

EL PRINCIPIO DE FERMAT

Históricamente, el principio del tiempo mínimo de Fermat ha servido de base en la formulación de las leyes de la reflexión y de la refracción de un modo sencillo. Pierre de Fermat fue un jurista y matemático francés quien junto a René Descartes fueron los matemáticos más importantes de la primera mitad del siglo XVII.

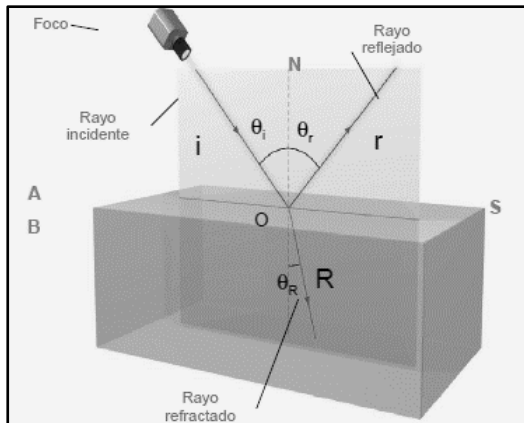
Fermat (1622) considero que: “La naturaleza tiende siempre a actuar por los caminos más cortos”. Este principio establece que la luz se desplaza de un punto a otro siempre por el camino más corto y en un tiempo mínimo (la línea recta). Por lo tanto, se considera que en un medio homogéneo e isótropo la trayectoria de la luz es rectilínea y su velocidad es constante.

Otro factor que se debe considerar en la distancia que recorre la luz, es de la velocidad de propagación en los distintos medios que puede moverse y de su índice de refracción.

Se sabe que: $d = v \cdot t$, donde t es el tiempo que tarda la luz en moverse desde un punto A al punto B, separados una distancia d de un medio.

REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ

Son los fenómenos físicos, en los cuales, los rayos luminosos que se encuentran en un medio (A) moviéndose en una dirección determinada, chocan con una superficie y dependiendo del tipo de superficie, estos rayos son desviados (reflexión) en otra dirección o continúan moviéndose (refracción) en un segundo medio (B).



La normal de los rayos reflejados y refractados se encuentran en el mismo plano.

ÁNGULO DE INCIDENCIA Y ÁNGULO DE REFLEXIÓN

Se llama ángulo de incidencia (θ_i) el formado por el rayo incidente y la normal.

La normal es una recta imaginaria perpendicular a la superficie de separación de los dos medios en el punto de contacto del rayo.

El ángulo de reflexión (θ_r) es el formado por el rayo reflejado y la normal.

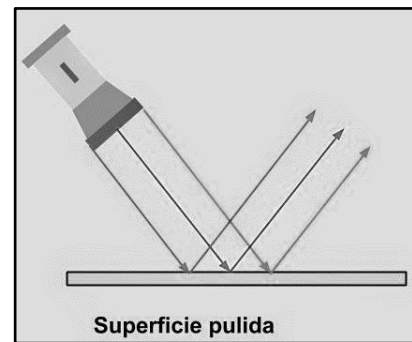
REFLEXIÓN DE LA LUZ

Es el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso al chocar con la superficie de un objeto. Fenómeno físico en el cual un rayo de luz incidente sigue propagándose por el medio de incidencia, lo que permite ver a objetos no luminosos.

Dependiendo del tipo de superficie, lisa o irregular, la reflexión puede ser **especular o difusa**.

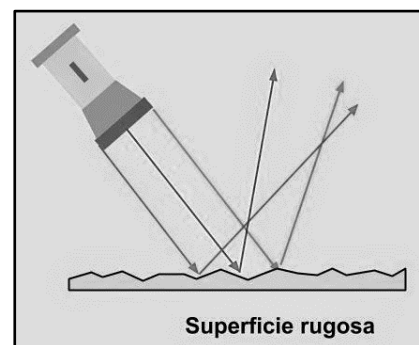
REFLEXIÓN ESPECULAR

Se da cuando la reflexión de un rayo luminoso sobre una superficie microscópicamente lisa, plana o finamente pulida es exactamente o casi exactamente igual a la original.



REFLEXIÓN DIFUSA

Cuando un rayo luminoso que choca sobre una superficie microscópicamente no lisa, es decir rugosa, la dirección que este adquiere es reflejada en forma distorsionada o se hace no visible.



LEYES DE LA REFLEXIÓN

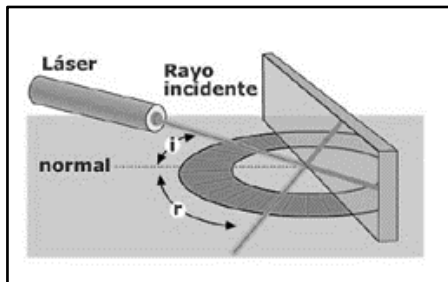
Cuando un rayo incide sobre una superficie que le refleja, cumple las llamadas "leyes de la reflexión":

1. El ángulo que forma el rayo incidente con la normal (θ_i) es igual al ángulo formado por el rayo reflejado y la normal (θ_r)

$$\theta_i = \theta_r$$

Esta ley se cumple en superficies pulidas y rugosas.

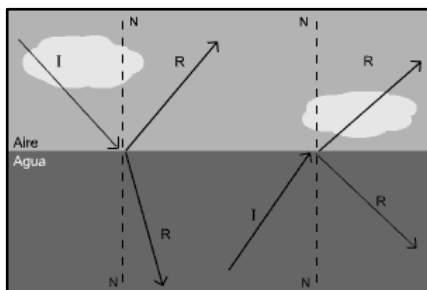
2. El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal están en un mismo plano.



El rayo incidente define con la normal en el punto de contacto, un plano. El rayo reflejado estará en ese plano y no se irá ni hacia delante ni hacia atrás.

REFRACCIÓN DE LA LUZ

Se denomina refracción luminosa al cambio que experimenta la dirección de propagación de la luz cuando atraviesa oblicuamente la superficie de separación de dos medios transparentes de distinta naturaleza, lo que determina la variación de la velocidad de esta. Las lentes, las máquinas fotográficas, el ojo humano y, en general, la mayor parte de los instrumentos ópticos basan su funcionamiento en este fenómeno óptico.



Experimentalmente se ha verificado que la velocidad de la luz en un medio transparente como el aire, el agua o el vidrio es menor que en el vacío (300 000) km/s

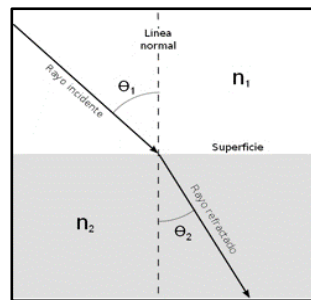
La refracción de la luz obedece a la ley de Snell, que fue enunciada por Willebrod Snell, astrónomo y matemático holandés en 1621.

LEYES DE LA REFRACCIÓN

Al igual que las leyes de la reflexión, las de la refracción poseen un fundamento experimental. Junto con los conceptos de rayo incidente, normal y ángulo de incidencia, es necesario considerar ahora el rayo refractado y el ángulo de refracción o ángulo que forma la normal y el rayo refractado.

La refracción sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si éstos tienen índices de refracción distintos.

Sean n_1 y n_2 dos medios transparentes en contacto que son atravesados por un rayo luminoso en el sentido de 1 a 2 y θ_1 y θ_2 los ángulos de incidencia y refracción respectivamente.

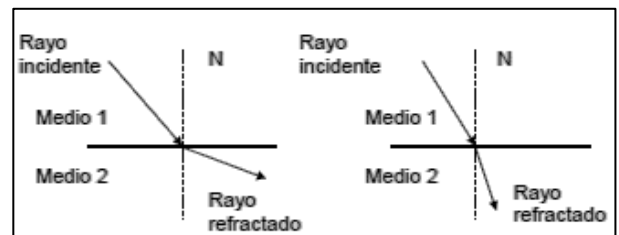


LEY DE SNELL

1. El rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran en el mismo plano.
2. Cuando la luz pasa de un medio de índice de refracción n_1 a otro medio de índice de refracción n_2 , los ángulos de incidencia θ_1 y de refracción θ_2 cumplen la relación:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{V_1}{V_2}, \frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{c}{\frac{c}{n_1}}; \frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$



- La luz se propaga más rápido en el medio 2 que en el 1 (n_2 menor que n_1)
- La luz se propaga más rápido en el medio 1 que en el 2 (n_1 menor que n_2)

LONGITUD DE ONDA Y REFRACCIÓN

Sabemos que la velocidad de la luz cambia al pasar de un medio a otro, no así su frecuencia, lo que garantiza la conservación de la energía, ya que ésta es proporcional a la frecuencia. Es decir, al no variar la frecuencia de la luz al pasar de un medio a otro se garantiza la conservación de la energía luminosa. Como la relación $v = \lambda \cdot f$ debe ser válida en ambos medios, y puesto que $f_1 = f_2 = f$ se obtiene para cada medio lo siguiente:

$$v_1 = \lambda_1 f ; v_2 = \lambda_2 f$$

Dividiendo las dos expresiones se tiene:

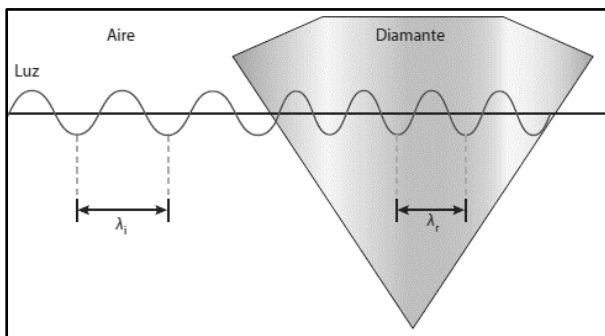
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1 \cdot f}{\lambda_2 \cdot f} ; \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Si el medio donde se ubica el haz de incidente es el vacío, la fórmula se transforma en:

$$\frac{c}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \text{ Además: } n = \frac{c}{v_2} ; \text{ se obtiene:}$$

$$n = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

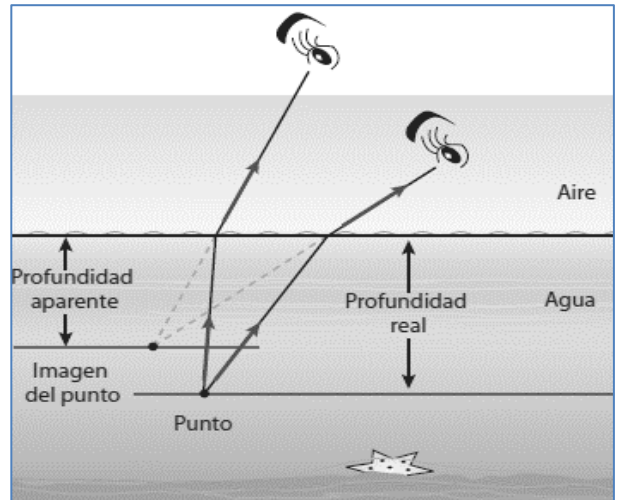
Entonces se puede afirmar que la longitud de onda de la luz se reduce cuando el haz luminoso pasa de un medio a otro donde la velocidad de la luz es menor.



La longitud de onda de la luz se reduce cuando entra en un medio donde la velocidad viaja menos rápido.

PROFUNDIDAD REAL Y PROFUNDIDAD APARENTE

Una de las consecuencias de la refracción es que un objeto sumergido en agua parece estar más cerca de la superficie de lo que en realidad está. La profundidad real del agua y la profundidad aparente están marcadas en el diagrama.



La refracción hace que la profundidad de un lago o de un río parezca menor de lo que realmente es.

Ambas profundidades se relacionan con el índice de refracción del agua por medio de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{h}{h'}$$

Donde:

$$\text{índice de refracción} = \frac{\text{profundidad real}}{\text{profundidad aparente}}$$

Cuando el observador está directamente arriba del objeto sumergido, la profundidad aparente (h'), se relaciona con la profundidad real (h) por:

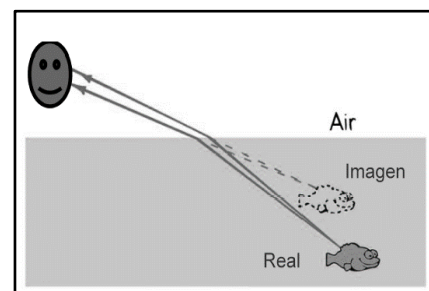
$$h' = h \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

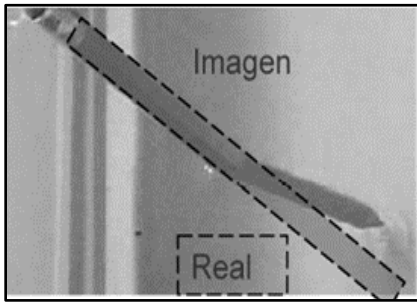
Donde:

n_1 = índice de refracción del medio asociado con el rayo incidente (donde se encuentra el objeto)

n_2 = índice de refracción del medio asociado con el rayo refractado (donde se encuentra el observador)

Otros ejemplos que permiten visualizar este fenómeno:





REFLEXION TOTAL

La reflexión total es el fenómeno que se produce cuando un rayo de luz atraviesa un medio de índice de refracción n_2 menor que el índice de refracción n_1 en el que éste se encuentra, se refracta de tal modo que no es capaz de atravesar la superficie entre ambos medios reflejándose completamente.

Se genera cuando los rayos de luz pasan de un medio 2 a otro medio 1, con índice de refracción menor:

$$n_1 < n_2$$

Los rayos que inciden forman con la normal, ángulos que se hacen grandes. Los rayos refractados se alejan de la normal hasta formar con ellos un ángulo de 90° (ángulo límite θ_L). Ocasionando que el rayo incidente ya no pase al siguiente medio.

El ángulo límite se calcula a partir de la ley de Snell:

$$n_1 \text{ sen } \theta_L = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

Si $\theta_2 = 90^\circ$ entonces $\text{sen } 90^\circ = 1$

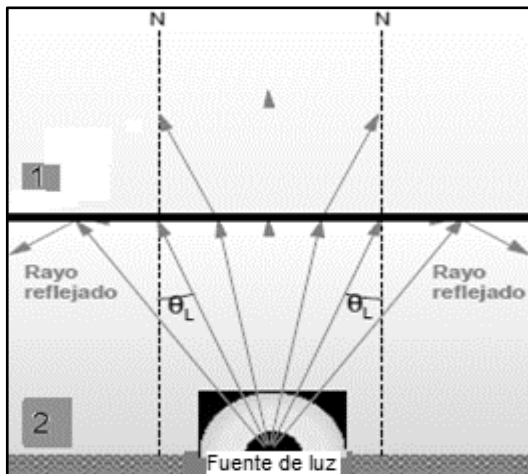
$$n_1 \text{ sen } \theta_L = n_2$$

$$\text{sen } \theta_L = \frac{n_2}{n_1}$$

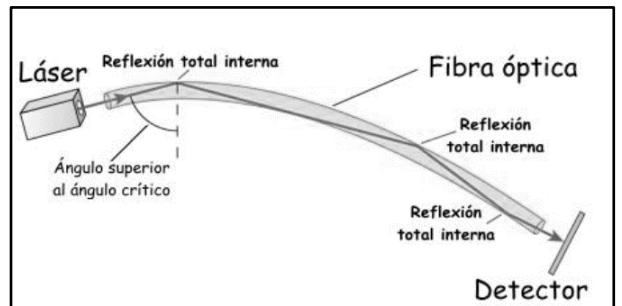
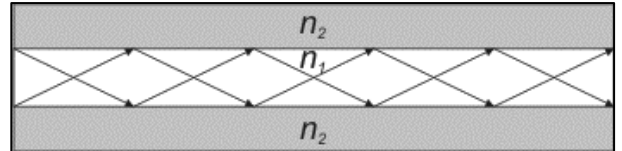
Donde:

n_1 = índice del medio de la luz incidente

n_2 = índice del medio de la luz refractado



La reflexión interna total se utiliza en la fibra óptica para conducir la luz a través de la fibra sin pérdidas de energía. En una fibra óptica el material interno tiene un índice de refracción más grande que el material que lo rodea. El ángulo de la incidencia de la luz es crítico para la base y su revestimiento y se produce una reflexión interna total que preserva la energía transportada por la fibra.



LA DISPERSIÓN DE LA LUZ

En física se denomina dispersión al fenómeno de separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material. Todos los medios materiales son más o menos dispersivos, y la dispersión afecta a todas las ondas; por ejemplo, a las ondas sonoras que se desplazan a través de la atmósfera, las ondas de radio que atraviesan el espacio interestelar o a la luz que atraviesa el agua, el vidrio el aire.

En óptica la dispersión constituye la separación de un rayo de luz en sus componentes debido a sus diferentes índices de refracción.

La dispersión de la luz blanca es por tanto la separación de la luz incidente, al pasar por un medio en los distintos colores componentes que la forman, dando lugar a lo que se conoce como espectro visible de la luz blanca.

La forma más sencilla de producir el fenómeno de la dispersión es mediante un prisma óptico

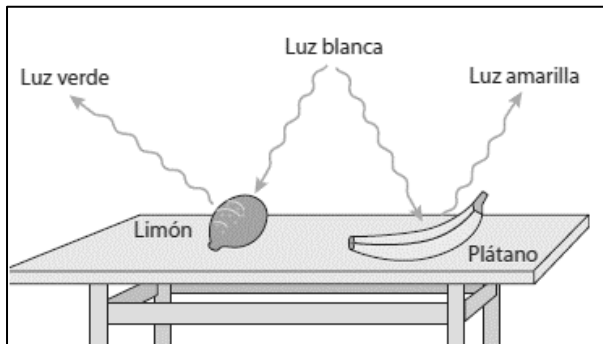
EL COLOR

Los colores sólo son sensaciones que experimentan nuestros ojos. Muchos organismos ni siquiera los perciben, pues casi todos los animales conocidos ven al mundo en blanco y negro. Incluso algunas personas con visión defectuosa no perciben algunos colores, o dejan de percibirlos por completo. A esta enfermedad se le conoce como daltonismo.

Por otro lado, los humanos vemos con mayor facilidad los colores verde y amarillo, ubicados en el centro del espectro visible, que los colores rojo y violeta, que están en los extremos. Por esta razón, los taxis y transportes escolares se pintan de color amarillo en algunas ciudades.

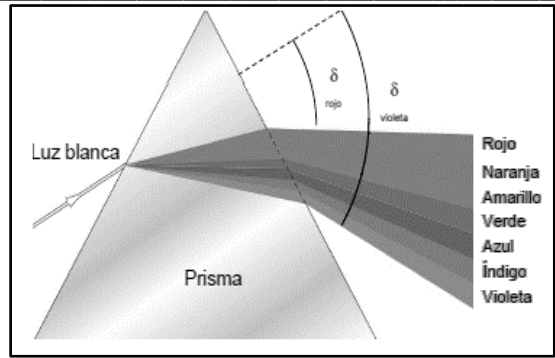
El color de un objeto depende de la frecuencia de la luz que refleja o emite y del propio objeto. Por ejemplo, una hoja de papel es blanca cuando la ilumina la luz del Sol, pero se ve roja cuando se ilumina con luz roja. Esto explica por qué la ropa cambia de color según se ilumine con luz artificial o solar.

El hecho de que un limón se vea verde se debe a que refleja principalmente la luz verde y absorbe todas las demás. En cambio, si se ilumina con luz roja ya no será verde, sino café o negro, porque absorbe prácticamente toda la luz roja. Mientras que el plátano refleja el amarillo y absorbe los demás colores.



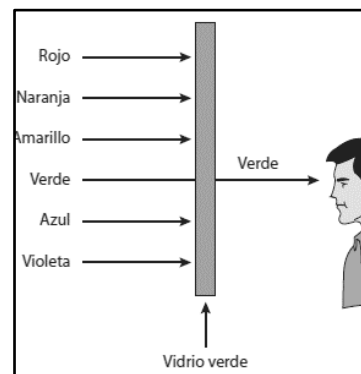
Este fenómeno se conoce como reflexión selectiva. Un material absorbe ciertos colores porque las frecuencias correspondientes a ellos coinciden con las frecuencias naturales de los átomos (y las moléculas) de dichos materiales. Esto provoca el calentamiento del material, pero a frecuencias por debajo y por encima de las frecuencias resonantes los colores correspondientes a estas frecuencias se reflejan. Si un material absorbe toda la luz que lo ilumina se verá negro.

Uno de los primeros científicos que estudió el color fue Isaac Newton, quien demostró que la luz solar la compone una mezcla de todos los colores del arco iris. Al hacer incidir luz solar sobre un prisma emerge una serie de colores que al proyectarse en un muro blanco permite observar una franja de colores, cada color corresponde a una determinada longitud de onda, siendo el extremo del espectro luminoso visible (mínima frecuencia) el rojo y el otro extremo el violeta (máxima frecuencia). Newton llamó espectro a esta gama de colores, los cuales siempre aparecen de la siguiente manera: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo y violeta.



Newton también demostró en forma experimental que la luz blanca es una combinación de todos los colores, pues al hacer pasar luces de todos los colores por un prisma se obtiene luz blanca.

Así como el blanco es la combinación de todos los colores, el negro es la ausencia de luz. Es decir, un suéter se ve negro porque absorbe todas las luces de colores, y un suéter se percibe blanco porque refleja todos los colores de la luz solar.



En el caso de los objetos transparentes, su color depende del color de la luz que transmite. Una pieza de vidrio verde se ve de dicho color debido a que absorbe todos los colores de la luz blanca, excepto el verde, que la atraviesa.

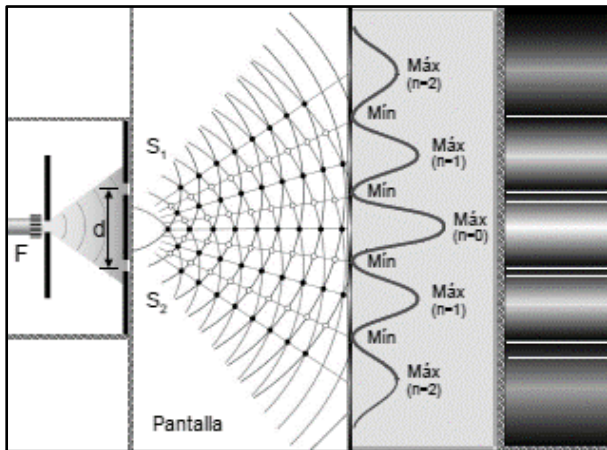
La estructura molecular del vidrio que absorbe selectivamente los colores se conoce como pigmento, el cual provoca el calentamiento del vidrio porque absorbe la luz. El vidrio común que se coloca en las ventanas domésticas es incoloro porque transmite todos los colores.

INTERFERENCIAS LUMINOSAS

Dos ondas mecánicas idénticas que se superponen en el espacio producen un reagrupamiento de sus energías. Este fenómeno, conocido como interferencia, también se produce cuando se superponen dos ondas de luz (haces de luz) idénticas.

Para que se produzca una interferencia de forma permanente se debe cumplir que las ondas que se superpongan sean coherentes, (la diferencia de

fase entre ellas debe ser constante), y deben poseer la misma amplitud, misma frecuencia o longitud de onda (ondas monocromáticas) y, además, las amplitudes deben tener direcciones paralelas.

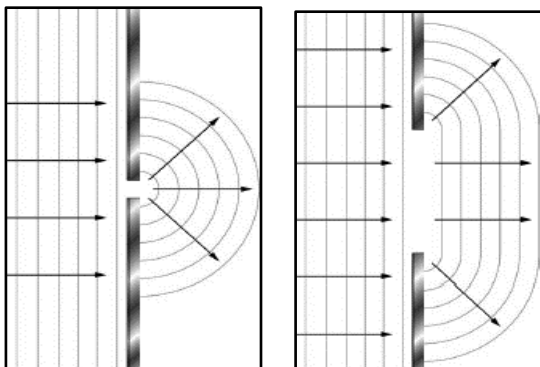


Las características básicas que se pueden considerar en la interferencia son:

- Se forma una banda de interferencias con una serie de franjas paralelas claras y oscuras.
- La luz más luz puede generar oscuridad.
- La diferencia de caminos entre los rayos que parten de ambas rendijas y llegan a un mismo punto de la pantalla es: $d \cdot \text{sen } \theta$
- Las franjas iluminadas corresponden a ondas en fase: $x_2 - x_2 = d \cdot \text{sen } \theta = n \lambda$
- Las franjas oscuras corresponden a ondas que llegan en oposición de fase, lo que ocurre cuando: $x_2 - x_2 = d \cdot \text{sen } \theta = \frac{(2n + 1)\lambda}{2}$

DIFRACCIÓN

Este fenómeno fue descubierto por F. M. Grimaldi y explicado mucho tiempo después por A. Fresnel. La difracción y las interferencias constituyen los fenómenos que confirmaron la teoría ondulatoria de la luz.



La difracción constituye la desviación o cambio en la dirección que sufre la propagación de la luz (onda) cuando se encuentra en su camino un obstáculo o una abertura de dimensiones

comparables a las de su longitud de onda, sin cambiar de medio.

Las características básicas que se pueden considerar en la difracción son:

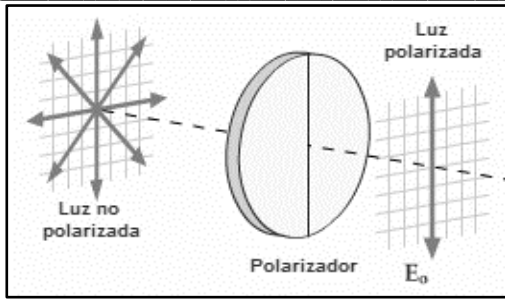
- Para visualizar la difracción de una onda, las dimensiones del objeto deben ser del mismo orden o menor que la longitud de onda.
- De acuerdo con el principio de Huygens, cuando la onda incide sobre una rendija todos los puntos de su plano se convierten en fuentes secundarias de ondas, emitiendo nuevas ondas, denominadas ondas difractadas, por lo que la explicación del fenómeno de la difracción no es cualitativamente distinta de la interferencia.
- Al llegar a la abertura, los puntos del frente de onda actúan como emisores de ondas elementales. El frente de la nueva onda queda determinado por la relación entre el tamaño de la longitud de onda y el obstáculo.
- Se puede escuchar un sonido cuando se tiene un obstáculo delante que nos impide ver la fuente, ya que la longitud de onda del sonido se encuentra entre 2 cm y 20 m y puede salvar obstáculos de estas dimensiones.
- La luz visible es una región del espectro electromagnético comprendida entre 780 a 390 nm. Las diferentes sensaciones que la luz produce en el ojo, las conocemos como colores, que dependen de la frecuencia (o de la longitud de onda electromagnética) y corresponden a los siguientes intervalos para una persona promedio:

Región	Frecuencia (10 ¹² Hz)	Longitud de onda en 10 ⁻⁹ m
Rojo	384-482	780-622
Naranja	482-503	622-597
Amarillo	503-520	597-577
Verde	520-610	577-492
Azul	610-659	492-455
Violeta	659-769	455-390

POLARIZACIÓN DE LA LUZ

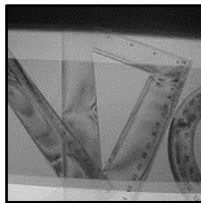
Como cualquier otra onda electromagnética la luz es una onda transversal en la que las oscilaciones del campo eléctrico y del campo magnético son perpendiculares entre sí y respecto a la dirección de propagación.

En una onda no polarizada la vibración oscila en todas las direcciones perpendiculares a la dirección de propagación. Cuando la luz atraviesa un cristal esta se polariza, ocasionando la oscilación sólo en un determinado plano, al que se denomina plano de polarización.

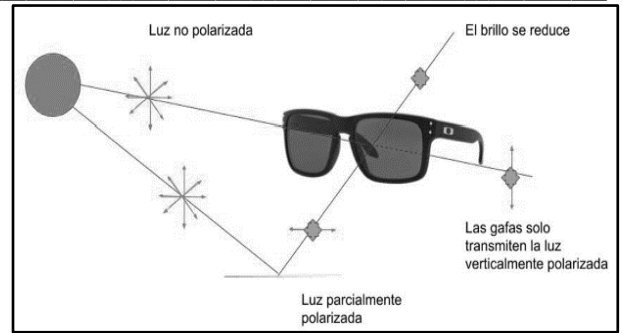


Las características básicas que se pueden considerar en la polarización de la luz son:

- La polarización se produce cuando se consigue que la vibración se realice en una dirección determinada.
- En la polarización se analiza la la dirección de vibración del campo eléctrico pues el magnético, por ser perpendicular al eléctrico y a la dirección de propagación, queda fijado automáticamente.
- La polarización se puede conseguir, generalmente, por absorción selectiva utilizando ciertas sustancias (polaroides), o mediante reflexión. En este caso, cuando el rayo reflejado y refractado en un medio forman entre sí un ángulo de 90° la luz que sale reflejada está polarizada, por ejemplo, cuando se refleja la luz en un CD o en una regla plástica.



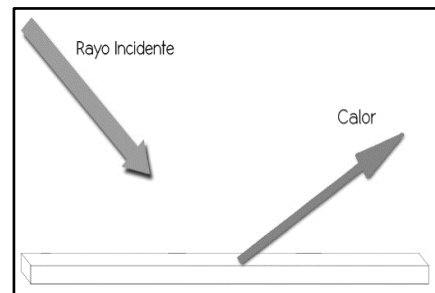
- Se la puede observar si se coloca dos cristales transparentes paralelos. Si se va rotando uno de los cristales, la cantidad de luz que los atraviesa empieza a bajar hasta alcanzar la llamada polarización total. En cambio si se colocan los cristales en algún ángulo intermedio, se genera una polarización parcial. Como los vidrios laterales de los autos pueden estar parcial o totalmente polarizados, las gafas de sol tienen una polarización parcial ya que su principal función es el bloqueo de una parte de la luz solar.



ABSORCIÓN DE LA LUZ.

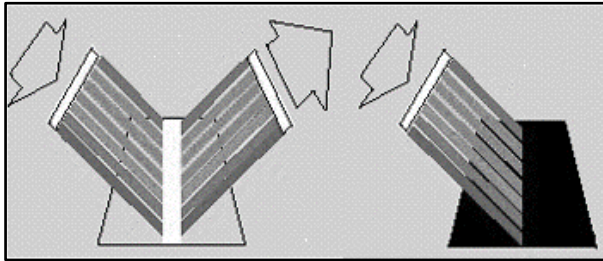
La luz como cualquier otra onda electromagnética incide y atraviesa un medio material, además de experimentar fenómenos como la reflexión o la refracción, parte de su energía se transforma en otros tipos de energía según diferentes procesos que dependen del tipo de radiación electromagnética y del medio material que atraviesa, denominándose absorción a este fenómeno.

Una de las formas en las que se puede manifestar la absorción de energía luminosa por un medio material es mediante el calentamiento que experimenta dicho medio material al ser atravesado por la luz, como por ejemplo los parabrisas de un automóvil se calientan en día soleado.



Las características básicas que se pueden considerar en la absorción de la luz son:

- La energía luminosa puede convertirse en otro tipo de energías como el calor o la electricidad, o producir una reacción química como la que ocurre en la fotografía analógica y los soportes fotosensibles.
- La absorción sencilla total no puede ser fotografiada, ya que solamente será "visible" cuando la comparamos con otras luces en la misma escena que no han sido absorbidas. El terciopelo, por ejemplo, que tiene una gran capacidad de absorción de la luz no es fácil de fotografiar.



- La absorción parcial: Este tipo de absorción es uno de los factores que determinan si el objeto que vemos es negro, blanco o gris.
- La absorción selectiva: Este es el tipo de absorción que determina los colores del objeto en función de qué longitudes de onda absorbe y cuáles no.
- Un material es negro cuando absorbe el 100% de la luz. Sin embargo, no existe un cuerpo 100% blanco ya que todos los cuerpos absorben, al menos, un 10% de luz.

EJERCICIOS RESUELTOS

1. Determinar el valor de la velocidad de la luz en el alcohol etílico, cuyo índice de refracción es de 1,361.

Se sabe que:
 $n = 1,361$
 $C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

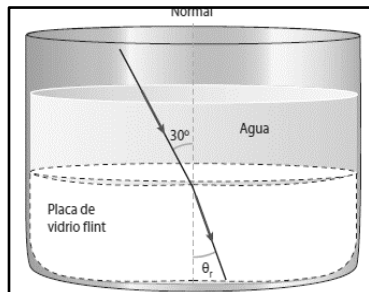
La fórmula que determina el índice de refracción permite determinar la velocidad de la luz en el alcohol:

$$n = \frac{C}{v}; v = \frac{C}{n}; v = \frac{3 \times 10^8}{1,361};$$

$$v = 2,20 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2. Un rayo luminoso pasa del agua al vidrio Flint. Si el rayo incide sobre el vidrio con un ángulo de 30°. Determinar el ángulo de refracción en el vidrio.

Se sabe que:
 $\theta_1 = 30^\circ$
 $\theta_2 = ?$
 $n_1 = 1,333$
 (agua)
 $n_2 = 1,66$
 (vidrio Flint)



Partimos de la fórmula de Snell
 $n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$

Sustituyendo:

$$1,33 \text{ sen } 30 = 1,66 \text{ sen } \theta_2 ;$$

$$\theta_2 = 34,8^\circ$$

3. Un rayo de luz se propaga por un vidrio de índice de refracción 1,52 y llega a la superficie de separación vidrio-agua (índice de refracción del agua = 1,33) con un ángulo de refracción de 34,8°. Determinar el ángulo de incidencia.

Se tiene que:

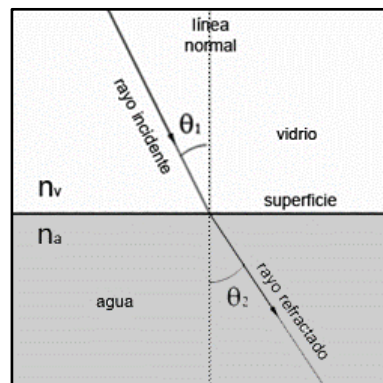
$$\theta_1 = ?$$

$$\theta_2 = 34,8^\circ$$

$$n_1 = 1,52$$

$$n_2 = 1,33$$

Al graficar se tiene:



Por la ley de Snell:

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

Sustituyendo:

$$1,52 \text{ sen } \theta_1 = 1,33 \text{ sen } 34,8^\circ ;$$

$$\theta_1 = 30^\circ$$

4. Un rayo de luz que se propaga por el aire ($n_1 = 1$) incide sobre un medio de índice de refracción 1,22. Si la suma de los ángulos de incidencia y refracción es 90°. Determinar el valor de estos ángulos (incidencia y refracción).

Se tiene que:

$$n_1 = 1$$

$$n_2 = 1,22$$

$$\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$$

Por la ley de Snell:

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

Sustituyendo:

$$1 \text{ sen } \theta_1 = 1,22 \text{ sen } \theta_2$$

Además:

$$\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ ; \theta_2 = 90^\circ - \theta_1$$

$$\sin(A - B) = \sin A \cos B - \sin B \cos A$$

Sustituyendo:

$$1 \sin \theta_1 = 1,22 \sin (90^\circ - \theta_1)$$

$$1 \sin \theta_1 = 1,22 \cos \theta_1$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_1} = 1,22 ; \tan \theta_1 = 1,22;$$

$$\theta_1 = 50,7^\circ ; \theta_2 = 39,3^\circ$$

5. Determinar la longitud de onda en el hielo cuando un haz de luz amarilla de 589 nm que viaja en el vacío incide en él.

Se conoce que:

$$\lambda_1 = 589 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$n = 1,31$$

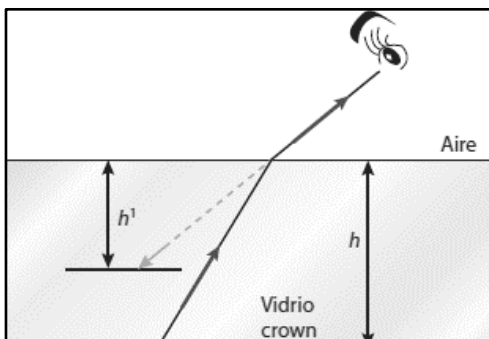
$$\lambda_2 = ?$$

A partir de la fórmula: $n = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$, se determina:

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_1}{n} ; \lambda_2 = \frac{589 \times 10^{-9}}{1,31} ;$$

$$\lambda_2 = 449,6 \times 10^{-9} \text{ m}$$

5. Un bloque de vidrio tiene un espesor de 10 cm. Determinar que espesor aparenta que debe tener cuando se le ve desde arriba como se ilustra en el esquema y si el bloque de vidrio se observara perpendicularmente a la superficie, que limita al aire.



Se sabe que:

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$n = 1,52$$

$$h' = ?$$

A) Para determinar la profundidad aparente partimos de:

$$n = \frac{h}{h'}$$

Por tanto h' es:

$$h' = \frac{h}{n} ; h' = \frac{10 \text{ cm}}{1,52} ; h' = 6,57 \text{ m}$$

B) Si el bloque de vidrio se hubiese visto perpendicularmente a la superficie que lo limita del aire, la fórmula que debió emplearse es la siguiente:

Se conoce que:

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$n_2(\text{aire}) = 1$$

$$n_1(\text{vidrio}) = 1,52$$

Al remplazar los valores queda:

$$h' = h \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$h' = 10 \text{ cm} \left(\frac{1}{1,52} \right) ; h' = 6,58 \text{ cm}$$

Se obtiene una profundidad aparente menor, cuyo valor es cercano al obtenido en la primera parte de la solución de este problema.

6. Determinar el valor del ángulo crítico cuando un rayo de luz pasa del agua al aire.

Se conoce que:

$$n_1 = 1,33 \text{ (agua)}$$

$$n_2 = 1 \text{ (aire)}$$

$$\theta_L = ?$$

Al aplicar la fórmula del ángulo crítico se tiene:

$$\sin \theta_L = \frac{n_2}{n_1} ; \sin \theta_L = \frac{1}{1,33} ;$$

$$\theta_L = \sin^{-1} \left(\frac{1}{1,33} \right)$$

$$\theta_L = 48,62^\circ$$

EJERCICIOS PARA LA TAREA

- Determinar la longitud de onda de una onda luminosa cuya frecuencia es de $7,5 \times 10^{16} \text{ Hz}$. Esta onda luminosa viaja en el vacío a $3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- Determinar el ángulo que debe existir entre dos espejos que forman un espejo plano compuesto para que se vean cuatro imágenes

de un objeto que se ubique enfrente de dicho espejo plano compuesto.

3. El índice de refracción del bisulfuro de carbono es de 1,63, determinar la rapidez con la que se mueve la luz en dicha sustancia.
4. Determinar cuál es la longitud de onda en el diamante cuando un haz de luz amarilla de 589 nm, que originalmente viajaba en el vacío, incide en él.
5. Un líquido en un recipiente tiene una profundidad de 20 cm. Determinar su profundidad aparente cuando se ve desde arriba si el índice de refracción del líquido es de 1,25
6. Si el índice de refracción del diamante es de 2,41, determina el valor de su ángulo crítico si un rayo luminoso va del diamante al aire.
7. El ángulo crítico para un rayo de luz monocromática que pasa de la sal de roca al aire es de $40,5^\circ$, determinar cuál es el valor de su índice de refracción.
8. Una alberca tiene una profundidad de 8 m. Determina la profundidad aparente cuando se observa verticalmente desde el aire (considera el índice de refracción del agua como de 1.35).