**Repita ambos apartados considerando que la lente fuera divergente.**

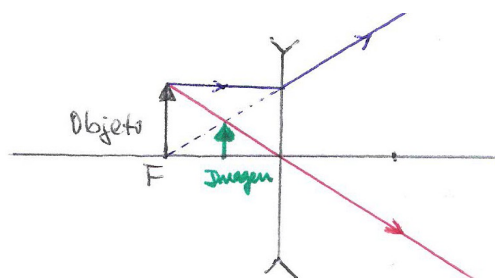
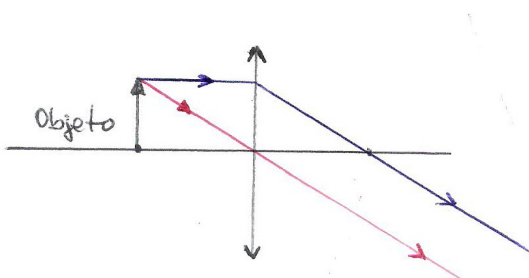
a) Si el objeto se encuentra a una distancia de la lente igual al doble de la distancia focal, entonces la imagen será...

- ...real, invertida y del mismo tamaño que el objeto si la lente es convergente.
- ...virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto si la lente es divergente.



b) Si el objeto se encuentra a una distancia de la lente igual a la distancia focal, entonces la imagen será...

- ...no se formará imagen si la lente es convergente, pues los rayos que emergen son paralelos y nunca se cortan.
- ...virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto si la lente es divergente.



**55.- a) Cuando un rayo pasa de un medio a otro con mayor índice de refracción, ¿se acerca o se aleja de la normal?  
b) ¿Tienen igual frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación el rayo incidente y el refractado? Razone su respuesta.**

a) La relación entre los ángulos que forman los rayos incidente y refractado con la normal viene dada por la ley de Snell:

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

Si  $n_2 > n_1$ , entonces  $\text{sen } r < \text{sen } i$  (para que el producto permanezca constante), con lo cual  $r < i$ . De este resultado deducimos que el rayo refractado se acerca a la normal.

b) Al pasar el rayo de un medio a otro, varía su velocidad de propagación (pues ésta depende del índice de refracción de cada medio); su frecuencia permanece constante, por lo que su longitud de onda también variará. En este caso, al aumentar el índice de refracción la longitud de onda del rayo disminuirá.

## PROBLEMAS

**56.- Un rayo de luz monocromática, que posee una longitud de onda de  $6 \cdot 10^{-7}$  m en el aire, incide con un ángulo de  $30^\circ$  sobre la superficie del agua, cuyo índice de refracción es 1'33. Calcule:**

- La frecuencia, la velocidad de propagación y la longitud de onda de la luz en el agua.
- El ángulo que forman entre sí el rayo reflejado y el refractado.

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

a) Cuando la luz pasa del aire al agua disminuye su velocidad de propagación; como su frecuencia no varía, entonces su longitud de onda también disminuirá. La frecuencia del rayo de luz se calcula de la manera siguiente:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{-7}} = 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

La velocidad de propagación de la luz será:

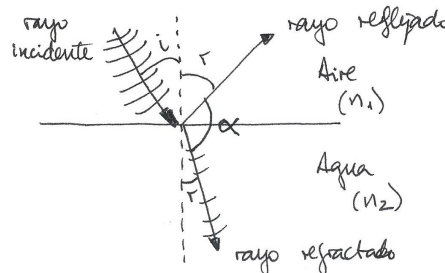
$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{1'33} = 2'26 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Finalmente, la longitud de onda de la luz en el agua será:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{2'26 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{14}} = 4'51 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

b) En la figura se observa que para hallar el ángulo que forman entre sí los rayos reflejado y refractado necesitamos conocer los ángulos de reflexión y de refracción:

- De acuerdo con la 2ª ley de Snell de la reflexión, el ángulo de reflexión es igual al de incidencia.
- De acuerdo con la 2ª ley de Snell de la refracción, los ángulos de incidencia y de refracción están relacionados de la siguiente manera:



$$n_1 \operatorname{sen} i = n_2 \operatorname{sen} r \Rightarrow \operatorname{sen} r = \frac{n_1}{n_2} \operatorname{sen} i = \frac{1}{1'33} \operatorname{sen} 30^\circ = 0'38 \Rightarrow r = 22'08^\circ$$

El ángulo que forman los rayos reflejado y refractado será:

$$\alpha = 180^\circ - 30^\circ - 22'08^\circ = \boxed{127'92^\circ}$$

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

- Explique las diferencias entre esa onda y una onda sonora de la misma longitud de onda y determine la frecuencia de esta última.
- La onda de radio penetra en un medio y su velocidad se reduce a  $0'75c$ . Determine su frecuencia y su longitud de onda en ese medio.

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

a) Las ondas de radio son ondas electromagnéticas de baja frecuencia. Las principales diferencias con una onda sonora de la misma longitud de onda son las siguientes:

- La onda de radio se propaga a la velocidad de la luz (al igual que cualquier otra onda electromagnética), mientras que la onda sonora lo hace a la velocidad del sonido (que es mucho menor).
- La onda de radio propaga energía electromagnética y no necesita de un medio material para propagarse, mientras que la onda sonora propaga energía mecánica y necesita de un medio material para propagarse.
- La onda de radio es transversal, pues los campos eléctrico y magnético vibran perpendicularmente entre sí y con respecto a la dirección de propagación, mientras que la onda sonora es longitudinal.
- Como ambas ondas tienen la misma longitud de onda y distinta velocidad de propagación sus frecuencias serán distintas; la longitud de onda de la onda de radio se calcula a partir de su velocidad de propagación:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^7} = 5 \text{ m}$$

Así, la frecuencia de la onda sonora cuya longitud de onda sea de 5 m será:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{5} = \boxed{68 \text{ Hz}}$$

b) La frecuencia de la onda de radio no varía al penetrar en otro medio de distinto índice de refracción, aunque al reducirse su velocidad de propagación también se reducirá su longitud de onda:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{0'75 \cdot 3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^7} = \boxed{3'75 \text{ m}}$$

**58.- Un rayo de luz de frecuencia  $5 \cdot 10^{14}$  Hz penetra en una lámina de vidrio de caras paralelas con un ángulo de incidencia de  $30^\circ$ .**

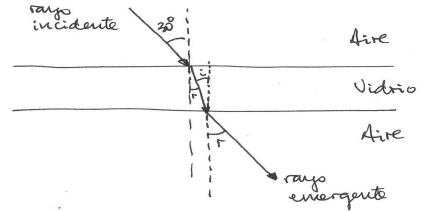
- Dibuje en un esquema los rayos incidente, refractado en el vidrio y emergente al aire y determine los ángulos de refracción y de emergencia.
- Explique qué características de la luz cambian al penetrar en la lámina de vidrio y calcule la velocidad de propagación dentro de la lámina.

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; n_{\text{vidrio}} = 1'5$$

a) Para determinar el ángulo de refracción hacemos uso de la 2ª ley de Snell de la refracción:

$$n_1 \sen i = n_2 \sen r \Rightarrow \sen r = \frac{n_1}{n_2} \sen i = \frac{1}{1'5} \sen 30^\circ = 0'33 \Rightarrow r = \boxed{19'47^\circ}$$

Deducimos del resultado obtenido que el rayo refractado se acerca a la normal. Para calcular el ángulo de emergencia tenemos en cuenta que ahora el rayo incide al aire desde la lámina de vidrio; por tanto, el ángulo de incidencia es ahora de 19'47°, y el ángulo de emergencia será el ángulo de refracción cuando el rayo sale de la lámina de vidrio. Aplicando de nuevo la 2ª ley de Snell de la refracción:



$$n_1 \sen i = n_2 \sen r \Rightarrow \sen r = \frac{n_1}{n_2} \sen i = \frac{1'5}{1} \sen 19'47^\circ = 0'5 \Rightarrow r = \boxed{30^\circ}$$

El resultado nos indica que el rayo incidente en la lámina y el que emerge de ella son paralelos.

b) Cuando la luz penetra en la lámina de vidrio disminuye su velocidad de propagación al aumentar el índice de refracción:

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{1'5} = \boxed{2 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Como la frecuencia de la luz no varía, entonces su longitud de onda también disminuirá al ser directamente proporcional a la velocidad de propagación:

$$v = \lambda f$$

**59.- Un foco luminoso puntual está situado bajo la superficie de un estanque de agua.**

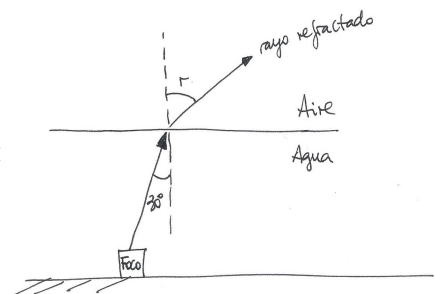
- Un rayo de luz pasa del agua al aire con un ángulo de incidencia de 30°. Dibuje en un esquema los rayos incidente y refractado y calcule el ángulo de refracción.
- Explique qué es el ángulo límite y determine su valor para este caso.

$$n_{\text{aire}} = 1; n_{\text{agua}} = 1'33$$

a) De acuerdo con la 2ª ley de Snell de la refracción:

$$n_1 \sen i = n_2 \sen r$$

al pasar el rayo de luz del agua al aire será  $n_1 > n_2$ , por lo que  $\sen i < \sen r$ . Así pues, el ángulo de refracción será mayor que el de incidencia, de modo que el rayo refractado se aleja de la normal. El ángulo que forma el rayo refractado con la normal será:



$$n_1 \sen i = n_2 \sen r \Rightarrow \sen r = \frac{n_1}{n_2} \sen i = \frac{1'33}{1} \sen 30^\circ = 0'665 \Rightarrow r = \boxed{41'68^\circ}$$

b) Cuando un rayo pasa de un medio más refringente a otro menos refringente ( $n_1 > n_2$ ) hay ciertos valores del ángulo de incidencia para los cuales el rayo no atraviesa la superficie de separación de los dos medios (pues conforme aumenta el ángulo de incidencia también aumenta el ángulo de refracción), sino que se refleja en ella (de manera que el ángulo de refracción será de 90°). A este fenómeno se le llama reflexión total, y el valor mínimo del ángulo de incidencia para que tenga lugar este fenómeno se conoce como ángulo

límite (L):

$$n_1 \operatorname{sen} L = n_2 \operatorname{sen} 90^\circ \Rightarrow \operatorname{sen} L = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1'33} = 0'75 \Rightarrow L = 48'75^\circ$$

**60.- Un rayo de luz monocromática incide en una de las caras de una lámina de vidrio, de caras planas y paralelas, con un ángulo de incidencia de  $30^\circ$ . La lámina está situada en el aire, su espesor es de 5 cm y su índice de refracción 1'5.**

- Dibuje el camino seguido por el rayo y calcule el ángulo que forma el rayo que emerge de la lámina con la normal.**
- Calcule la longitud recorrida por el rayo en el interior de la lámina.**

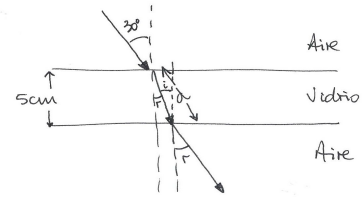
a) De acuerdo con la 2ª ley de Snell de la refracción:

$$n_1 \operatorname{sen} i = n_2 \operatorname{sen} r$$

al pasar el rayo de luz del aire al vidrio será  $n_2 > n_1$ , por lo que  $\operatorname{sen} i > \operatorname{sen} r$ . Así pues, el ángulo de refracción será menor que el de incidencia, de modo que el rayo refractado se acerca a la normal. Tras la primera refracción, el ángulo que forma el rayo refractado con la normal será:

$$n_1 \operatorname{sen} i = n_2 \operatorname{sen} r \Rightarrow \operatorname{sen} r = \frac{n_1}{n_2} \operatorname{sen} i = \frac{1}{1'5} \operatorname{sen} 30^\circ = 0'33 \Rightarrow r = 19'47^\circ$$

Para calcular el ángulo de emergencia tenemos en cuenta que ahora el rayo incide al aire desde la lámina de vidrio; por tanto, el ángulo de incidencia es ahora de  $19'47^\circ$ , y el ángulo de emergencia será el ángulo de refracción cuando el rayo sale de la lámina de vidrio. Aplicando de nuevo la 2ª ley de Snell de la refracción:



$$n_1 \operatorname{sen} i = n_2 \operatorname{sen} r \Rightarrow \operatorname{sen} r = \frac{n_1}{n_2} \operatorname{sen} i = \frac{1'5}{1} \operatorname{sen} 19'47^\circ = 0'5 \Rightarrow r = 30^\circ$$

b) Observar en el dibujo anterior que la distancia, d, recorrida por el rayo en el interior de la lámina se calculará de la manera siguiente:

$$\cos 19'47^\circ = \frac{5}{d} \Rightarrow d = \frac{5}{\cos 19'47^\circ} = 5'3 \text{ cm}$$