

FISICA I: MATERIAL COMPLEMENTARIO

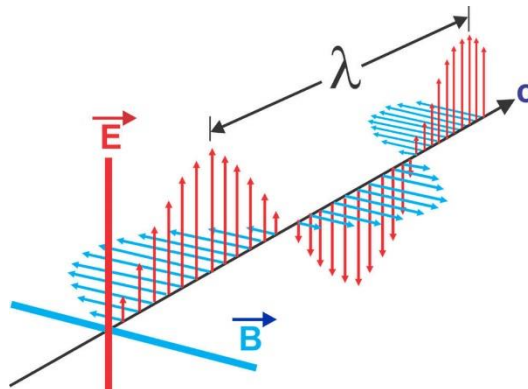
UNIDAD 01: OPTICA GEOMÉTRICA

PROPAGACIÓN DE LA LUZ – LEY DE REFLEXIÓN – LEY DE REFRACCIÓN – REFLEXIÓN INTERNA TOTAL (PRIMERA PARTE)

Introducción:

Sabemos que la luz es, a la vez onda y partícula. De ahí que la descripción del **fenómeno luz** puede ser considerado como Ondulatorio o Corpuscular, según sea la circunstancia.

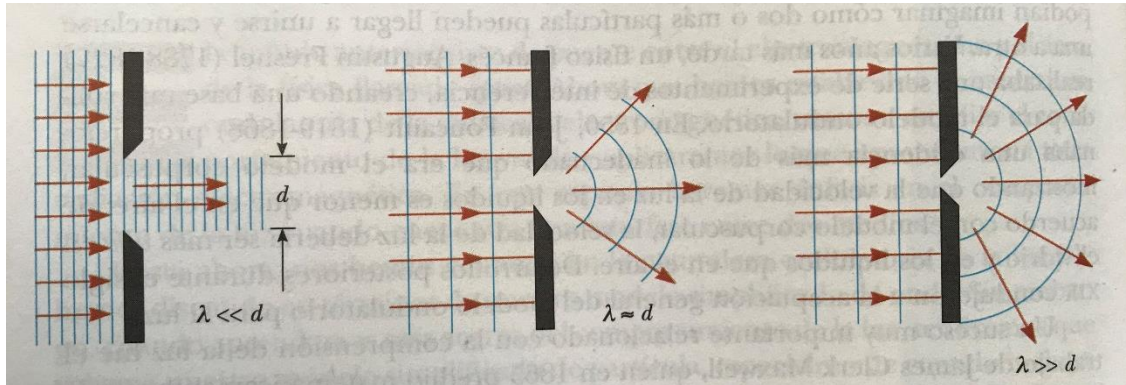
Lo más exacto para el caso de la Óptica Geométrica es considerar a la luz como **una onda electromagnética**, cuya rapidez y otras propiedades se pueden derivar de las ecuaciones de Maxwell.



Ocorre que en muchas circunstancias las ondas viajan en línea recta, es decir, que son líneas perpendiculares a los frentes de onda y se llaman **rayos de luz**. Por ejemplo: los rayos de un proyector en una habitación con humo, el ingreso de un haz solar en un paisaje, etc.



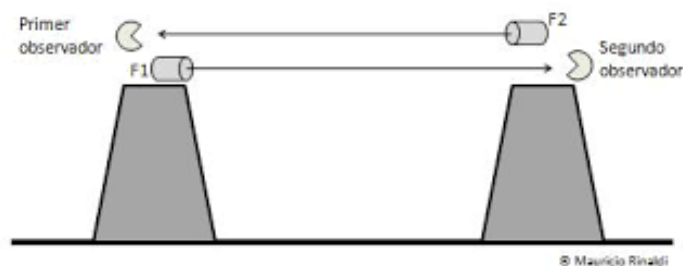
Entonces, la Óptica Geométrica es un tratamiento aproximado en el cual las ondas electromagnéticas se pueden representar por **rayos rectos**. Este es el “**Modelo de Rayos**” de la Óptica Geométrica. Por cierto, será válido si las ondas no encuentran obstáculos comparables en tamaño, con la longitud de onda λ de la radiación. En ese sentido, la condición óptima es que $\lambda \ll d$, en donde d = tamaño del orificio. De lo contrario se desprenden conceptos como: Interferencia, Polarización y Difracción; que son fenómenos físicos que ahora no estudiaremos.



Mediciones de la rapidez de la luz:

La rapidez de la luz es muy alta y en vacío vale $c = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} = 300000 \text{ (km/seg)}$. Esto hizo que los primeros intentos para medirla no fueran exitosos...

A finales del 1700, Galileo intentó calcularla y para ello colocó a dos observadores en dos torres separadas una distancia de 5 (millas). Cada observador tenía una linterna. Por lo tanto al encender una de ellas, el otro al ver la luz encendería la suya. El intento fracasó por dos motivos: a) debido a que el tiempo que se medía en relación al viaje de ida y vuelta de la luz de una torre a otra, incluía también los tiempos de reacción de ambos observadores, y b) la distancia entre las torres resultaba muy pequeña teniendo en cuenta que la rapidez a la que se propaga la luz en el aire es muy alta.



Quienes obtuvieron por primera vez un valor aproximado de la rapidez de la luz, fueron Roemer y Huygens. La técnica de Roemer (1644 – 1710) consistió en hacer observaciones astronómicas de una de las lunas de Júpiter, llamada Io. Al valor de la

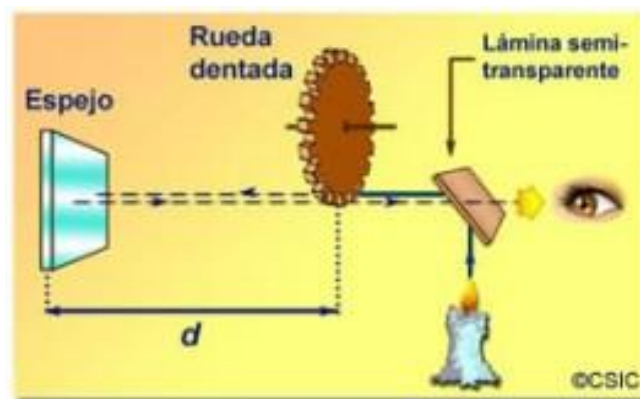
rapidez de la luz lo calculó finalmente Huygens con los datos de Roemer y le dio $2,3 \cdot 10^8$ (m/s). Un valor finito!



Corría el año 1849 cuando Fizeau, calcula por primera vez, un valor de la rapidez de la luz muy parecido al que se conoce en la actualidad. La idea fue medir el intervalo de tiempo que le toma a luz viajar desde algún punto hasta un espejo y regresar a dicho punto, experiencia esta, muy parecida a la de Galileo. Si “d” es la distancia entre la rueda dentada y el espejo plano y, “t” es el tiempo de viaje completo (ida y vuelta), la rapidez de la luz se pudo calcular como:

$$c = \frac{2 \cdot d}{t}$$

y el valor obtenido fue de $3,1 \cdot 10^8$ (m/s), ya mucho más cercano al actual!



Nota: más detalles de cada uno de estos experimentos y otros más, podrá tomarlos desde cualquier texto de física o desde una página de internet confiable.

En la actualidad el perfeccionamiento de la técnica de Fizeau, permitió finalmente determinar que la rapidez de la luz en el vacío es $c = 3 \cdot 10^8$ (m/s) y en el aire aproximadamente ese valor.

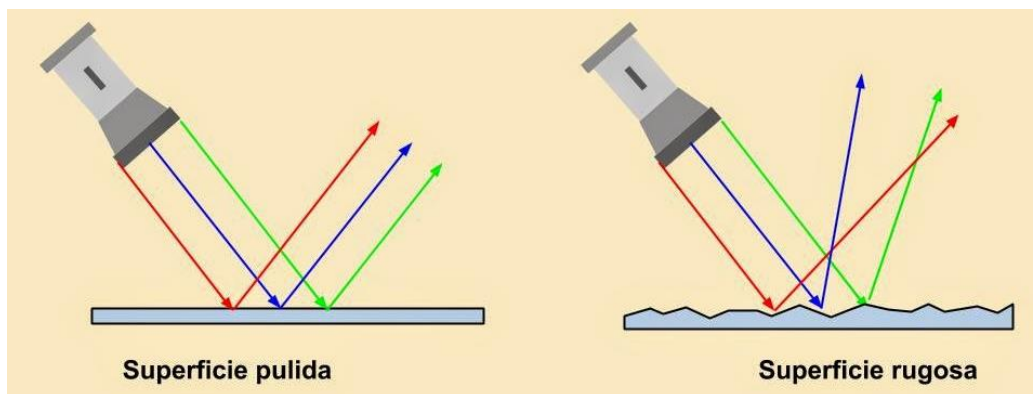
Fenómenos de Reflexión y Refracción:

Reflexión de la Luz

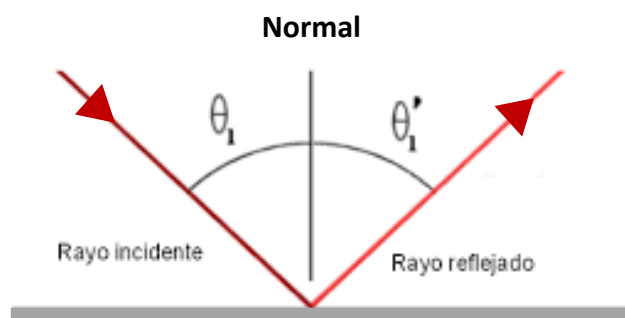
Cuando un rayo de luz se propaga de un medio a otro, parte del rayo incidente se refleja en el primer medio y parte se refracta. La **figura (a)** muestra algunos rayos incidentes que se reflejan en una superficie lisa, similar a un espejo plano. Los rayos reflejados son todos paralelos entre sí. Este fenómeno se conoce como reflexión especular o simplemente reflexión. Por otra parte, si la superficie reflectora es rugosa, como la **figura (b)**, los rayos reflejados tendrán distintas orientaciones y a esta situación se la denomina reflexión difusa.

figura (a)

figura (b)



Supongamos ahora un rayo de luz que se propaga por el aire y que incide, con una cierta inclinación, sobre una superficie plana y lisa (como por ejemplo un espejo). Los rayos incidente y reflejado, forman ángulos θ_1 y θ_1^* con la normal a la superficie y, a través de distintos experimentos se demostró que **el ángulo de incidencia es igual al ángulo de refracción**.

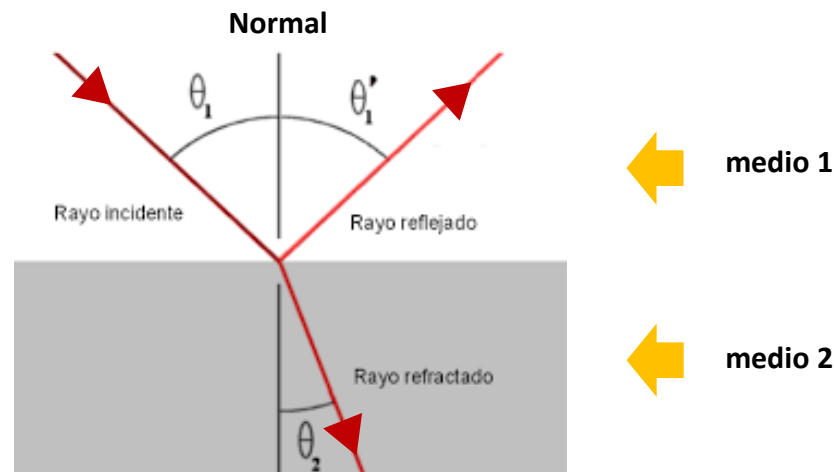


Entonces en la Ley de Reflexión se escribe que:

$$\theta_1 = \theta_1^* \quad (1)$$

Luz Refractada

Cuando un rayo que se propaga a través de un medio transparente se topa con una frontera que conduce a otro medio transparente, parte del rayo se refleja, según lo explicado en el párrafo anterior y, otra parte ingresa al segundo medio. El rayo que entra al otro medio se desvía en la frontera y entonces se afirma que hay Refracción. Veamos la siguiente figura:



De acá se desprenden los siguientes conceptos:

- 1.- El rayo incidente, reflejado y refractado están todos en un mismo plano.
- 2.- El ángulo de refracción θ_2 depende de las propiedades de los medios y del ángulo de incidencia θ_1 . Esta dependencia se expresa como:

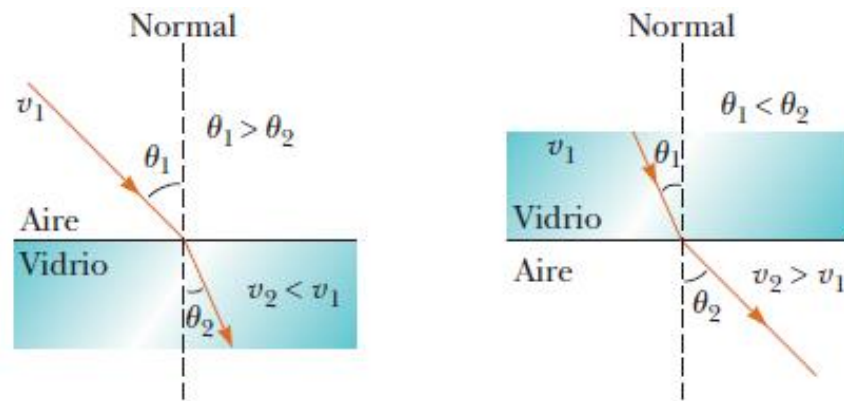
$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} \quad (2)$$

donde:

- * v_1 = rapidez de la luz en el medio 1 (m/seg)
- * v_2 = rapidez de la luz en el medio 2 (m/seg)

Quien descubrió experimentalmente esta relación fue **Snell** (1591 – 1627), de ahí que la Ley de Refracción lleve su nombre. Más adelante retomaremos (2) y la expresaremos en términos del **índice de refracción** de cada uno de los medios.

- 3.- Los rayos de incidencia, reflexión y refracción se medirán siempre respecto de la normal.
- 4.- La trayectoria de un rayo de luz a través de una superficie refractora es reversible.
- 5.- Cuando se pasa de un medio menos refringente a otro más refringente, el rayo refractado se acerca a la normal y viceversa. Las figuras siguientes ilustran lo que se acaba de expresar.



Tener en cuenta que: $v_1 \cong 3 \cdot 10^8 (m/seg)$ y $v_2 \cong 2 \cdot 10^8 (m/seg)$. Este último dependiendo del tipo de vidrio.

Índice de Refracción y su relación con la Ley de Snell:

Sabemos que la luz en el vacío viaja a $c = 3 \cdot 10^8 (m/s)$ y disminuye su rapidez cuando atraviesa algún material. Debido a esto, se propone definir al índice de refracción como:

$$n = \frac{\text{rapidez de la luz en el vacío}}{\text{rapidez de la luz en el medio}} = \frac{c}{v} \quad (3)$$

De esta manera se pudo tabular el valor de los índices de refracción de ciertas sustancias transparentes, gases, líquidos y sólidos, medidos con luz amarilla de sodio de longitud de onda $\lambda = 589 (nm)$, que se muestran a continuación:

Medio	n
Gases a 0 °C, 1 atm	
Aire	1.000293
Dióxido de carbono	1.00045
Hidrógeno	1.000139
Oxígeno	1.000271
Líquidos a 20 °C	
Benceno	1.501
Disulfuro de carbono	1.628
Tetracloruro de carbono	1.461
Etanol	1.361
Glicerina	1.473
Agua fresca	1.333
Sólidos (longitudinales o a granel)	
Diamante	2.419
Fluorita	1.434
Vidrio corona	1.52
Vidrio pedernal	1.66
Hielo (a 0 °C)	1.309
Poliestireno	1.49

Según la definición expresada en (3), se puede deducir que el índice de refracción es adimensional y siempre mayor que 1, ya que la rapidez de la luz en un medio es siempre menor que en el vacío.

A continuación, con las fórmulas (2) y (3) y mediante formulaciones matemáticas, expresaremos otra forma de la Ley de Snell, que es la más utilizada en ciencia e incluso en las clases de resolución de problemas.

Veamos entonces; si de (3) se despeja v , se obtiene que:

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

y al adaptar esta expresión para cada uno de los medios, 1 y 2 respectivamente, se tiene:

$$v_1 = \frac{c}{n_1} \quad y \quad v_2 = \frac{c}{n_2}$$

entonces, si reemplazamos estas dos últimas expresiones en (2), nos queda:

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\frac{c}{n_2}}{\frac{c}{n_1}}$$

que, simplificando “c” y haciendo el producto de los extremos por los medios en el segundo miembro, se llega a:

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

Lo que finalmente, despejando da:

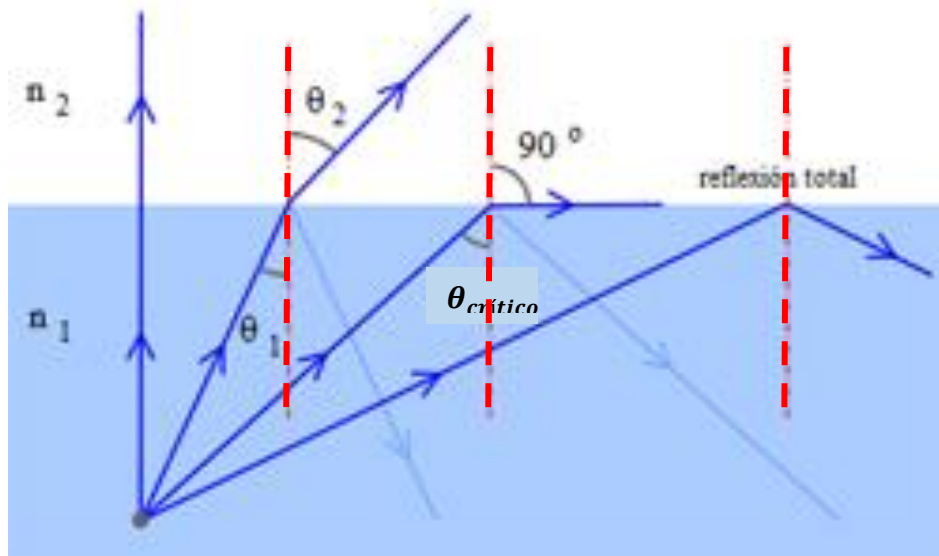
$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (4)$$

Reflexión Interna Total:

Este fenómeno físico ocurre cuando un rayo de luz pasa de un medio más refringente a otro menos refringente, como por ejemplo del agua al aire, del vidrio al aire, etc.

El rayo incidente podrá tomar distintas inclinaciones respecto de la normal “N” en donde se irá refractando hacia el segundo medio que es el aire, pero, ocurrirá que para un

ángulo crítico el rayo refractado emergerá paralelo a la superficie que divide a ambos medios, es decir con un ángulo $\theta_2 = 90^\circ$.



Si se aplica la Ley de Snell en esa situación, se puede calcular el ángulo incidente crítico.

$$n_1 \cdot \sin \theta_c = n_2 \cdot \sin \theta_2$$

En el ejemplo agua-aire ese ángulo crítico será de: $\theta_c = 49,7^\circ$.

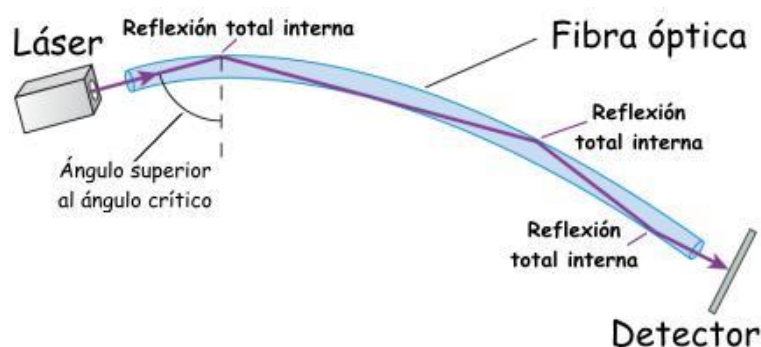
Esta cuenta se hace despejando:

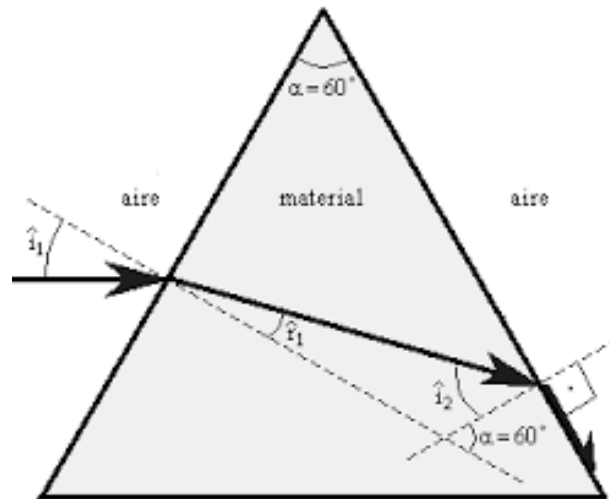
$$\theta_c = \arcsen\left(\frac{n_2 \cdot \sin \theta_2}{n_1}\right) \quad (5)$$

y reemplazando los valores de: $\theta_2 = 90^\circ$ $n_1 = 1,33$ $n_2 \cong 1$

intente hacerlo y lo confirmará!

Entonces si usted opera ahora con ángulos superiores a $\theta_c = 49,7^\circ$ ocurre el fenómeno de **Reflexión Interna Total**, es decir que los rayos incidentes ya no se refractan más hacia el segundo medio: aire, sino que se reflejan y permanecen en el primer medio: agua. Hay muchos ejemplos interesantes en donde se aplica este fenómeno de la Óptica Geométrica, no obstante lo invito a que lea e interprete el de fibra óptica y primas en general. Algunos de estos casos van a ser resueltos en clase de problemas.





Es todo!!! Luego en el Práctico se resolverán algunos problemas y usted se empezará a sentir más seguro con estos temas.

Le deseo éxitos en su estudio. Hasta la próxima!!!

Ing. Juan Lancioni.

NOTA: las imágenes y fotos fueron tomadas de la web y del libro de Serway – Jewet séptima edición.