
¡COMO POR ARTE DE MAGIA!

¡Como por Arte de Magia!

Daniel Mejia Venegas

Daniel107x@outlook.es

Alumno de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica UPIITA-IPN

Dr. Víctor Cabrera Arenas

vcabreraa@ipn.mx

Profesor de la Academia de Electrónica y del Departamento de Posgrado UPIITA-IPN

Abstract

In one hand, light is one of the most famous but also one of the most enigmatic phenomenon of physics because of its own nature; we know that light has either a wave and a particle interpretation. On the other hand, once we get to understand this, we find that in our daily lives there are a lot of phenomena that can be explained by this such as those optical illusions that were thought to be miracles. Furthermore, it has one of the most incredible applications which may take humanity to the next technological revolution in terms of energy generation: solar cells.

¿Barcos voladores? ¿Oasis en medio de la carretera? Probablemente has visto alguna de estas cosas y en ese mismo instante pensaste que la idea de visitar al psicólogo no sonaba tan mal, incluso corriste a decírselo a tus papás y ellos solo se rieron de ti o tal vez comenzaste a buscar al mago autor de semejante hazaña sin tener mucho éxito. Lamentamos decirte que esto no es ni una ni otra cosa, ni siquiera un fenómeno paranormal, simplemente fuiste testigo de uno de los maravillosos fenómenos de la física; la refracción.

La luz

¿Qué es la luz? ¿De dónde viene? ¿Por qué no podemos ver sin ella? Estas son preguntas que durante unos cuantos siglos estuvieron en las mentes de los científicos y el fenómeno de la luz ha sido estudiado por numerosas personas cuyos nombres tal vez te sean fáciles de recordar, o no, pero son

muy conocidos dentro de la comunidad científica, entre ellos están Isaac Newton, Max Planck, Auguste-Jean Fresnel, James Clerk Maxwell entre otros, aunque a pesar de eso, aún existe cierto enigma con respecto al fenómeno.

La luz es una forma de radiación electromagnética que excita la retina del ojo humano y, en consecuencia, nos produce una sensación visual, aunque esto solo sucede con radiaciones que cumplen ciertas características. Esta radiación, o energía, fluye en forma de ondas o partículas denominadas fotones en cualquier dirección predeterminada y solo podemos percibirla cuando detectamos el efecto que estos producen sobre otros materiales, ya sea siendo reflejados o absorbidos por ellos. Gracias a esto, sabemos que existen al menos dos cuerpos interaccionando entre sí, uno de ellos es un cuerpo emisor de energía y el otro es el receptor, a esta interacción se le conoce como radiación y es por esto por lo que podemos entender a la luz como dos fenómenos relacionados entre sí:

- Una onda electromagnética
- Una partícula

Por otra parte, entendemos por un rayo de luz a la dirección con la que se propaga la energía de la onda de luz, la cual cuenta con las siguientes características típicas de una onda: **Amplitud, longitud de onda y frecuencia.**

Dónde la frecuencia está dada por la expresión $f = \frac{v}{\lambda}$, v es la velocidad a la que viaja la onda y λ es la longitud de onda.

Estas características tienen su análogo a la hora de hacer la interpretación del fenómeno de la luz por medio de partículas, las cuales son: **Intensidad y energía.**

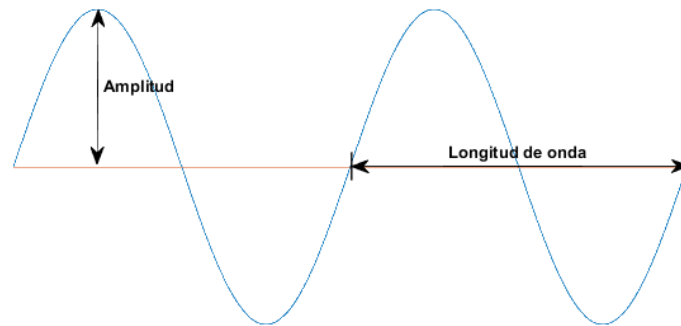


Figura 1. Características de una onda.

Entendemos por espectro electromagnético al conjunto de todas las radiaciones posibles, aunque como ya mencionamos anteriormente, el ojo humano solo es excitado por radiación que cumple ciertas características; con esto nos referimos a que esta radiación debe de estar dentro del espectro visible, el cual no es más que una región muy estrecha de todo el espectro electromagnético.

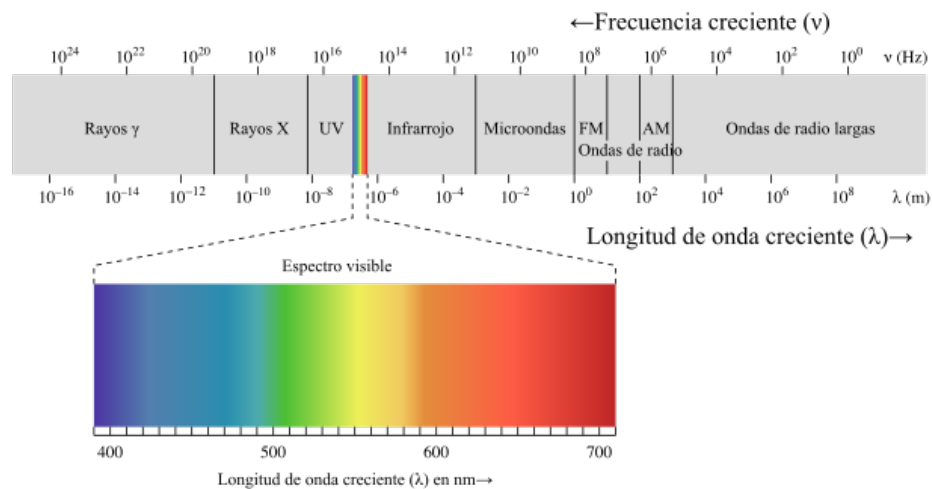


Figura 2: El espectro electromagnético.

Esta luz visible, como se puede observar en la **Error! Reference source not found.** corresponde a la radiación electromagnética en la banda de frecuencias que va desde los 3.84×10^{14} Hz hasta aproximadamente 7.69×10^{14} Hz o, en otras palabras, desde los 390 hasta los 781 nm. de longitud de onda.

Propagación de la luz

La luz se propaga a una velocidad aproximada de 300,000 km/s en el vacío y ésta es representada por la letra c . En cualquier otro medio que no sea vacío su velocidad es representada por la letra v la cual será menor que c y su valor depende del medio a través del cual se esté propagando la luz.

Existe un parámetro el cuál define la relación que existe entre la velocidad de la luz en el vacío con respecto a su velocidad en cualquier otro medio, este parámetro se llama índice de refracción y se encuentra dado por la siguiente expresión:

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

Dado que hasta ahora no existe nada más rápido que la luz, este valor de n siempre es mayor a 1 el cual corresponde al índice de refracción del vacío.

Muy bonito y todo, pero... ¿Y los fenómenos “paranormales”?

En realidad estos fenómenos se dan justamente por la forma en que se propaga la luz, por ejemplo y respecto al fenómeno de los charcos de agua en la carretera, en este caso lo que sucede es que el aire más cercano a la carretera se encuentra a una temperatura mayor que el aire que se encuentra a gran altura, dicho esto, podemos observar el aire sobre la carretera como un sistema estratificado de capas de aire que van de mayor a menor temperatura dependiendo la distancia a la que se encuentran de la superficie tal como se muestra en la

Figura 3.

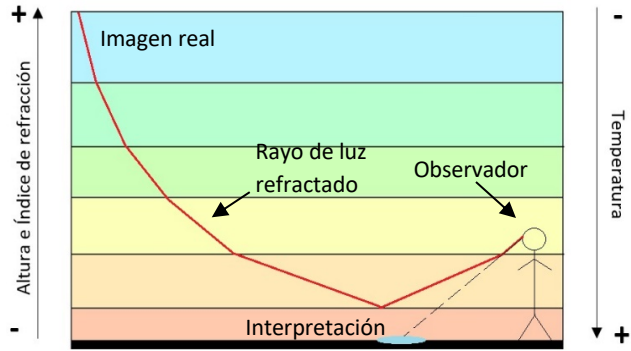


Figura 3. Sistema estratificado de capas de aire con índice de refracción variable debido a la temperatura.

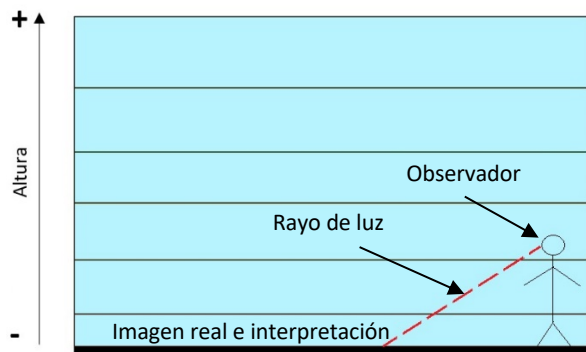


Figura 4. Sistema estratificado de capas de aire con temperatura e índice de refracción uniforme.

Al existir esta diferencia de temperaturas en cada capa de aire lo que provoca es que el índice de refracción en cada una de ellas se vea alterado tal que el índice de refracción en las capas con mayor temperatura es menor que en aquellas a menor temperatura, pero antes de realizar este análisis, consideramos el caso más simple, es decir, donde solo existen dos capas de materiales con índice de refracción distinto.

La **Ley de Snell**, descrita por primera vez en 1918 por Willebrord van Roijen Snell y casi al mismo tiempo por René Descartes, explica el cambio de trayectoria del rayo de luz cuando pasa de un material a otro que posee distinto índice de refracción, esta ley se encuentra formulada como sigue:

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

Dónde:

- n_1 : Índice de refracción de la capa donde incide el rayo de luz
- n_2 : Índice de refracción de la capa a la cual se transmite el rayo de luz
- θ_1 : Ángulo respecto a la normal a la superficie con que incide el rayo de luz
- θ_2 : Ángulo respecto a la normal a la superficie con que se transmite el rayo de luz

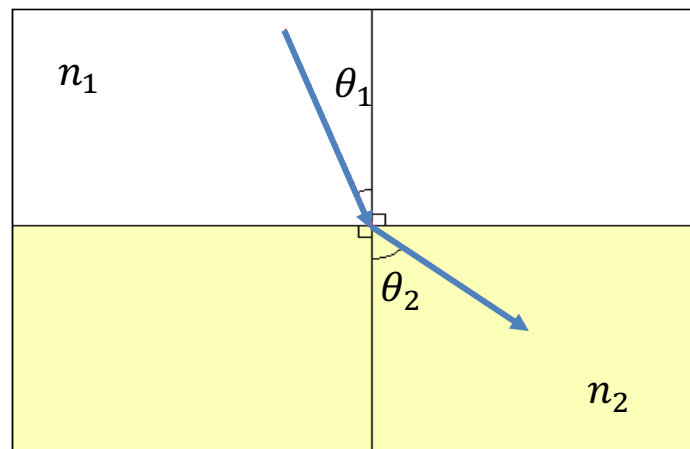


Figura 5. Representación de la transmisión de luz en una interfaz de dos materiales con distintos índices de refracción.

Finalmente, si realizamos el análisis en el sistema de capas de la

Figura 3, nos daremos cuenta que lo que sucede en realidad con la luz es que esas variaciones del índice de refracción producen que los rayos de luz no sigan una trayectoria rectilínea como nuestro cerebro está acostumbrado, en su lugar, estos estarán siguiendo una línea curva que va desde el cielo hasta nuestros ojos solo que nuestro cerebro hace una interpretación errónea de esta información, pensando que la dirección del último rayo de luz determina la ubicación de lo que se está observando sin tomar en cuenta que la dirección de este rayo ha venido cambiando desde el inicio de su trayectoria, por eso es tan desconcertante ver charcos de agua en la carretera.

Lo mismo sucede en el fenómeno de los barcos voladores solo que en este caso el índice de refracción cerca del agua del mar es mayor ya que la temperatura a este nivel es menor, y suponiendo que nos encontremos en un risco por encima de su superficie, el índice de refracción se irá haciendo cada vez mayor tal que los rayos de luz también seguirán una trayectoria curvilínea desde el barco hasta nuestros ojos, aunque nuevamente, nuestro cerebro nos va a jugar una mala broma haciéndonos pensar que los barcos vuelan.

¿Y eso cómo para qué sirve?

En la actualidad las estructuras con capas de materiales que poseen distintos índices de refracción tienen una aplicación importante en el área de las energías renovables, principalmente hablando de la creación de celdas solares. Existen muchos materiales y una infinidad de combinaciones posibles para la creación de estas, cuyo objetivo no es más que maximizar la eficiencia de los sistemas de generación de energía eléctrica a partir de la energía solar, esto se puede lograr si se llega a encontrar una configuración en la cual gran parte de la energía sea absorbida por una de las capas llamada capa activa y que absorba en un intervalo amplio de frecuencias del espectro electromagnético (

Figura 2) ya que se está buscando aprovechar el máximo de la energía que emite el sol, pues este además de emitir luz visible también emite en otras longitudes de onda como el ultravioleta y el infrarrojo, por otra parte, una de las opciones para mejorar las celdas que hasta el día de hoy se utilizan consistiría en absorber una mayor cantidad de energía solar y es por esto que es importante entender el fenómeno físico de la interacción de la luz con la materia cuando viaja a través de diferentes materiales.

Esto es posible gracias a que, con diferencia a lo que se mostró con anterioridad, en realidad muchos materiales no solo permiten el paso de la luz, sino que también absorben parte de su energía, esto se logra si se tiene un material con índice de refracción complejo, en donde precisamente es la parte compleja lo que representa esta absorción y esta parte lleva por nombre **coeficiente de extinción** (κ). Para entender mejor, un material con $\kappa = 0$ solo permitiría el paso de la luz sin absorberla, por ejemplo, el vidrio. Entonces, en realidad el índice de refracción está compuesto por una parte real y una parte imaginaria.

$$N = \eta + i\kappa$$

Pero ¿Qué sucede con las ecuaciones mostradas anteriormente? No es que dejen de funcionar pues al fin y al cabo la ley de Snell es eso, una ley, sino que simplemente el análisis de estructuras donde ya se considera que los materiales absorben energía no es posible hacerlo a través de este método y es por eso por lo que se desarrolló o descubrió una forma con la cual esto fuera más sencillo, es aquí cuando surge el método de matriz de transferencia para el análisis de la propagación de ondas electromagnéticas en medios estratificados.

Como se pudo observar, es muy importante conocer la teoría que existe detrás de muchos fenómenos, en este caso los ópticos, esto no solo con el fin de explicar aquellos que puedan parecer mágicos, sino también para tomar ventaja de ellos y emplearlos para el beneficio de la humanidad.

REFERENCIAS

Hecht, E. (1999), Óptica (3rd ed.). Madrid: ADDISSON WESLEY IBEROAMERICANA.

Malacara H., D. (2004), Óptica básica (2nd ed). México: FCE.