Ejemplo 5. El silbato de una fábrica tiene una frecuencia de 800 Hz un día en que la velocidad del sonido es 340 m/s ¿Qué frecuencia percibirá una persona que se aleja de la fuente con una velocidad de 30 m/s?

$\upsilon_o = 30$ m/s

$f_F = 800$ Hz

$\upsilon = 340$ m/s

$$f' = \left(\frac{\upsilon - \upsilon_o}{\upsilon}\right) f$$

$$f' = \left(\frac{340\ m/s - 30\ m/s}{340\ m/s}\right)(800\ \text{Hz})$$

$$f' = 729\ \text{Hz}.$$

4.- RUIDO

Cuando una persona percibe un sonido indeseable, podemos decir que está escuchando ruido, siendo éste una superposición de ondas con diferentes frecuencias.

En el medio ambiente existen ruidos de tipo natural y los producidos por el hombre. Entre los ruidos naturales tenemos los generados por descargas eléctricas por los terremotos, los sonidos producidos por los animales (ladrar, rugir, etc.) y el ser humano produce ruido, como consecuencia del avance tecnológico para mejorar su nivel de vida.

El ruido puede causar a una persona además de la sordera, úlceras, disfunciones del sistema nervioso central, problemas psicológicos como insomnio, ansiedad, irritabilidad, dependiendo del nivel de ruido y el tiempo de exposición. Con base en esto, la industria establece para proteger a su personal como medida de prevención de riesgos por ruido, la rotación del personal de acuerdo al nivel de ruido, al tiempo de exposición en diferentes áreas de trabajo, así como uso de diferentes dispositivos protectores de los oídos, dependiendo de su intensidad y frecuencia del sonido.

D.- ÓPTICA

1.- INTRODUCCIÓN

La óptica es la rama de la Física que estudia la luz y los fenómenos que produce.

Todos necesitamos de la luz para poder ver a nuestro alrededor, por ejemplo, para leer se necesita de una buena iluminación; para manejar en la oscuridad hacemos uso de los faros delanteros del automóvil; para trabajar en las minas se acopla en la cabeza de los obreros un faro en la frente para poder ver, etc.

La luz es percibida por el ojo humano, así como el sonido es percibido por el oído. El sonido se estudió anteriormente como una perturbación, ya que presenta los fenómenos de una onda (difracción, reflexión y refracción). La luz también la estudiaremos tomando en cuenta los fenómenos de reflexión, refracción y difracción, sólo que inicialmente consideraremos que bajo ciertas condiciones la luz se propaga en línea recta y para su estudio la representaremos mediante rayos rectos; el análisis de este modelo es lo que se denomina ÓPTICA GEOMÉTRICA.

Posteriormente, tomaremos en cuenta que alrededor de un obstáculo la luz se desvía, esto es debido al fenómeno de difracción; el análisis de la luz tomando esta consideración es lo que se conoce como ÓPTICA FÍSICA.

Podríamos decir que en la Óptica Geométrica estamos asignándole a la luz un comportamiento de rayo, en la Óptica Física la interpretación que le daremos a la luz es que se comporta como una onda, y en la Optica Cuántica se considera a la luz como corpúsculos. Actualmente sabemos que ambas teorías son correctas, ya que la luz, como cualquier radiación electromagnética, presenta esa dualidad en su comportamiento, como más tarde se verá en detalle.

Se estudia la luz como una perturbación que tiene las características de una onda, sólo que se propaga en el vacío ya que la luz nos llega del Sol que está a gran distancia, existiendo vacío, entre la Tierra y el Sol, por lo que la luz se considera una perturbación que no necesita de un medio para su propagación.

Se analiza la naturaleza de la luz, la cual puede ser ondulatoria o corpuscular, de acuerdo a sus características principales que son: Propagación en línea recta, reflexión y refracción.

2.- NATURALEZA DE LA LUZ

Algunas observaciones sencillas sobre el comportamiento de la luz son tan antiguas como la raza humana. Se interpretaba a la luz como lo opuesto a la oscuridad. Las primeras ideas que se conocen sobre la naturaleza de la luz son las de los atomistas de la línea de Demócrito (s.V a J.C.) los cuales creían que la luz era una gran cantidad de partículas despedidas por los cuerpos visibles.

Pitágoras (580-500 a J.C.) señalaba que la luz emana de los cuerpos luminosos en todas direcciones, choca contra los objetos, rebota y penetra en los ojos, produciendo la sensación de ver dichos cuerpos. Para Aristóteles (384-322 a J.C.) todo espacio estaba lleno de éter y un objeto se percibía por su movimiento, en sí consideraba a la luz como una especie de pulso en el mar etéreo.

Epicuro de Samos (341-270 a J.C.) pensaba que la luz era emitida en forma de rayos, los cuales al entrar al ojo, estimulaban el sentido de la vista.

Leonardo da Vinci (1452-1517) fue el primero en relacionar a la luz, al sonido y al agua con las ondas. Escribió que las ondas de luz se iban separando de un cuerpo, propagándose en círculos y llenando el espacio a su alrededor.

Descartes (1596-1650) consideraba que la luz era como una presión que se propagaba en un universo denso lleno de partículas, y que era percibida a través de vibraciones.

Posteriormente, en 1665 Isaac Newton (1642-1727) demostró que mediante la teoría corpuscular de la luz era posible explicar los fenómenos relacionados con la reflexión y la refracción. Un contemporáneo de Newton, Christian Huygens (1629-1695) formalizó la teoría ondulatoria de la luz y con ella demostró también las leyes de reflexión y de refracción. A pesar de que la teoría ondulatoria fue experimentalmente comprobada por Francesco Grimaldi (1618-1663) al detectar que la luz presentaba efectos de difracción, la mayor parte de los científicos rechazaban esta teoría y adoptaban la teoría corpuscular de Newton; esta situación prevaleció hasta principios del siglo XIX. En 1801 Thomas Young (1773-1829) realizó la primera demostración convincente acerca de la naturaleza ondulatoria de la luz, al descubrir que bajo ciertas condiciones, la luz presentaba características de superposición (INTERFERENCIA). Otro personaje importante que apoyó la

teoría ondulatoria fue Augustin Fresnel (1788-1829) quien realizó diversos experimentos en los cuales se detectaban fenómenos de interferencia y de difracción. Jean Foucalt (1791-1868) en el año de 1850 también contribuyó a la aceptación de la teoría ondulatoria, al demostrar que la rapidez de la luz a través de sólidos o de líquidos era menor que en el aire.

El trabajo más relevante en el siglo XIX sobre el comportamiento y la naturaleza de la luz, fue realizado por James Clerk Maxwell (1831-1879) quien demostró en 1873 que la luz es una onda electromagnética de alta frecuencia que se desplaza en el vacío con una rapidez de 3×10^8 m/s, y que se puede considerar como una combinación de campos eléctricos y magnéticos variables, perpendiculares entre sí y a la vez perpendiculares a la velocidad de propagación de la onda, ver fig. 25. Ocho años después del fallecimiento de Maxwell, Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) comprobó que la luz al igual que las ondas electromagnéticas, presentaba fenómenos de reflexión, refracción y difracción.

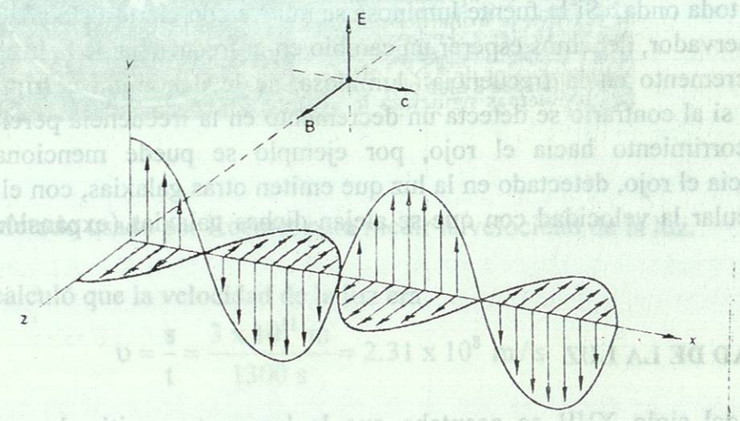


Figura 25.- El vector del campo eléctrico (E) y el vector del campo magnético (B) son perpendiculares entre sí y a la dirección de la propagación de la velocidad de la luz (c).

La teoría ondulatoria de la luz estuvo vigente todo el siglo XIX y hasta principios del siglo actual, cuando en 1900 Max Planck (1858-1947) regresa a la interpretación corpuscular de la luz para explicar la radiación que es emitida por un "cuerpo negro", dando inicio con ello la Mecánica Cuántica; en este modelo Planck propuso que la energía térmica emitida por un cuerpo se presenta en paquetes discretos llamados "cuantos", los cuales en el caso particular de energía luminosa son llamados "fotones".

Finalmente, en 1905 Albert Einstein (1879-1955) explicó el "efecto fotoeléctrico" mediante la teoría cuántica de Planck; este fenómeno se explica en la siguiente unidad.

En conclusión, podemos decir que la luz tiene una naturaleza dual, ya que para explicar algunos de sus efectos, por ejemplo la manera como se propaga y su interferencia, se considera como una onda; y para explicar el efecto fotoeléctrico o algún otro al interaccionar la luz con la materia, se supone que está formada por partículas.

Como se mencionó en el efecto Doppler del sonido, dicho efecto es válido para la luz como para toda onda. Si la fuente luminosa se mueve con cierta velocidad con respecto al observador, debemos esperar un cambio en la frecuencia de la luz, si se percibe un incremento en la frecuencia luminosa, se le denomina corrimiento hacia el azul y si al contrario se detecta un decremento en la frecuencia percibida, se le llama corrimiento hacia el rojo, por ejemplo se puede mencionar el corrimiento hacia el rojo, detectado en la luz que emiten otras galaxias, con el cual es posible calcular la velocidad con que se alejan dichas galaxias (expansión del Universo).

3.- VELOCIDAD DE LA LUZ

Hasta finales del siglo XVII se aceptaba que la luz se transmitía de manera instantánea.

Galileo (1564-1642) hizo los primeros intentos para medir experimentalmente la velocidad de la luz considerando para ello la distancia conocida entre dos torres, en cada una de las cuales había un observador que enviaba señales luminosas de noche mediante linternas. Galileo sólo logró reafirmar que la luz se transmitía instantáneamente.

Posteriormente en 1675, Olaus Roemer (1644-1710) fue el primero en estimar la rapidez de la luz, cuando estudiaba una de las lunas de Júpiter, se basó en las irregularidades de los eclipses que se predecían para dichas lunas. Midió el intervalo de tiempo entre eclipses sucesivos durante varios años y advirtió una variación de 1300 s cuando la Tierra estaba más alejada de Júpiter, entonces relacionó que ese tiempo necesita la luz que proviene de la luna de Júpiter para recorrer el diámetro de la órbita terrestre (3×10^{11} m), ver fig. 26.

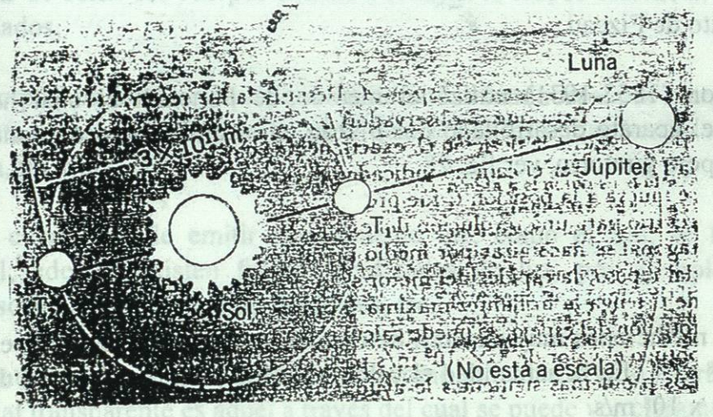


Figura 26.- Método usado por Roemer para medir la velocidad de la luz.

Así Roemer calculó que la velocidad de la luz era

$$\upsilon = \frac{s}{t} = \frac{3 \times 10^{11}\ \text{m}}{1300\ \text{s}} = 2.31 \times 10^{8}\ \text{m/s}$$

La primera medición confiable de la velocidad de la luz la realizó en 1849 A.H.L. Fizeau (1819-1896), con un experimento sencillo en el cual utilizaba una rueda giratoria dentada, un espejo plano, un vidrio semiplateado y una fuente luminosa. Al pasar la luz por la abertura entre dos de los dientes de la rueda, sigue su trayectoria hacia el espejo y regresa pasando por otra abertura; si se conoce la distancia entre la rueda y el espejo, el número de dientes de la rueda y su velocidad angular, se puede determinar la velocidad de la luz. La velocidad calculada por Fizeau fue de 3.13×10^{8} m/s, ver fig. 27.

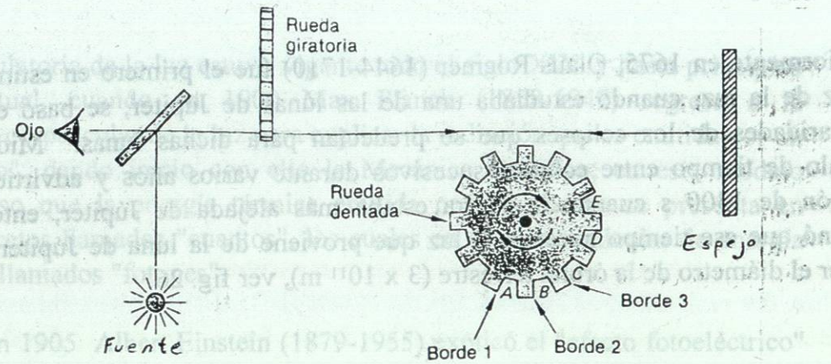


Figura 27.- Aparato de Fizeau.

Albert A.Michelson (1852-1931) utilizó el método de Foucault el cual había refinado en 1850 el aparato desarrollado por Fizeau, al sustituir la rueda dentada giratoria por un espejo giratorio, ver fig. 28.

Michelson obtuvo mediciones muy exactas, determinó la velocidad de la luz en el aire de 2.997×10^8 m/s. En la actualidad el valor aceptado para la velocidad de la luz es de 2.997925×10^8 m/s.

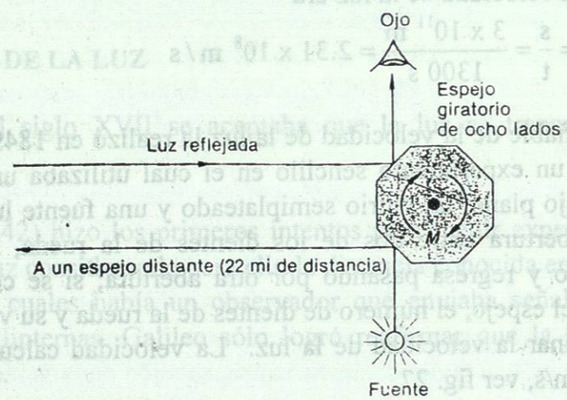


Figura 28.- Aparato de Michelson.

4.- FOTOMETRIA

La fotometría es la parte de la óptica que se encarga de medir la intensidad de las fuentes luminosas y la iluminación de las superficies.

Para realizar alguna actividad en el hogar, en la escuela, en un área de trabajo, etc., generalmente requerimos de una buena iluminación a nuestro alrededor.

A partir de cómo los cuerpos emiten o reflejan la luz, se clasifican en luminosos o iluminados.

Un cuerpo luminoso es aquél que emite ondas luminosas, por ejemplo el Sol, una vela, etc. Un cuerpo iluminado es el que refleja las ondas luminosas, por ejemplo la luna, un árbol, etc.

Si un cuerpo puede emitir naturalmente luz, como el Sol, se le llama fuente natural; además existen fuentes artificiales de luz, por ejemplo las lámparas fluorescentes, lámparas incandescentes, etc.

Los materiales se clasifican de acuerdo como se trasmite la luz a través de ellos; un material transparente es aquél a través del cual se puede ver claramente los objetos, por ejemplo el aire, el vidrio, etc; un material traslúcido es el que transmite parcialmente la luz, por ejemplo el vidrio esmerilado, el acrílico, etc. Un material opaco es el que absorbe o refleja toda la luz que recibe, por ejemplo una piedra, una mesa, etc. Debido a que no puede pasar la luz a través de un material opaco, se produce una sombra detrás de él, es decir, la sombra o umbra es la región donde no entra la luz, ver fig. 29.

La formación de las sombras bien limitadas es una evidencia más de como se propaga la luz en línea recta.

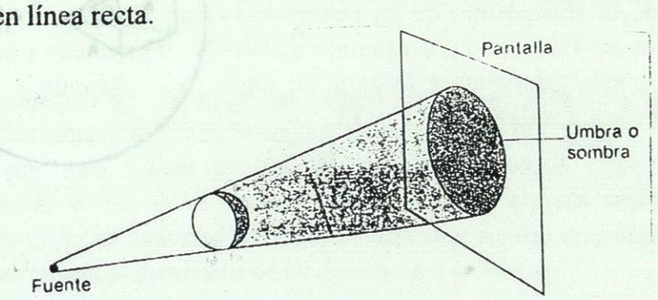


Figura. 29. Una fuente puntual forma una sombra o umbra.

Consideraremos una fuente puntual de luz, como aquélla cuyas dimensiones son pequeñas en comparación con las distancias en cuestión.

Cuando en lugar de una fuente puntual de luz se tiene una fuente extendida, la sombra en sí constará de dos regiones; la región interna llamada sombra o umbra y la región externa, a la cual se le llama penumbra, ver fig. 30.

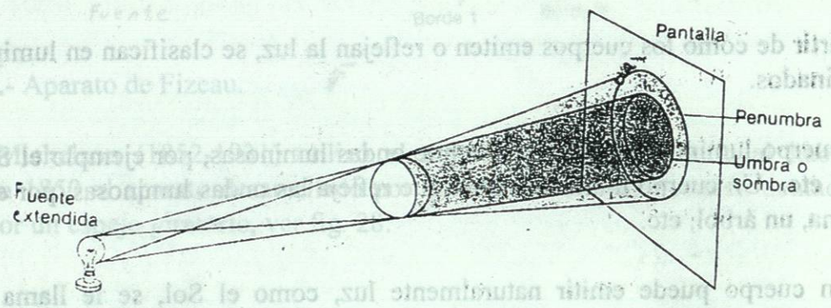


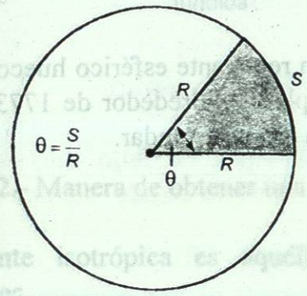
Figura. 30.- Una fuente extendida de luz forma dos regiones: la sombra y la penumbra.

Flujo luminoso.

El flujo luminoso (*F*) es la cantidad de energía luminosa que llega a una superficie perpendicular (normal) a los rayos de luz, en la unidad de tiempo. Se considera solamente la energía luminosa emitida en el rango de la luz visible que es de 400 nm a 700 nm.

La unidad en el S.I. del flujo luminoso es el lumen (lm) que se determina por comparación con una fuente estándar. Se necesita el concepto de ángulo sólido para establecer la unidad lumen.

Un ángulo sólido (.Ω.) tiene unidades de estereorradianes (sr) y se define de una manera análoga a la de un ángulo plano, cuya unidad es el radián, ver fig. 31



$$\theta = \frac{S}{R} \text{ radián}$$

en donde

S es la longitud del arco

R es el radio

θ es el desplazamiento angular

$$\Omega = \frac{A}{R^2} \text{ sr}$$

en donde

A es el área de la superficie esférica

Ω es el ángulo sólido

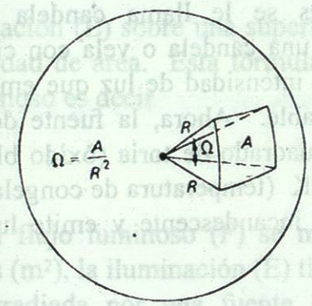


Figura 31. Analogía entre la definición de un a) radián b) estereorradián