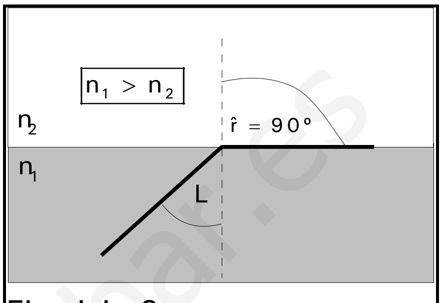
1 **CL-J05 ¿Qué se entiende por reflexión y refracción de una onda?. Enuncie las leyes que gobiernan cada uno de estos fenómenos. Es imprescindible incluir los diagramas oportunos.**
Respuesta: Ver teoría

2 **CL-J06 Reflexión total de la luz: ¿Qué es?. El índice de refracción del medio en que permanece la luz ¿es mayor, igual o menor que el del otro medio? ¿Qué es el ángulo límite? . ¿Cómo se calcula?**
Respuesta:



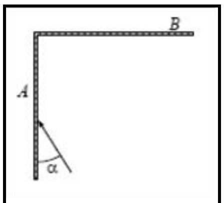
Ejercicio 2

<u>Cuando la luz pasa de un medio más refringente</u> a otro de menor índice de refracción, a medida que el ángulo de incidencia aumenta, el correspondiente rayo refractado, al aplicar la ley de Snell, lo hace en el sentido de aproximarse más a la superficie de separación de ambos medios. Así se llega a una situación como la que se muestra en la figura: el ángulo de incidencia cuyo refractado vale 90º recibe el nombre de ángulo límite o ángulo crítico. Su nombre hace referencia al hecho de que si un rayo incide con un ángulo superior al límite se produce la reflexión de la luz y no la refracción . Su cálculo resulta inmediato aplicando la ley de Snell:

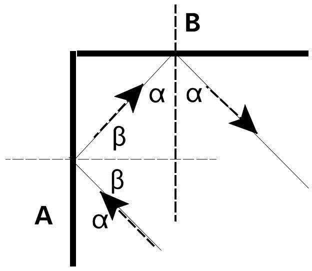
$$n_1 \mathrm{sen}L = n_2 \overbrace{\mathrm{sen}90^{\circ}}^{1} \rightarrow \mathrm{sen}L = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \boxed{L = \mathrm{arcsen}\frac{n_2}{n_1}}$$

Observa cómo la existencia de L sólo es posible, como se ha dicho, si $n_1 > n_2$ ya que sólo en esta situación la función seno toma un valor posible, es decir; inferior a 1

3 **CL-J07 ¿Qué se entiende por reflexión especular y reflexión difusa?. Enuncie las leyes de la reflexión. Se tienen dos espejos *A* y *B* planos y perpendiculares entre sí. Un rayo luminoso contenido en un plano perpendicular a ambos espejos incide sobre uno de ellos, por ejemplo el *A*, con el ángulo *a* mostrado en la figura. Calcule la relación entre las direcciones de los rayos incidente en *A* y reflejado en *B* .**



Ejercicio 3



Respuesta:
Por lo que se refiere a las dos primeras preguntas, ver teoría. Veamos la tercera, a la que se refiere el gráfico.
Llamemos β al ángulo de incidencia con el espejo A. Por construcción, resulta evidente que α y β son

complementarios. El ángulo de reflexión en A es β (ley de la reflexión), con lo que el ángulo de incidencia en B vuelve a ser α y α es, asimismo, el ángulo de reflexión en el espejo B. ¿Cuánto se ha desviado el rayo que incidió en el espejo A, tras las dos reflexiones?. A la vista de la construcción, se tiene:

Ángulo de deviación = $2(\alpha + \beta) = 2x90º = 180º$ pues, como se dijo, los ángulos alfa y beta son complementarios. El rayo emergente, es pues, paralelo al incidente de sentido opuesto.

4 **CLM-S98 ¿Si la velocidad de la luz fuera la misma en todos los medios tendría lugar la refracción cuando la luz pasa de un medio a otro? Razona tu respuesta.**

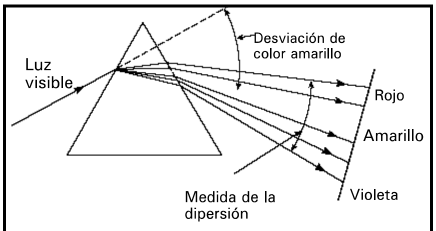
Respuesta:

La refracción (cambio en la dirección de un rayo de luz al pasar de un medio a otro), es causada precisamente por la diferente velocidad de propagación. Si fuese la misma no habría tal refracción.

Se puede llegar a la misma conclusión razonando del modo siguiente: Si la velocidad de la luz fuese la misma en todos los medios, todos tendrían el mismo índice de refracción (igual de refringentes). La aplicación, en estas circunstancias, de la ley de Snell a cualquier par de medios lleva a la conclusión de que el ángulo de incidencia debe de ser igual al de refracción, luego el rayo no se desvía, en consecuencia, no hay refracción.

5 **CLM-J03 Explica la dispersión de la luz blanca por un prisma óptico. ¿Para que luz, roja o violeta presenta el prisma menor índice de refracción?**

Respuesta:



Ejercicio 5

Al incidir luz blanca (policromática) sobre un prisma, como el vidrio presenta distinto índice de refracción para longitudes de onda distintas, refracta de modo diferente las distintas radiaciones que componen la luz blanca. El vidrio presenta *mayor índice de refracción* par la radiación de menor longitud de onda que es el *violeta* , por lo que esta es *la onda que más se refracta* y el rojo la que menos, pues es la de mayor longitud de onda de las radiaciones del espectro de la luz blanca.

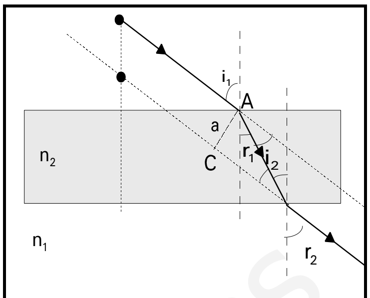
6 **CM-J98 a) Indica las diferencias que, a su juicio, existen entre los fenómenos de refracción y de dispersión de la luz. ¿Puede un rayo de luz monocromático sufrir ambos fenómenos?**

b) ¿Por qué no se observa dispersión cuando la luz blanca atraviesa una lámina de vidrio de caras plano-paralelas?

Respuesta:

La refracción no es más que el cambio en la dirección de propagación de una onda al pasar de un medio a otro a consecuencia de la diferente velocidad de propagación en ambos medios.

La dispersión , que sólo es posible en una radiación policromática, es una refracción a distintos ángulos (de ahí el nombre de dispersión) de las distintas ondas que componen la luz debido a que el índice de refracción del medio es distinto para cada onda. Evidentemente, por su propia naturaleza, NO se puede dispersar una radiación *mono*cromática.



Ejercicio 6

En el caso de una lámina de caras plano-paralelas no es posible dispersar la luz porque el rayo emergente es paralelo al incidente. El prisma *desplaza* el paralelamente a sí mismo (una distancia AC, en la figura) pero *no lo dispersa* (lo que implicaría que emergen las ondas que forman la luz blanca con distintos ángulos)

7 **CL-S07 Una superficie plana separa dos medios de índices de refracción n_1 y n_2. Si un rayo incide desde el medio de índice n_1, razone si las afirmaciones siguientes son verdaderas o falsas:**
a) Si $n_1 > n_2$ el ángulo de refracción es menor que el de incidencia.
b) Si $n_1 < n_2$ a partir de un cierto ángulo de incidencia se produce le fenómeno de reflexión total.

Respuesta:

La ley de Snell de la refracción resuelve ambas cuestiones. Su expresión matemática es:

$$n \operatorname{sen}\theta = cte \rightarrow n_1 \operatorname{sen}\theta_i = n_2 \operatorname{sen}\theta_r$$

Como $n_1 > n_2$ para que el producto se mantenga constante, senθ_i tiene que ser MENOR que senθ_r y a mayor (menor) valor del seno, mayor (menor) valor del ángulo pues el primer cuadrante la función seno es creciente, en consecuencia $\theta_i < \theta_r$, con lo que la primera afirmación resulta ser falsa.

El ángulo límite que separa la refracción de la reflexión, es el ángulo de incidencia cuyo refractado vale 90º. Teniendo en cuenta el enunciado (la luz pasa del medio 1 al 2) y que el medio 1 es meno refringente que el dos, a partir de la ley de Snell se tiene:

$$n_1 \operatorname{sen}L = n_2 \underbrace{\operatorname{sen}90^{\circ}}_{1} \rightarrow \operatorname{sen}L = \frac{n_2}{n_1}$$

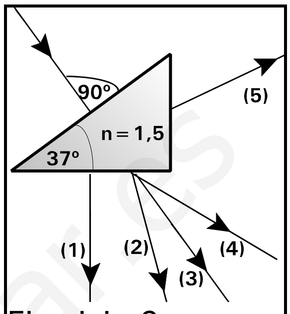
Al ser $n_2/n_1 > 1$, debería serlo el seno del ángulo límite lo que es imposible pues esa razón trigonométrica está acotada entre -1 y 1. No se puede producir la reflexión total. En realidad se produce, según la igualdad anterior, en la situación opuesta: cuando la luz pasa de un medio más refringente a otro de menor índice de refracción.

8 **CAN-J98 Disponiendo de un prisma de cuarzo, indica qué le ocurre a un rayo de luz blanca que incide con cualquier ángulo en una de sus caras, justificando físicamente los fenómenos que ocurren.**

Respuesta

Se ha respondido en cuestiones anteriores. Los fenómenos que experimentan son el de reflexión, refracción y dispersión

9 **CLM-S02 El diagrama de la izquierda muestra un haz de luz monocromática incidiendo desde el aire en un bloque de vidrio de índice de refracción n = 1.5. Sin considerar las posibles reflexiones, determina razonadamente cuál de los cinco rayos que emergen del bloque puede corresponder al haz incidente.**



Ejercicio 9

Respuesta:

Como el rayo que incide sobre la hipotenusa lo hace normal a ella, el ángulo de incidencia es nulo y también es nulo el correspondiente refractado (Snell), con lo que no existe desviación. El rayo incidente incide sobre el cateto base en P (ver figura). ¿Cuál será en rayo emergente?, ¿el (2), (3) O (4)?. Si se considera la refracción en P, como el indice de refracción del medio incidente (vidrio) es mayor que el del emergente (aire), el seno del ángulo de incidencia tiene que se menor que el del ángulo refractado (consecuencia de ley de Snell), o, en términos de ángulos, el ángulo de incidencia debe de ser menor que el refractado, lo que descarta a los rayos (2) y (3). Es, pues, (4) el rayo emergente.

10 **AL-J98 El índice de refracción del agua respecto al aire es 4/3. ¿Qué se puede decir de la velocidad de la luz en el agua?. Razona la respuesta.**

Respuesta:

Por definición de indice de un medio respecto a otro se tiene:

$$n_{\substack{\text{relativo}\\ \text{agua-aire}}} = \frac{n_{agua}}{n_{aire}} \overset{\substack{\text{por definición de}\\ \text{indice de refracción}}}{=} \frac{c/v_{agua}}{c/v_{aire}} = \frac{v_{aire}}{v_{agua}} \overset{\text{dato}}{=} \frac{4}{3}$$

Luego la velocidad en el agua es 4/3 de veces menor que en el aire, es decir; los 3/4 del aire.

11 **CLM-J98 Un rayo de luz pasa de agua a 20 ºC (n = 1,333) a un diamante (n = 2,417) con un ángulo de incidencia de 60º. Calcula el ángulo de refracción.**

Resolución:

Se resuelve por la aplicación directa de la ley de Snell:

$$\overbrace{n_{agua}}^{1,333}\overbrace{\text{sen}i}^{\sqrt{3}/2} = \overbrace{n_{diamante}}^{2,417}\text{sen}r \rightarrow \text{sen}r = \frac{1,333 \times \sqrt{3}/2}{2,417} = 0,4776 \rightarrow$$

$$\rightarrow r = \text{arcsen}(0,4776) = 28,53^{o}$$

12 CL-S06 ¿Cómo se define el índice de refracción de un medio material?. ¿Cómo varía la frecuencia de un haz luminoso al pasar a otro medio?. Explique el fenómeno de la dispersión de la luz.

Respuesta:

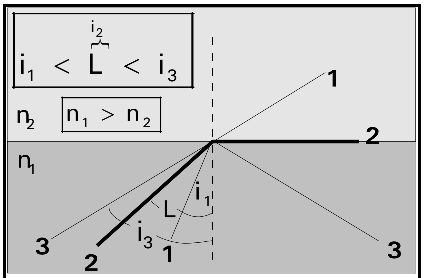
Se define índice de refracción de un medio como el cociente que se obtiene al dividir la velocidad de la luz en el vacío entre la velocidad de la luz en el medio. Como el vacío es el medio en el que la luz se mueve a más velocidad, el índice de refracción de cualquier medio material es un valor superior a 1.

En lo relativo a las otras dos cuestiones, tomando literalmente la teoría, se tiene:

“ *La frecuencia (o su inversa, el período) de una radiación no varía al cambiar el medio en el que se propaga [pero sí lo hace la longitud de onda]* ya que no pueden “perderse” oscilaciones del foco”

“Se sabe que mientras que en el vacío todas las radiaciones electromagnéticas se propagan con la misma velocidad no sucede así en los medios materiales. La velocidad de propagación de la luz en un medio depende de la longitud de onda (λ) y, en consecuencia también depende de λ el índice de refracción. Es decir; $n = n\ (\lambda)$. *Cuando esto sucede [$n = n\ (\lambda)$] se dice que el medio es dispersivo*. En este caso, si una radiación formada por distintas longitudes de onda, como le sucede a la luz blanca, atraviesa un material dispersivo cada radiación monocromática que la forma se desvía un ángulo diferente. (La radiación incidente se dispersa; de ahí el nombre) ”

13 CL-J04 ¿Qué es la reflexión total de la luz?. Representa mediante esquemas la trayectoria de la luz para el caso de un ángulo de incidencia menor, igual o mayor al ángulo límite



Ejercicio 13

Respuesta:

Cuando la luz pasa de un medio de mayor índice de refracción a otro de menor, a medida que aumenta el ángulo de incidencia lo hace el de refracción de modo que se llega a una situación como la representada por el rayo 2 de la figura. El ángulo de incidencia cuyo refractado vale 90º recibe el nombre de ángulo límite, ya que es el ángulo que, físicamente, separa la refracción de la luz (incidencia con ángulo menor que él-rayo 1-) de la reflexión (incidencia con un ángulo mayor que él -rayo 3-)

En el ejercicio 11 se demuestra que el fenómeno de la reflexión total sólo puede darse cuando la luz pasa de un medio de mayor índice de refracción (más refringente) a otro de menor.

14 **CL-S05 Un rayo de luz verde pasa de una placa de vidrio de índice de refracción *n* = 1,5 al aire. La longitud de onda de la luz en la placa es 333.10^{-9} m. Calcule:**
a) La longitud de onda de la luz verde en el aire.
b) El ángulo crítico a partir del cual se produce la reflexión total.
Resolución:
a) Cuando una onda, en su propagación, cambia de medio varía la velocidad de propagación y, en consecuencia, su longitud de onda ya que su frecuencia (o su inversa, el período) permanece constante. Si se relacionan estas magnitudes con el índice de refracción (dato) para ambos medios, resulta:

$$\begin{cases} \lambda_a = v_a T \\ \lambda_v = v_v T \end{cases} \rightarrow \frac{\lambda_a}{\lambda_v} = \frac{v_a}{v_v} \xrightarrow{\text{relacionando con el índice de refracción}}$$

$$\rightarrow \frac{\lambda_a}{\lambda_v} = \frac{v_a}{v_v} = \frac{c / v_v}{c / v_a} = \frac{n_v}{\underbrace{n_a}_{1}} = n_v \rightarrow \lambda_a = n_v \lambda_v =$$

$$= 1{,}5 \times 333.10^{-9}\text{m} \simeq 500.10^{-9}\text{m} = 5.10^{-7}\text{m}$$

b) La expresión de la ley de Snell aplicada a la refracción en la superficie de separación vidrio-aire, cuando el rayo de luz verde pasa del vidrio al aire, adopta la forma:

$$n_v \operatorname{sen}\theta_i = n_a \operatorname{sen}\theta_r$$

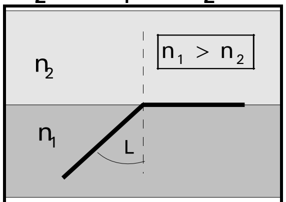
Como, por definición, el ángulo límite (o ángulo crítico) es el ángulo de incidencia cuyo refractado vale 90º, si se aplica la igualdad anterior en este caso particular, se obtiene:

$$\overbrace{n_v}^{1,5} \operatorname{sen} L = \overbrace{n_a}^{1} \overbrace{\operatorname{sen} 90^o}^{1} \Rightarrow \operatorname{sen} L = \frac{1}{3/2} = \frac{2}{3} \Rightarrow L = \operatorname{arcsen}\frac{2}{3} = 41{,}8^o$$

Nota.- Recuerda que la idea de ángulo límite sólo tiene sentido cuando un rayo pasa de un medio de MAYOR a otro de MENOR índice de refracción ya que el seno de un ángulo están acotado siendo su máximo valor 1.

15 CM-S04 a) Defina el concepto de ángulo límite y determine su expresión para el caso de dos medios de índices de refracción n_1 y n_2, si $n_1 > n_2$.

b) Sabiendo que el ángulo límite definido en un medio material y el aire es 60º, determine la velocidad de la luz en dicho medio.



Ejercicio 15

Resolución:

a) "Cuando un rayo pasa de un medio más refringente a otro de menor índice de refracción, existe un ángulo de incidencia, llamado ángulo límite o ángulo crítico, cuyo refractado vale 90º"

Aplicando la ley de Snell a la refracción cuyo gráfico se ve en la figura adjunta, resulta:

$$n_1 \text{sen} L = n_2 \text{sen} 90º \rightarrow \boxed{\text{sen} L = \frac{n_2}{n_1}}$$

b) En cálculo del índice de refracción del medio es inmediato (y a partir de él la velocidad de la luz en su seno) aplicando la relación que se acaba de deducir, con $n_2 = 1$ (aire):

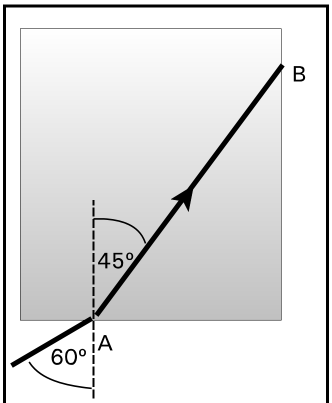
$$\text{sen} L = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \text{sen} 60º = \frac{1}{n_1} \rightarrow n_1 = \frac{2\sqrt{3}}{3} \overset{\substack{\text{por definición} \\ \text{de índice de} \\ \text{refracción}}}{=} \frac{c}{v} \rightarrow$$

$$\rightarrow v = \frac{3\sqrt{3}}{2} 10^8 \text{m/s} \simeq 2{,}6.10^8 \text{m/s}$$

16 CL-J07 Sobre un prisma cúbico de índice de refracción *n* situado en el aire incide un rayo luminoso con un ángulo de 60°. El ángulo que forma el rayo emergente con la normal es de 45°. Determine:

a) El índice de refracción *n* del prisma .

b) El ángulo que forman entre sí la dirección del rayo incidente en *A* con la del rayo emergente en B



Ejercicio 16

Resolución:

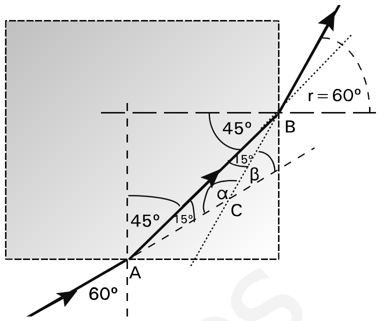
EL apartado a) se resuelve aplicando la ley de Snell a la refracción en A:

$$\overbrace{n_{aire}}^{1} \times \text{sen} 60º = n_{pr} \times \text{sen} 45º \rightarrow n_{pr} = \frac{\text{sen} 60º}{\text{sen} 45º} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{\sqrt{6}}{2} \simeq 1{,}225$$

b) Para resolver este apartado, aplicaremos la ley de Snell a la refracción en B (cara vertical) y después haremos unas sencillas consideraciones geométricas:

$$\frac{\sqrt{6}}{2}\text{sen}45^{\circ} = 1 \times \text{senr} \rightarrow \text{senr} = \frac{\sqrt{6}}{2}\text{sen}45^{\circ} = \frac{\sqrt{3}}{2} \rightarrow$$

$$\rightarrow \text{r} = \text{arcsen}\frac{\sqrt{3}}{2} = 60^{\circ}$$



En el triángulo ABC de la figura adjunta se ve cómo los ángulos en A y en B tiene que valer 15º ya que $45^{\circ} + 15^{\circ}$ es el opuesto por el vértice de 60º, con lo que en dicho triángulo se tiene:

$15^{\circ} + 15^{\circ} + \alpha = 180^{\circ}$ (1)

El ángulo que forma el rayo incidente en A con el emergente en B es β (ver figura). Como $\alpha + \beta = 180^{\circ}$ pues la suma de ambos definen un ángulo llano, teniendo en cuenta (1) resulta evidente que $\beta = 30^{\circ}$.

17 CANT-S03 a)Explica en qué consiste la reflexión total. ¿Puede ocurrir cuando la luz pasa del aire al agua?
b)Un rayo monocromático incide en la cara vertical de un cubo de vidrio de índice de refracción n = 1,5. El cubo está sumergido en agua (n = 4/3). ¿con qué ángulo debe incidir para que en la cara superior del cubo haya reflexión total?.

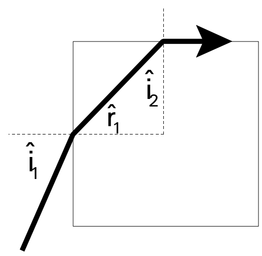
Resolución:

a) Para el concepto de ángulo límite, ver cuestiones anteriores. No puede ocurrir la reflexión total en las condiciones descritas ya que tendría que cumplirse:

$$\overbrace{n_{aire} \times \text{senL} = n_{agua} \times \underbrace{\text{sen}90}_{1}}^{\text{ley de Snell}} \rightarrow \text{senL} = \frac{n_{agua}}{n_{aire}} = \frac{4}{3}???$$

lo que no es posible.

b) Puesto que se producen 2 refracciones, dos veces se aplicará la ley de Snell : la primera a la refracción en la cara izquierda y la 2ª, en la cara superior. Recordemos que en el primer caso la luz pasa del agua al vidrio y en el segundo, del vidrio al agua. Además, en la figura adjunta se observa que los ángulos r_1 e i_2 son complementarios. Evidentemente, el ángulo i_2, es el ángulo límite. El enunciado pide calcular el ángulo de incidencia (en la cara vertical, se sobreentiende).

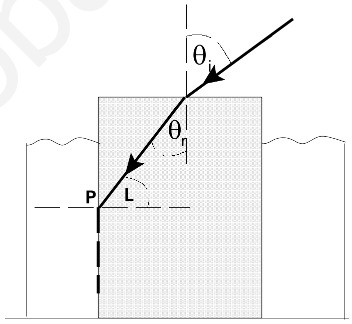


$$\begin{cases} \overbrace{\frac{4}{3}\,\text{sen}i_1 = \frac{3}{2}\,\text{sen}r_1}^{\text{ley de Snell cara izquierda}} \quad (1) \\ \underbrace{\frac{3}{2}\,\overbrace{\text{sen}i_2}^{\cos r_1} = \frac{4}{3}\,\text{sen}90^\circ}_{\text{ey de Snell cara superior}} \quad (2) \end{cases} \xrightarrow[\text{el sen}r_1 \text{ y se sustituye en (1)....}]{\text{Si se despeja cos}r_1 \text{ en (2), se calcula}}$$

$$\to \frac{4}{3}\,\text{sen}i_1 = \frac{3}{2}\,\overbrace{\text{sen}r_1}^{\sqrt{1-\cos^2 r_1}} \to \frac{4}{3}\,\text{sen}i_1 = \frac{3}{2}\underbrace{\frac{\sqrt{17}}{9}}_{\text{sen}r_1} = \frac{\sqrt{17}}{6} \to$$

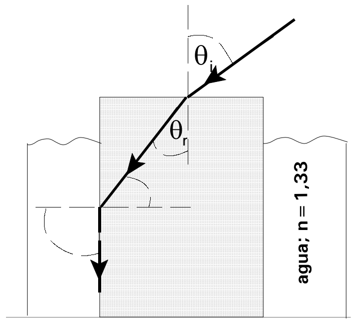
$$\to \text{sen}i_1 = \frac{\sqrt{17}}{8} \to i_1 = \text{arcsen}\frac{\sqrt{17}}{8} = 31{,}02^\circ$$

18 CL-S07 Sobre una de las caras de un bloque rectangular de vidrio de índice de refracción $n_2 = 1{,}5$ incide un rayo de luz formando un ángulo θ_1 con la normal al vidrio. Inicialmente, el bloque se encuentra casi totalmente inmerso en agua, cuyo índice de refracción es 1,33.



a) Halle el valor del ángulo θ_1 para el cual el punto P de la cara normal a la de incidencia se produzca la reflexión total.

b) Si se elimina el agua que rodea el vidrio, halle el nuevo valor del ángulo θ_1 en estas condiciones y explique el resultado obtenido.



Resolución:

a) Comenzaremos estudiando la reflexión total en P (pues se conocen más datos que en la cara superior horizontal). A partir de los resultados obtenidos, se podrá calcular el ángulo de incidencia pedido:

$$\overbrace{n_{vidrio} \times \text{sen}L = n_{agua} \times \underbrace{\text{sen}90}_{1}}^{\text{ley de Snell}} \to \text{sen}L = \frac{n_{agua}}{n_{vidrio}} = \frac{4/3}{3/2} = \frac{8}{9}$$

Estudiemos ahora la reflexión en la cara superior:

$$n_{aire} \times sen\theta_i = n_{vidrio} \times sen\theta_r \rightarrow= \underline{\underline{sen\theta_i}} = \frac{n_{vidrio} \times sen\theta_r}{n_{aire}} =$$

$$= \frac{n_{vidrio} \times \cos L}{n_{aire}} = \frac{n_{vidrio} \times \sqrt{1 - sen^2 L}}{n_{aire}} = \frac{\frac{3}{2}\sqrt{1 - \left(\frac{8}{9}\right)^2}}{1} \simeq \underline{\underline{0,687}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \theta_i = \text{arcsen}0,687 = 43^o 24'27''$$

Donde se ha tenido en cuenta que los ángulos θ_r y L son complementarios.

b) El modo de operar ahora es completamente análogo al caso anterior sin más que tener en cuenta que lo que era agua pasa a ser aire:

$$n_{vidrio} \times senL = n_{aire} \times \underbrace{sen90}_{1} \rightarrow senL = \frac{n_{aire}}{n_{vidrio}} = \frac{1}{3/2} = \frac{2}{3}$$

$$n_{aire} \times sen\theta_i = n_{vidrio} \times sen\theta_r \rightarrow= \underline{\underline{sen\theta_i}} = \frac{n_{vidrio} \times sen\theta_r}{n_{aire}} =$$

$$= \frac{n_{vidrio} \times \cos L}{n_{aire}} = \frac{n_{vidrio} \times \sqrt{1 - sen^2 L}}{n_{aire}} = \frac{\frac{3}{2}\sqrt{1 - \left(\frac{2}{3}\right)^2}}{1} = \underline{\underline{\frac{\sqrt{5}}{2} > 1}}$$

Como el seno del ángulo de incidencia no puede valer más de 1, quiere esto decir que no existe ángulo de incidencia en la cara superior horizontal que produzca la reflexión total en la cara vertical, si el medio exterior es aire.

Si se quiere profundizar un poco más (aunque el enunciado parece sugerir que no es necesario), nos podemos preguntar qué es lo que sucede en la cara vertical si el vidrio está rodeado de aire. Se va a SUPONER que en dicha cara se vuelve a producir la refracción, es decir; que el rayo vuelve al aire. Llamemos 1 a la cara superior horizontal y 2 a la vertical. Aplicando la ley de Snell a ambas caras se obtiene:

$$sen\theta_{i1} = \frac{3}{2} \times sen\theta_{r1} \rightarrow sen\theta_{r1} = \frac{2}{3} sen\theta_{i1}$$

$$\frac{3}{2} sen\theta_{i2} = sen\theta_{r2} \xrightarrow[\text{son complementarios}]{\text{pues } \theta_{r1} \text{ y } \theta_{i2}} \frac{3}{2} \cos\theta_{r1} = sen\theta_{r2}$$

$$\rightarrow \underline{\underline{\frac{3}{2}\sqrt{1 - \left(\frac{2}{3} sen\theta_{i1}\right)^2} = sen\theta_{r2}}}$$

Vamos a analizar el miembro de la izquierda de la última relación, doblemente subrayada:

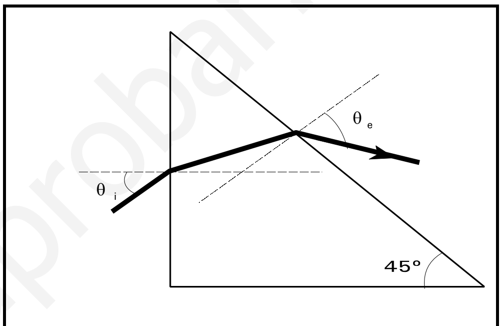
El radicando adopta su valor máximo cuando el senθ_{i1} es mínimo lo que en el primer cuadrante corresponde al valor nulo del ángulo. En ese caso el miembro de la izquierda toma el 3/2. El valor mínimo del radicando que corresponde al valor máximo del senθ_{i1} , que es uno, es $\sqrt{5}/2$, es decir; si se produjera refracción en la cara vertical, el senθ_{r2}, oscilaría entre un valor máximo de 3/2 y uno mínimo de $\sqrt{5}/2$

Como ninguno de los valores de ese intervalo pueden ser tomados por la función seno, concluimos diciendo que no se puede producir la refracción es esa cara con lo que podemos concluir diciendo que <u>si el vidrio se encuentra en aire, sea cual sea el ángulo de incidencia en la cara superior horizontal, se produce siempre reflexión en la vertical</u>.

19 CL-S09 Un rayo incide en un prisma triangular (n = 1,5) por el cateto de la izquierda con un ángulo $\theta_i = 30º$.

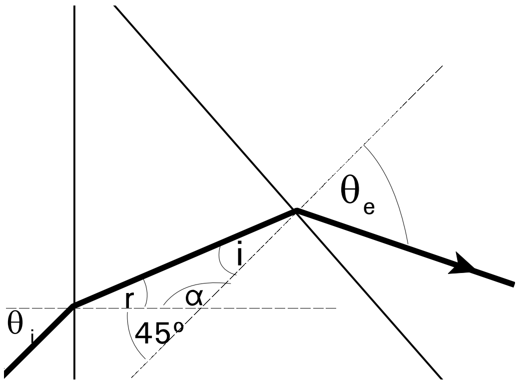
a) Calcule el ángulo θ_e con el que emerge por el lado de la hipotenusa.

b) ¿Cuál es el ángulo de incidencia θ_i máximo para que el rayo sufra una reflexión total en la hipotenusa?



Ejercicio 19

a) Consideremos la figura adjunta, que no es más que una ampliación de la parte central de la figura del enunciado. En ella , el ángulo de 45º lo es porque los lados que lo definen son perpendiculares a los dos del triángulo que definen dicho ángulo. Se ha denominado *r*, al ángulo de refracción en la cara de la izquierda (cateto vertical) e *i* al de incidencia en la cara-hipotenusa. Por construcción se cumple (ver gráfico):



$$\begin{cases} \alpha + 45º = 180º \\ \alpha + i + r = 180º \end{cases} \rightarrow i + r = 45º$$

La anterior es La relación clave que permite resolver este apartado. Apliquemos la ley de Snell a la cara vertical:

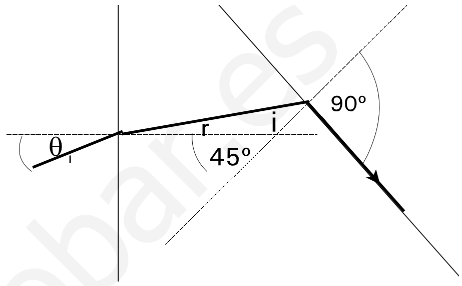
$$1 \times \text{sen}30º = \frac{3}{2}\text{sen}r \rightarrow \text{sen}r = \frac{1}{3} \rightarrow$$

$$\rightarrow r = \text{arcsen}\frac{1}{3} = 19,47º \rightarrow i = 45 - r = 25,53º$$

La aplicación, seguidamente, de la ley de Snell a la cara-hipotenusa permite calcular el ángulo de emergencia pedido:

$$\frac{3}{2}\times\overbrace{\text{sen}25,53^\circ}^{0,43096}=\text{sen}\theta_e\rightarrow\text{sen}\theta_e=0,6464\rightarrow$$
$$\rightarrow\theta_e=\text{arcsen}(0,6464)=40,27^\circ$$

b) En el apartado anterior se conocía el ángulo de incidencia inicial (30º) y se pedía el de emergencia. Ahora la situación es la opuesta: se conoce el de emergencia (90º) y se pide el de incidencia inicial. Por esta razón se comenzará estudiando la refracción en la cara hipotenusa, pues de la refracción en esa cara es de donde se tienen más datos:



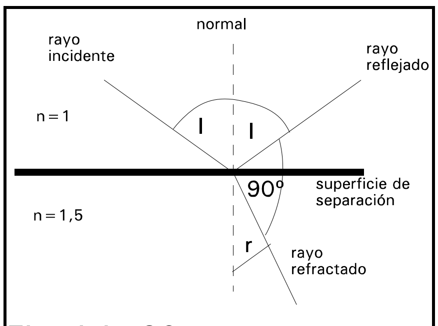
$$\frac{3}{2}\times\text{sen}i=1\times\text{sen}90^\circ\rightarrow\text{sen}i=\frac{2}{3}\rightarrow$$
$$\rightarrow i=\text{arcsen}\frac{2}{3}=41,81^\circ\rightarrow r=45^\circ-i=3,19^\circ$$

...y el estudio de la refracción en la cara vertical resuelve el apartado:

$$1\times\text{sen}\theta_i=\frac{3}{2}\overbrace{\text{sen}\left(3,19^\circ\right)}^{0,05564}\rightarrow\text{sen}\theta_i=0,03709\rightarrow$$
$$\rightarrow\theta_i=\text{arcsen}\left(0,03709\right)=2,12^\circ$$

20 CL-J05 a) Un rayo luminoso incide sobre superficie plana de separación aire-líquido. Cuando el ángulo de incidencia es de 45º el de refracción vale 30º. ¿Qué ángulo de refracción se produciría si el haz incidiera con un ángulo de 60º?.

b) Un rayo de luz incide sobre una superficie plana de vidrio con un índice de refracción *n = 1,5*. Si el ángulo formado por el rayo reflejado y refractado es de 90º, calcule los ángulos de incidencia y de refracción.



Ejercicio 20

Resolución:

a) A partir de la ley de Snell:

$$\overbrace{n_1}^{1\text{ (aire)}}\ \text{sen}\ \overbrace{\theta_i}^{45^\circ}=n_2\ \text{sen}\ \overbrace{\theta_r}^{30^\circ}\rightarrow n_2=\frac{\text{sen}45^\circ}{\text{sen}30^\circ}=\sqrt{2}$$

Conocido el índice de refracción del 2º medio es inmediato halla el ángulo refractado correspondiente a uno de incidencia de 60º:

$$n_1 \text{ sen } \theta_i = n_2 \text{ sen } \theta_r \rightarrow \text{sen}60^\circ = \sqrt{2}\text{sen}\theta_r \rightarrow$$

$$\rightarrow \text{sen}\theta_r = \frac{\text{sen}60^\circ}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{6}}{4} \rightarrow \theta_r = \text{arcsen}\frac{\sqrt{6}}{4} = 37,76^\circ$$

b) El ángulo de incidencia es igual al de reflexión (ley reflexión). Además, como el ángulo que forman el rayo reflejado y el refractado es de 90º, el ángulo de reflexión es complementario del de refracción (ver figura), con lo que al aplicar la ley de Snell resulta:

$$1 \times \text{sen}\,\hat{i} = 1,5 \times \overbrace{\text{sen}\,\hat{r}}^{\cos\hat{i}} \rightarrow \text{tg}\,\hat{i} = 1,5 \rightarrow$$

$$\rightarrow \hat{i} = \text{arctg}1,5 = 56,31^\circ \quad \text{y} \quad \hat{r} = 90^\circ - \hat{i} = 33,69^\circ$$

21 Una fuente luminosa emite luz monocromática de longitud de onda en, el vacío, $\lambda_0 = 6.10^{-7}$ m (luz roja). Si se propaga en agua (n = 4/3). Calcula:
a) Velocidad de la onda en el agua.
b) Frecuencia y longitud de onda en ese medio.

Resolución:
Recuerda que cuando una onda cambia de medio varía la velocidad a la que se propaga y, en consecuencia, su longitud de onda PERO NO VARÍA SU PERÍODO O FRECUENCIA ya que el nº de oscilaciones por segundo emitidas por el foco y que se transmite no puede variar (no se pueden "crear" o "destruir" oscilaciones por el hecho de que una onda cambie de medio)
a) Es de cálculo inmediato:

$$n = \frac{c}{v} \rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{3 \times 10^8 \text{ms}^{-1}}{4/3} = 2,25 \times 10^8 \text{m/s}$$

b) La frecuencia la obtendremos de datos para el vacío, ya que no varía, y a partir de ella, la longitud de onda en el agua:

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu} \rightarrow \nu = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3 \times 10^8 \cancel{\text{m}}\text{s}^{-1}}{6 \times 10^{-7} \cancel{\text{m}}} = 5.10^{14}\text{Hz}$$

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{2,25 \times 10^8 \text{m}\cancel{\text{s}^{-1}}}{5 \times 10^{14} \cancel{\text{s}^{-1}}} = 4,5.10^{-7}\text{m}$$

22 CL-S08 a) Determine la velocidad de la luz en el etanol teniendo en cuenta que su índice de refracción absoluto es n = 1,36.
b) Un haz de luz roja cuya longitud de onda en el aire es de 695 nm penetra en dicho alcohol. Si el ángulo de incidencia es de 30º, ¿cuál es el ángulo de refracción?. ¿Cuál es la longitud de onda y la frecuencia del haz de luz en el alcohol

Resolución:

a) El cálculo es inmediato a partir de la definición de indice de refracción absoluto:

$$n = \frac{c}{v} \rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{3.10^8 m/s}{1,36} = 2,206 \times 10^8 \text{ m/s}$$

b) Aplicando la ley de Snell a dicha refracción, resulta:

$$n_1 \text{sen } \theta_i = n_2 \text{sen } \theta_r \rightarrow 1.\ \text{sen } 30^o = 1,36 \text{ sen } \theta_r \rightarrow \text{sen}\theta_r = \frac{\text{sen}30^o}{1,36} =$$

$$= \frac{\frac{1}{2}}{1,36} = 0,3676 \rightarrow \theta_r = \text{arcsen}0,3676 = 21,57^o$$

Lo anterior es válido suponiendo que el índice de refracción del alcohol no varía.

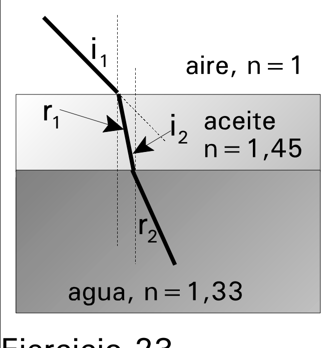
Al pasar la luz de un medio a otro la característica de la misma que no varía el la frecuencia (o su inversa el período) pues no se pierden oscilaciones del campo electromagnético al cambiar el medio. Resulta entonces:

$$\begin{cases} \lambda_0 = cT \\ \lambda_{alcohol} = vT \end{cases} \rightarrow \frac{\lambda_{alcohol}}{\lambda_0} = \frac{v}{c} = \frac{1}{n} \rightarrow \lambda_{alcohol} = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{695 nm}{1,36} = 511 \text{ nm}$$

La frecuencia no varía. Se puede calcular para el aire y será la misma para el alcohol:

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu} \rightarrow \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.10^8 \text{ m/s}}{6,95.10^{-7} m} = 4,32.10^{14} s^{-1}$$

23 CLM-J02 Tenemos un recipiente con agua cuya superficie está cubierta por una capa de aceite. Si un haz de luz pasa del aire al aceite con un ángulo de incidencia de 40º, hallar el ángulo de refracción en el agua. n_{aceite} = 1,45; n_{agua} = 1,33.



Ejercicio 23

Resolución:

Se producen 2 refracciones, que serán las que hay que estudiar aplicando la ley de Snell. La primera, aire-aceite y aceite-agua la 2ª. Hay que tener en cuenta que, por construcción geométrica (ángulos alternos-internos), <u>los ángulos r_1 e i_2 son iguales</u>. El dato angular es $i_1 = 40^o$.

$$\begin{cases} \overbrace{1\times \text{sen}40^{\circ} = 1,45\times \text{senr}_1}^{\text{Aplicación de la ley de Snell a la refracción en la superficie de separación aire-aceite}} \\ \underbrace{1,45\times \overbrace{\text{seni}_2}^{\text{senr}_1} = 1,33\times \text{senr}_2}_{\text{Aplicación de la ley de Snell a la refracción en la superficie de separación aceite-agua}} \end{cases} \rightarrow 1\times \text{sen}40^{\circ} = 1,33\times \text{senr}_2 \rightarrow$$

$$\rightarrow \text{senr}_2 = \frac{1\times \text{sen}40^{\circ}}{1,33} = 0,483 \rightarrow r_2 = \text{arcsen}(0,483) = 28,9^{\circ}$$

24 **CM-J08 Una lámina de vidrio (índice de refracción n = 1,52) de caras planas y paralelas y espesor d se encuentra entre el aire y el agua. Un rayo de luz monocromática de frecuencia 5×10^{14} Hz incide desde el agua en la lámina. Determine:**

a) Las longitudes de onda del rayo en el agua y en el vidrio.

b) El ángulo de incidencia en la primera cara de la lámina a partir del cual se produce reflexión total interna en la segunda cara

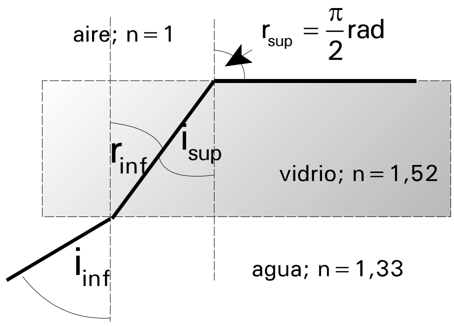
Datos: $n_{agua} = 1,33$; $c = 3.10^8$ m/s

Resolución:

a) Cuando una onda cambia de medio su frecuencia es la magnitud característica que no varía. Si se relaciona la longitud de onda con el índice de refracción, se obtiene:

$$\begin{cases} \lambda = vT = \dfrac{v}{\nu} \\ n = \dfrac{c}{v} \end{cases} \rightarrow \lambda = \frac{c}{n\nu} \rightarrow \begin{cases} \lambda_{H_2O} = \dfrac{c}{n_{H_2O}\nu} = \dfrac{3.10^8 \text{m}/\cancel{\text{s}}}{1,33\times 5.10^{14}\ \cancel{\text{s}^{-1}}} = \\ = 4,511.10^{-7}\text{m} \\ \lambda_{vidrio} = \dfrac{c}{n_{vidrio}\nu} = \dfrac{3.10^8 \text{m}/\cancel{\text{s}}}{1,52\times 5.10^{14}\ \cancel{\text{s}^{-1}}} = \\ = 3,947.10^{-7}\text{m} \end{cases}$$

b) Estudiemos la refracción en las dos caras de la lámina de vidrio, aplicando a ambas la ley de Snell (ver figura adjunta). A la hora de efectuar los cálculos se tendrá en cuenta que los ángulos r_{inf} y i_{sup} son iguales por alternos internos.



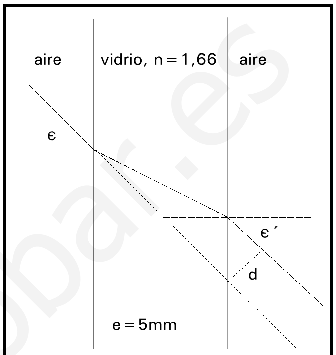
$$\begin{cases} \overbrace{n_{H_2O}}^{1,33} \operatorname{sen} i_{inf} = \overbrace{n_{vid}}^{1,52} \operatorname{sen} r_{inf} \\ n_{vid} \operatorname{sen} i_{sup} = \underbrace{n_{aire}}_{1} \operatorname{sen} \underbrace{r_{sup}}_{\frac{\pi}{2}} \end{cases} \xrightarrow{\text{ya que } r_{inf} = i_{sup}} 1,33 \operatorname{sen} i_{inf} = \underbrace{n_{aire}}_{1} .1 \rightarrow$$

$$\rightarrow \operatorname{sen} i_{inf} = \frac{1}{1,33} \rightarrow i_{inf} = \operatorname{arcsen} \frac{1}{1,33} = 48,75^{o}$$

25 **CL_J09 Sobre una lámina de vidrio de índice de refracción n = 1,66 de caras plano-paralelas y espesor e = 5 mm, incide un rayo de luz monocromática con un ángulo de incidencia ε = 45º.**

a) Deduzca el valor del ángulo ε´ que forma el rayo emergente con la normal a la lámina.

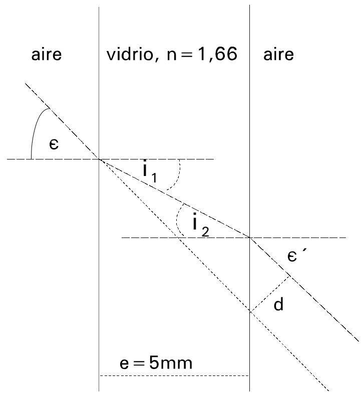
b) Calcule el valor de la distancia d entre las direcciones de la recta soporte del rayo incidente y el rayo emergente, indicada en la figura



Ejercicio 25

Resolución:

a) Apliquemos la ley de Snell a las refracciones en las caras izquierda y derecha de la lámina:

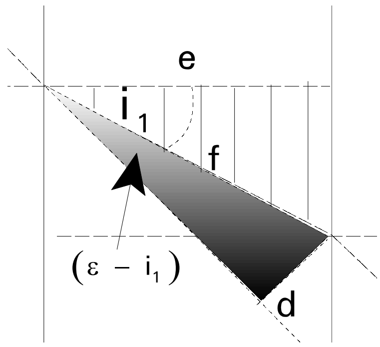


$$\begin{cases} n_{aire} \operatorname{sen} \varepsilon = n_{vidrio} \operatorname{sen} i_1 \\ n_{vidrio} \operatorname{sen} i_2 = n_{aire} \operatorname{sen} \varepsilon' \end{cases} \xrightarrow[\text{alternos internos}]{\text{como } i_1 = i_2 \text{ por}}$$

$$\rightarrow n_{aire} \operatorname{sen} \varepsilon = n_{aire} \operatorname{sen} \varepsilon' \rightarrow$$

$$\rightarrow \operatorname{sen} \varepsilon = \operatorname{sen} \varepsilon' \rightarrow \varepsilon = \varepsilon' \ (45^{o})$$

b) Este segundo apartado se resuelve por sencillas consideraciones geométricas. En efecto, en el triángulo rectángulo en gris se cumple:



$$\frac{d}{f} = \operatorname{sen}(\varepsilon - i_1)$$

, mientras que en rectángulo rayado se tiene:

$$\frac{e}{f} = \cos i_1$$

Si entre las dos igualdades se elimina f (que no interesa, pues no se pide), resulta:

$$\boxed{d = e\frac{\operatorname{sen}(\varepsilon - i_1)}{\cos i_1}}$$

Como el espesor es dato, sólo falta calcular el ángulo i_1, lo que se puede hacer estudiando la refracción en la cara izquierda de la lámina:

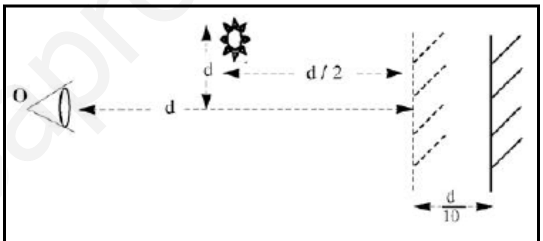
$$\underbrace{n_{aire}}^{1}\underbrace{\operatorname{sen}\varepsilon}^{\sqrt{2}/2} = \underbrace{n_{vidrio}}^{1,66=5/3}\operatorname{sen} i_1 \rightarrow \operatorname{sen} i_1 = \frac{3\sqrt{2}}{10} \rightarrow$$

$$\rightarrow i_1 = \operatorname{arcsen}\frac{3\sqrt{2}}{10} = 25,1^{\circ}$$

La sustitución en la relación recuadrada nos lleva, finalmente, a:

$$d = 5\text{mm}\frac{\operatorname{sen}(45 - 25,1)}{\cos 25,1} = 1,879\text{mm}$$

26 CANT-J02 Un observador se coloca frente a dos espejos planos, como se indica en la figura (que no está a escala). El primer espejo es semitransparente, por lo que la mitad de la luz incidente por la izquierda llega al segundo. Consideramos d = 1 m.



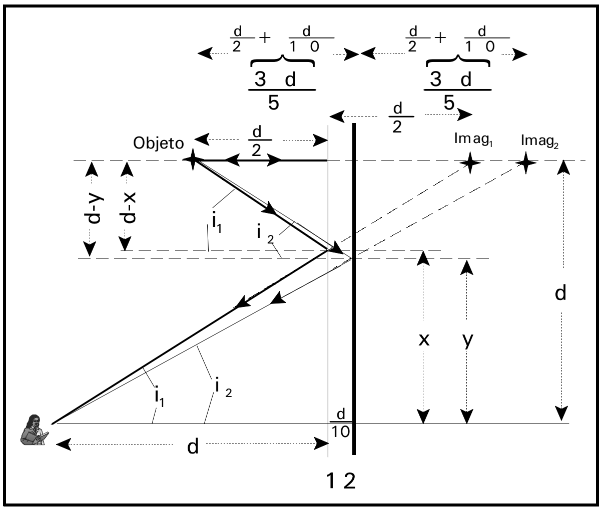
Ejercicio 26

a) Dibujar, indicando las distancias, dónde se formarán las imágenes del objeto luminoso.

b) Para el observador O ¿cuál es la diferencia entre los ángulos con los que se observa las dos imágenes que se forman?

Resolución:

a) En la figura adjunta se muestra la construcción gráfica de las dos imágenes con indicación de distancias. Observa que, por construcción geométrica, los rayos reflejados en los dos espejos que llegan al observador forman con la horizontal dos ángulos que son, en realidad, los respectivos ángulos de incidencia y que se van a calcular en el apartado b)



b) De la figura:

$$\begin{cases} t\,gi_1 = \left\langle \begin{array}{l} \dfrac{d-x}{d/2} \\[2ex] \dfrac{x}{d} \end{array}\right. \rightarrow x = 2d/3 \rightarrow t\,gi_1 = 2/3 \rightarrow i_1 = \mathrm{arctg}\left(2/3\right) = 33,69º \\[4ex] t\,gi_2 = \left\langle \begin{array}{l} \dfrac{d-y}{\dfrac{d}{2}+\dfrac{d}{10}} \\[4ex] \dfrac{y}{d+\dfrac{d}{10}} \end{array}\right. \rightarrow y = 11d/17 \rightarrow t\,gi_2 = 10/17 \rightarrow i_2 = \mathrm{arctg}\left(10/17\right) = 30,47º \end{cases}$$

$$\rightarrow \quad \rightarrow \boxed{i_1 - i_2 = 3,22}$$

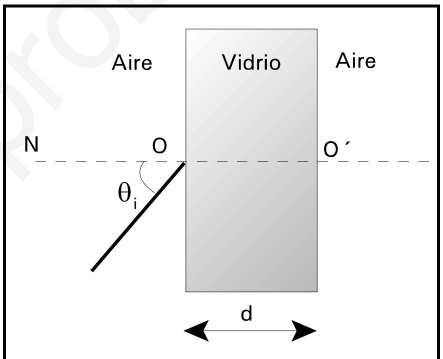
27 CVAL-J04 Un haz de luz blanca incide sobre una lámina de vidrio de grosor *d* con un ángulo $\theta_i = 60º$.

1.Dibuja esquemáticamente las trayectorias de los rayos rojo y violeta.

2. Determina la altura, respecto al punto O' del punto por el que la luz roja emerge de la lámina siendo *d = 1cm*.

3. Calcula qué grosor *d* debe tener la lámina para que los puntos de salida de la luz roja y de la luz violeta estén separados 1cm.

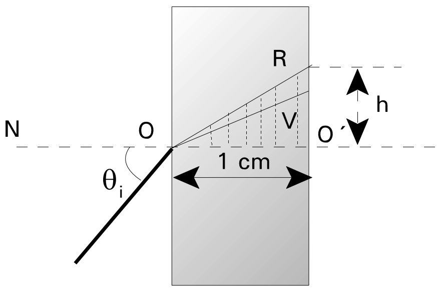
Datos: $n_R = 1,4$ y $n_V = 1,6$



Ejercicio 27

Resolución:

a) Al ser constante el producto nsenθ (Snell), al ser mayor el índice de refracción del vidrio que el del aire, el ángulo de refracción tanto para el rayo violeta como para el rojo es menor que el de incidencia ("el rayo refractado se acerca a la normal"). Como el índice de refracción para el violeta es mayor que para el rojo, su ángulo de refracción es menor(ver figura).



b) Apliquemos la ley de Snell a la refracción del rayo rojo:

$$\overbrace{n_{aire}}^{1}\ \mathrm{sen}\ \overbrace{\theta_i}^{60º} = \overbrace{n_{rojo}}^{1,4}\ \mathrm{sen}\theta_{r(rojo)} \rightarrow \mathrm{sen}\theta_{r(rojo)} = \frac{\sqrt{3}}{2,8} \rightarrow$$

$$\rightarrow \mathrm{tg}\theta_{r(rojo)} = \mathrm{tg}\left[\mathrm{arcsen}\frac{\sqrt{3}}{2,8}\right] = 0,787$$

Se ha obtenido la tangente porque en el rectángulo de la figura se tiene:

$$\frac{h}{1\text{cm}} = tg\theta_{i(rojo)} = 0,787 \rightarrow h = 0,787\text{cm}$$

c) Este apartado no es más que una generalización del caso anterior. Vamos a calcular las alturas sobre O´en función del grosor *d* del vidrio. Para ello obtengamos, previamente, el ángulo de refracción para la luz violeta:

$$\overbrace{n_{aire}}^{1} \operatorname{sen} \overbrace{\theta_i}^{60°} = \overbrace{n_{violeta}}^{1,6} \operatorname{sen}\theta_{r(violeta)} \rightarrow \operatorname{sen}\theta_{r(violeta)} = \frac{\sqrt{3}}{3,2} \rightarrow$$

$$\rightarrow tg\theta_{r(violeta)} = tg\left[\operatorname{arcsen}\frac{\sqrt{3}}{3,2}\right] = 0,644$$

Expresaremos primero la altura de cada uno de los rayos sobre O´en función del grosor del vidrio y después calcularemos el grosor para el que la diferencia de alturas es 1cm, que es lo que se pide:

$$\frac{h_{rojo}}{d} = tg\theta_{i(rojo)} = 0,787; \quad \frac{h_{violeta}}{d} = tg\theta_{i(violeta)} = 0,644 \rightarrow$$

$$\rightarrow \underbrace{h_{rojo} - h_{violeta}}_{1cm} = d\left[tg\theta_{i(rojo)} - tg\theta_{i(violeta)}\right] \rightarrow$$

$$\rightarrow d = \frac{1\text{cm}}{0,787 - 0,644} = 6,96 \text{ cm}$$

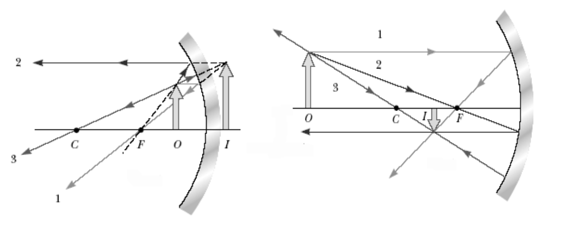
28 **CL-J98 Realizando las construcciones gráficas oportunas, deduce qué características tiene la imagen que se forma en un espejo cóncavo esférico cuando el objeto se halla:**

a) Entre el foco y el vértice del espejo.

b) A una distancia mayor que el radio de curvatura del espejo.

Respuesta:

En el gráfico adjunto se traza la trayectoria de los rayos aplicando las propiedades del foco, del centro de curvatura y la ley del retorno inverso de la luz:



Ejercicio 28

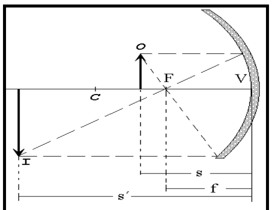
"Todo rayo que incida en el espejo paralelo al eje óptico (otro nombre del eje principal) , se refleja pasando por el foco" (rayo 1 en ambas figuras)

"Todo rayo que pase por el foco se refleja paralelo al eje principal" (reversibilidad de las trayectorias de la luz o ley del retorno inverso), (rayo 2)

"Todo rayo que pase por el centro de curvatura se refleja en la dirección de incidencia" (pues es nulo el ángulo de incidencia y tiene que serlo el de reflexión), (rayo 3).

En el caso a) al ser divergentes los rayos reflejados, convergen sus prolongaciones, dando lugar a una imagen virtual derecha y mayor, mientras que en el b) es real, invertida y menor.
Para el trazado hubiera bastado, evidentemente, con dos de esos tres rayos.

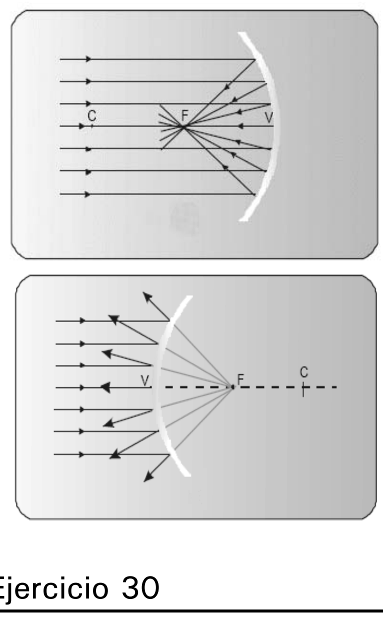
29 **CV-J98 Dado un espejo esférico cóncavo y un objeto de altura h, construye el esquema de rayos que proporcione su posición (real o virtual, derecha o invertida) y su tamaño (menor o mayor), en los siguientes casos:**
a) El objeto se encuentra entre el foco y el centro de curvatura del espejo.
b) El objeto se encuentra a una distancia del espejo menor que la distancia focal.
c) El objeto se encuentra a una distancia del espejo mayor que el radio de curvatura.



Ejercicio 29 a)

Respuesta:
Los apartados b) y c) se han respondido ya en el ejercicio anterior. Veamos el a).
Para obtener la imagen se han empleado dos rayos: uno que incide paralelo al eje óptico que se tiene que reflejar pasando por el foco, según la definición de este, y, otro que, pasando por el foco, se refleja paralelo al eje principal, según la ley del retorno inverso de la luz o de reversibilidad de las trayectorias de la luz. Se puede observar que la imagen es *real*, *invertida* y de **mayor** tamaño que el objeto.

30 **CANT-J98. a) ¿Qué se entiende por foco y distancia focal en un espejo esférico cóncavo y en uno convexo?**
b) ¿Cómo será la imagen que proporciona un espejo esférico cóncavo de un objeto situado entre el centro de curvatura y el foco del espejo?. Se utilizarán diagramas de rayos para responder a la cuestión.
Respuesta:
a) En la figura se visualizan las propiedades de los elementos de los espejos:
El foco de un espejo cóncavo es aquel punto del eje óptico por el que se reflejan todos los rayos que inciden paralelos al mencionado eje, mientras que , si el espejo es convexo, es el punto del eje principal en el que convergen la PROLONGACIÓN de los rayos que inciden paralelos al eje principal (ya que los rayos reflejados, divergen). Las distancias focales (f) son las distancias, desde el vértice del espejo o centro óptico hasta los respectivos focos.
b) Ver apartado a) del ejercicio anterior.

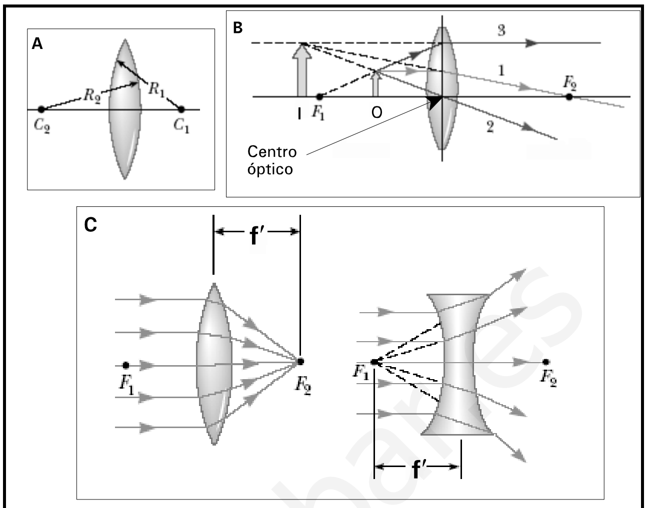


Ejercicio 30

31 **CL-S03 Explique con claridad los siguientes conceptos relacionados con una lente: centro de curvatura de una lente, centro óptico de una lente, distancia focal imagen e imagen virtual.**

Respuesta:

El centro de curvatura de una lente es el *centro de la superficie esférica de cada una de las caras de la lente*, por lo que hay que hablar, en general, de centroS de curvatura (puntos C_1 y C_2 de la figura 31 A). Si una de las caras de la lente es plana, su centro de curvatura estaría situado a "infinita" distancia de él.



Ejercicio 31

El centro óptico de una lente es su centro geométrico (figura 31 B). Tiene la propiedad siguiente: todo rayo que incida sobre la lente llevando su dirección no se desvía (rayo 2).

En la misma figura 31 B se visualiza una imagen virtual: Es la que *se forma prolongando los rayos refractados* por cuanto los mismos divergen tras atravesar la lente.

Se define foco virtual de una lente como el punto del eje óptico en el que convergen los rayos que inciden sobre la misma paralelos al mismo, (figura 31 C). Observa que, en el caso de una lente divergente, convergen en el foco imagen las PROLONGACIONES de los rayos refractados, pues estos son divergentes. Por la propia definición, una lente convergente tiene el foco imagen por su derecha (F_2) y una divergente, por su izquierda (F_1).

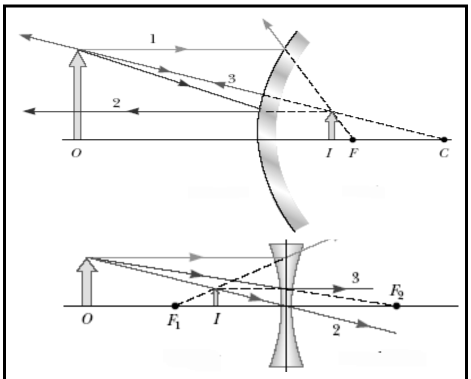
La distancia focal imagen (f´) es *la distancia desde el centro óptico al foco imagen*

32 **CL-S99 Utilizando las oportunas gráficas de formación de imágenes,**

a) Deduzca qué características comunes posen las imágenes producidas por las lentes delgadas divergentes y por los espejos convexos

b) ¿Para qué posiciones del objeto se manifiestan estas características comunes? Razone la respuesta

Respuesta:



Ejercicio 32

En la figura adjunta se muestra el tipo de imágenes que forman ambos dispositivos. Los dos dan SIEMPRE imágenes virtuales,

derechas y menores que el objeto, diferenciándose en la posición de la imagen: del mismo lado que el objeto, en el caso de la lente y del opuesto en el del espejo.
Nota cómo se ha dibujado la trayectoria de los rayos, teniendo en cuenta las propiedades del foco y del centro de curvatura en el caso del espejo y del foco y del centro óptico en el caso de la lente divergente.

33 CL-S04 Explique que es: una lente convergente, una lente divergente, una imagen virtual y una imagen real.
Respuesta:
Una lente convergente hace convergir los rayos que inciden paralelos a ella. Si dichos rayos divergen, la lente se denomina divergente (ver el gráfico C del ejercicio 31)
Una imagen es real se forma por convergencia de los rayos reflejados o refractados, mientras que si dichos rayos divergen, la convergencia de sus prolongaciones dan lugar a una imagen llamada virtual.

34 CL-J09 ¿Puede una lente divergente formar una imagen real de un objeto real? Razone su respuesta.
Respuesta:
Como puede verse en la imagen inferior del gráfico del ejercicio 32, una lente divergente da SIEMPRE imágenes virtuales del objeto.

35 CAN-S03 Explica razonadamente cómo es la imagen que se obtiene con un espejo convexo.
Respuesta:
Ver solución ejercicio 32

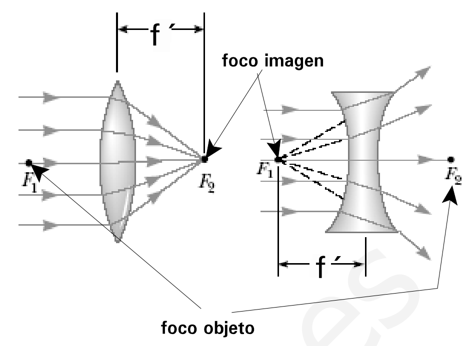
36 CL-S02 Defina o explique los siguientes conceptos físicos relacionados con la óptica: ángulo límite, distancia focal de un espejo cóncavo, imagen virtual de una lente, potencia de una lente delgada.
Respuesta:
Cuando un rayo pasa de un medio más refringente a otro que lo es menos, el ángulo de incidencia cuyo refractado vale 90º se denomina ángulo límite , (ver figura del ejercicio 14).
La distancia focal de un espejo cóncavo es la que hay entre el vértice del espejo y su foco (punto en el que convergen los rayos que inciden paralelos al eje óptico), (ver gráfico ejercicio 30).
Si los rayos procedentes de un objeto se refractan en una lente de modo que divergen tras atravesarla, entonces convergen las prolongaciones de esos rayos refractados, dando lugar en el punto en el que se cortan esos rayos prolongados a una imagen denominada virtual, (ver figura ejercicio 30 , imagen inferior).

La potencia o convergencia de una lente delgada es, por definición, la inversa de la distancia focal imagen. Si dicha distancia se mide en metros, la potencia se expresa en dioptrías (dioptría = m^{-1})

37 CANT-S98 a) ¿Qué se entiende por foco objeto y foco imagen de una lente convergente y una divergente?

b) Describe el funcionamiento de algún instrumento óptico sencillo que utilice lentes convergentes .

Respuesta:



Ejercicio 37

<u>En el caso de una lente convergente</u>, el *foco imagen es el punto del eje óptico en el que convergen los rayos que inciden sobre ella paralelos a dicho eje*. (punto F_2 de la figura adjunta, gráfico izquierdo). Su simétrico respecto a la lente es el *foco objeto y tiene la propiedad de que cualquier rayo que incida en la lente tras pasar por él, se refracta paralelo al eje óptico*, (punto F1 de la figura 37, parte izquierda).

Si se trata de una lente divergente, el *foco imagen es el punto del eje óptico en el que convergen las PROLONGACIONES de los rayos que inciden sobre ella paralelos a dicho eje y que divergen tras atravesarla*. (punto F_1 de la figura adjunta, gráfico derecho).

Su simétrico respecto a la lente es el *foco objeto y tiene la propiedad de que cualquier rayo que incida en la lente llevando su dirección, se refracta paralelo al eje óptico*, (punto F_2 de la figura 37, parte derecha).

El microscopio y la camara fotográfica, por ejemplo, emplean lentes convergentes. Ver ejercicio 39 acerca del funcionamiento de un microscopio.

38 LR-J98. Cuando se habla del ojo como instrumento óptico, aparecen dos puntos importantes el punto próximo y el remoto. Explica clara y brevemente qué son y qué importancia tienen.

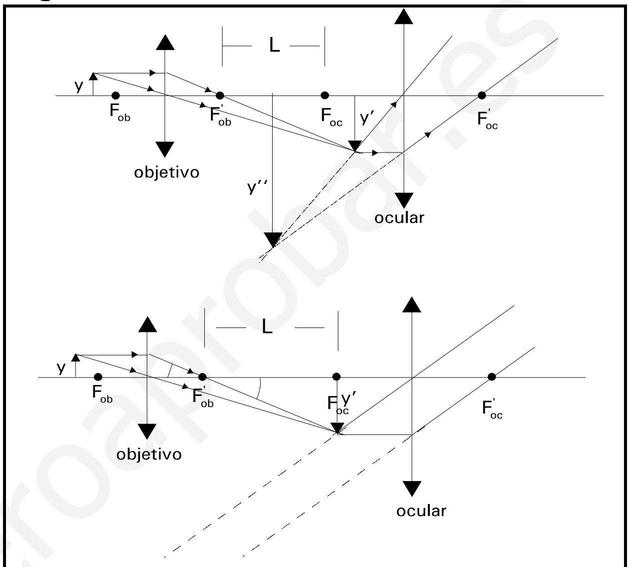
Respuesta:

El grado de curvatura del cristalino se puede modificar mediante los músculos ciliares. Cuando estos no actúan sobre el mismo, el radio de sus caras toma el mayor valor o, equivalentemente, esta lente actúa con la mayor distancia focal. En estas circunstancias, un ojo normal forma en la retina la imagen de un objeto situado en el "infinito" (o lo suficientemente alejado como para que podamos considerar paralelos los rayos que llegan al cristalino). <u>*Se llama punto remoto al punto más alejado cuya imagen se forma en la retina sin necesidad de actuación de los músculos ciliares para cambiar la curvatura de las caras del cristalino*</u>.

A medida que un objeto se aproxima al ojo, si se quiere que su imagen se siga formando en la retina, debe aumentar la convergencia del cristalino , lo que se logra actuando los músculos ciliares de modo que disminuyan el radio de curvatura de sus caras (aumenta su “abombamiento”). A este proceso de ir cambiando la curvatura del cristalino para que la imagen del objeto se siga formando en la retina se denomina acomodación. ¿Se puede seguir indefinidamente?. No, pues el cristalino se curva hasta un valor mínimo del radio de curvatura. *El punto cuya distancia al ojo es tal que su imagen se forma en la retina cuando el radio de curvatura es mínimo recibe el nombre de punto próximo*. Para un ojo normal, suele estar a unos 25 cm del ojo.

39 CL-J01 Dibuje un esquema con la formación de las imágenes en un microscopio. Describa su funcionamiento. Analice las características de las imágenes formadas por sus lentes. ¿De qué factores depende el aumento?

Respuesta:



Ejercicio 39 A) y B)

El microscopio o microscopio compuesto es un dispositivo que aumenta considerablemente más que una lupa (microscopio simple) el tamaño de los objetos. Consta, básicamente de *dos lentes convergentes*. La más próxima al objeto a ver recibe el nombre de *objetivo*, mientras que se llama *ocular* la lente a través de la cual se mira. La distancia focal de la primera es bastante inferior a la de la segunda.

Veamos el proceso de ampliación de la imagen. Un objeto , *y*, se coloca a la izquierda del foco objeto del objetivo en un punto tal que da lugar a una imagen real invertida y mayor, y' . La segunda lente, el ocular, está dispuesto de tal modo que esa imagen y´, que actúa de objeto para ella, se forma a la derecha de su foco objeto de modo que la imagen final, y'' es virtual, invertida y mayor. Desde luego, la distancia de y´´al ojo debe de ser igual o mayor a los 25 cm del punto próximo. En la figura 39 A se muestra gráficamente el proceso descrito en el caso de que el ojo acomode. En la figura 39 B se muestra el mismo proceso si se quiere ver la imagen final sin acomodación, es decir; formada en el “infinito”, lo que obliga a que la imagen que produce el objetivo se forme en el foco de la lente ocular. En microscopio se enfoca variando la distancia al objeto a observar del conjunto objetivo-ocular, siendo constante la distancia entre ambas lentes.

El aumento de un microscopio compuesto se define como la razón del ángulo θ´subtendido desde el ojo por la imagen final al ángulo que subtiende el objeto situado en el punto próximo:

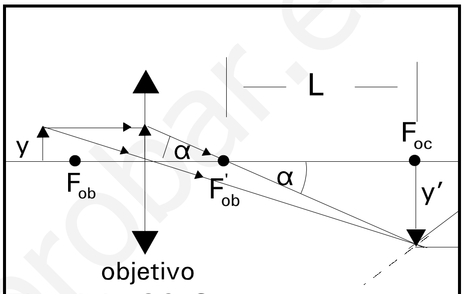
$$\gamma=\frac{\theta'}{\theta}\simeq\frac{\mathrm{tg}\ \theta'}{\mathrm{tg}\ \theta}=\frac{y'/f_{oc}}{y/25}=\frac{25}{f_{oc}}\underbrace{\boxed{\frac{y'}{y}}}_{=\frac{L}{f_{ob}}}=\frac{25L}{f_{oc}f_{ob}}\quad \text{(en cm)}$$

Donde L, distancia entre el foco imagen del objetivo y el foco objeto del ocular, recibe el nombre de intervalo óptico

La justificación de la relación anterior requiere hacer dos consideraciones:

1ª) El ángulo θ´que subtiende la imagen final , y´´(en el infinito, para el caso de visualización sin acomodación) es el mismo que el que subtiende y´ (imagen del objetivo) situada en el foco del ocular.

2ª En la figura adjunta, que no es más que una parte ampliada del gráfico 39 A) y B), puede verse como si se iguala la tgα de los dos rectángulos opuestos por el vértice se llega a la relación:



Ejercicio 39 C)

$$\frac{y'}{y}=\frac{L}{f_{ob}}$$

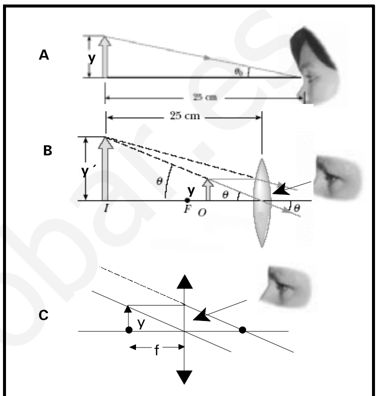
El resultado obtenido es que el *aumento es directamente proporcional al intervalo óptico y a las potencias de ambas lentes*. Obviamente , esa relación es válida para la visión microscópica con enfoque al infinito.

40 **CL-J01 Conteste, en relación con dos de los defectos más corrientes de la visión, miopía e hipermetropía, a las dos siguientes preguntas: a)Descripción de cada uno de los dos defectos. b)Corrección, mediante lentes, de cada uno de ellos.**

Respuesta:

Una persona miope, tiene un ojo excesivamente convergente. Esto puede deberse a dos causas; un cristalino más convergente de lo normal (miopía refractiva) o un globo ocular mayor de lo normal (miopía axial). En estas circunstancias, una persona con este defecto de la visión ve los objetos muy bien muy de cerca (tiene el punto próximo a menos de 25 cm, por la excesiva convergencia de su sistema de visión), sin embargo forma una imagen de los objetos lejanos, delante de la retina, con lo que la imagen de un punto NO es un punto sino un segmento, de ahí la visión borrosa. Su zona de visión normal, en la que el ojo acomoda , no está comprendida entre el "infinito" y 25 cm sino, entre 50 cm y 16 cm, por ejemplo. Esos dos puntos serían el remoto y el próximo. Desde luego en este caso es necesaria una lente divergente para corregir el exceso de convergencia. La hipermetropía es, en cierto sentido, el defecto opuesto. El hipermétrope ve bien de lejos pero no aprecia con nitidez los objetos próximos. El motivo es que su sistema óptico es menos convergente de lo necesario, con lo que ve bien un objeto alejado, para lo que necesita poca convergencia, pero a medida que se acerca el objeto, para seguir viendolo en la retina necesita aumentar la convergencia. Un ojo normal lo hace hasta los 25 cm; un ojo hipermétrope quizás hasta 50 cm, pues si se aproxima más, al no poder aumentar la convergencia, forma la imagen tras la retina con lo que la visión ya es borrosa al transformar un punto en un segmento. Como, para tener una visión normal, necesita aumentar la convergencia, de esta clase es la lente a través de la cual debe de ver: convergente.

41 **AR-J03 Una lupa se emplea para poder observar con detalle objetos de pequeño tamaño.**
a) Explica el funcionamiento óptico de una lupa: ¿Qué tipo de lente es, convergente o divergente? ¿Dónde debe situarse el objeto a observar? La imagen que produce, ¿es real o virtual? ¿Derecha o invertida?
b) Dibuja un trazado de rayos que explique gráficamente el proceso de formación de imagen de una lupa.



Ejercicio 41

Respuesta:
Es una lente convergente que aumenta el tamaño de un objeto situándolo entre su foco y ella. La imagen formada es virtual, derecha y mayor. Si se acerca un objeto al ojo para verlo del mayor tamaño posible, lo haremos hasta 25 cm que, para un ojo normal, es la mínima distancia a la que se puede acercar un objeto viendose nítidamente (imagen formada en la retina). En este caso, el objeto que vemos subtiende un ángulo de valor θ_0, figura 41 A.
Si la visión del mismo objeto se realiza con una lupa, lo que se hace es aproximar el objeto a la misma, de modo que su imagen se pueda ver del mayor tamaño posible (luego formado a 25 cm del ojo), figura 41 B.

Observa , comparando A y B, cómo el mismo objeto de altura *y* subtiende , en B, un ángulo de valor θ, mayor que en A, por estar más próximo al ojo. Es el mismo ángulo que subtiende su imagen, y´situada a25 cm del ojo, es decir; *la lupa, sustituye en nuestro cerebro un el objeto de altura y por otro mayor. de altura y´ situados ambos en la posición en la que se ven del mayor tamaño posible; a 25 cm del ojo*.

La figura C muestra el funcionamiento de la lupa cuando se observa el objeto sin acomodación (enfoque al infinito). El objeto hay que colocarlo, evidentemente, en el foco. EN ESTE CASO, el aumento de la lupa es:

$$\gamma = \overbrace{\frac{\theta'}{\theta_0} \simeq \frac{\text{tg } \theta'}{\text{tg } \theta}}^{\text{aproximación válida para ángulos pequeños}} = \frac{\dfrac{y}{f'(cm)}}{\dfrac{y}{25}} = \frac{25}{f'(cm)}$$

Pues el objeto situado en el foco subtiende el mismo ángulo que u imagen en el "infinito".

Dicho aumento es, evidentemente menor que en B, porque el objeto está , en ese caso, más próximo a la lupa, aunque se forzando el funcionamiento del ojo (con acomodación).