



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA
NACIONAL**

**CONCEPCIONES ALREDEDOR DE LAS NOCIONES DE TRANSPARENTE Y OPACO:
DE HUYGENS A LA FÍSICA MODERNA, UNA PROPUESTA PARA COMPRENDER
LA INTERACCIÓN DE LA LUZ CON LOS MATERIALES A TRAVÉS DE LA
TRANSMITANCIA.**

July Zambrano Vellido

Universidad Pedagógica Nacional

Departamento de Física

Línea de Profundización: La enseñanza de la física y la relación física matemática

Bogotá D.C.

2021



**CONCEPCIONES ALREDEDOR DE LAS NOCIONES DE TRANSPARENTE Y OPACO:
DE HUYGENS A LA FÍSICA MODERNA, UNA PROPUESTA PARA COMPRENDER
LA INTERACCIÓN DE LA LUZ CON LOS MATERIALES A TRAVÉS DE LA
TRANSMITANCIA.**

July Zambrano Vellido

Trabajo de grado para optar al título de Licenciada en Física

Directora del trabajo:

Sandra Bibiana Ávila Torres

Universidad Pedagógica Nacional

Departamento de Física

Línea de Profundización: La enseñanza de la física y la relación física matemática

Bogotá D.C.

2021

Agradecimientos

A mi Padre Fersso por todas sus enseñanzas, su paciencia, su amor y su guía en esta experiencia de vida, de la cual me siento muy afortunada y orgullosa de ser su hija. Estoy infinitamente agradecida por todo, con la Existencia y la Vida.

A Christian por su constante apoyo en los momentos más difíciles, por creer siempre en mí y darme ánimos cuando más lo necesitaba, por su amor incondicional y por acompañarme en todo este proceso.

A mi profe Sandra Ávila en quién encontré una excelente persona y un modelo a seguir, estaré siempre agradecida por todos sus consejos y guía porque sin ella no habría sido posible este trabajo de investigación.

“For the rest of my life, I will to reflect on what light is”

Einstein, A

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
ASPECTOS PRELIMINARES	3
CONTEXTO PROBLEMÁTICO	3
PREGUNTA PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	4
OBJETIVOS	5
ANTECEDENTES	5
CAPÍTULO II.....	8
CONCEPCIÓN DE LOS MATERIALES OPACOS Y TRANSPARENTES DESDE LA PERSPECTIVA DE HUYGENS	8
BREVE INTRODUCCIÓN HISTÓRICA.....	8
LA MATERIA ETÉREA.....	16
CAPÍTULO III.....	24
FORMALIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CUERPOS TRANSPARENTES Y OPACOS, Y SU RELACIÓN CON LA PROPIEDAD ÓPTICA DE LA TRANSMITANCIA DESDE EL ESTADO SÓLIDO	24
CONCEPCIÓN ACTUAL DE LA TRANSPARENCIA	24
PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS MATERIALES	26
TRANSMITANCIA	28
RELACIÓN TRANSMITANCIA Y REFLECTANCIA.....	29
RELACIÓN TRANSMITANCIA Y ABSORBANCIA	34
TRANSMISIÓN	36
CARACTERÍSTICAS DEL BÓRAX DESDE EL ESTADO SÓLIDO	37
CAPÍTULO IV	41
DISEÑO ACTIVIDAD EXPERIMENTAL.....	41
LA ENSEÑANZA DE LA LUZ Y SU RELACIÓN CON LOS MATERIALES TRANSPARENTES Y OPACOS	41
PROBLEMÁTICA AL ABARCAR EL MODELO DEL ÉTER	42
EL APRENDIZAJE ACTIVO COMO MÉTODO DE ENSEÑANZA EN LA FÍSICA.....	43
FASES.....	48
CONCLUSIONES.....	56
REFERENCIAS	58
ANEXOS.....	62

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Método experimental de Fizeau para medir la velocidad de la luz.	14
Ilustración 2. Primer instrumento creado por Wheatstone para determinar la velocidad de la corriente eléctrica.....	15
Ilustración 3. Instrumento de medición que usó Wheatstone para analizar la velocidad de la corriente eléctrica.....	15
Ilustración 4. Movimiento esfera hueca de vidrio	19
Ilustración 5. Movimiento esfera hueca de plata	21
Ilustración 6. Modelo de resortes de la luz.	24
Ilustración 7. Interacción de la luz al incidir en la materia.	26
Ilustración 8. Flujo luminoso iluminando una superficie circular	29
Ilustración 9. Tipos de transmisión.....	36
Ilustración 10. Sólido cristalino y amorfo.....	38
Ilustración 11. Diseño de una enseñanza orientada al aprendizaje	46
Ilustración 12. Continuo del aprendizaje activo	54

INTRODUCCIÓN

Este documento contiene reflexiones acerca de la naturaleza de la luz y la interacción con los materiales opacos y transparentes, desde la perspectiva de Christiaan Huygens con una explicación desde la propiedad óptica de los materiales, la transmitancia. Para realizar esta investigación se tuvo en cuenta la obra original de Huygens, titulada: *Traité de la lumière*, publicada en 1690, en la que explicaba de manera geométrica gran parte de lo que al día de hoy se conoce como la teoría ondulatoria de la luz.

La base de esta investigación se enfoca en cómo es la interacción de la luz con los materiales transparentes y opacos, y por esta razón al leer la obra de Huygens y analizar por medio de los Estándares Básicos de Competencias y los Derechos Básicos de Aprendizaje en ciencias naturales qué es lo que se está enseñando y si se está enseñando la teoría completa de Huygens, se encontró que, se limita la teoría ondulatoria de la luz a la resolución de problemas de la reflexión y la refracción de la luz. A diferencia de lo que actualmente se enseña, Huygens considera importante la interacción de la luz con los materiales mencionados, pero para la educación, el problema consiste en cómo se explica el éter o la materia etérea, como la llamaba Huygens, por lo cual en el primer capítulo se realiza la contextualización de la problemática, los objetivos y antecedentes que guiaron la investigación.

En el segundo capítulo, se realizó una revisión de documentos que permitieron construir una idea global sobre cómo algunos personajes célebres de la Edad Media, Edad Moderna y de la Revolución Industrial consideraban el comportamiento y la naturaleza de la luz, esta revisión se da teniendo en cuenta tres momentos, antes, durante y después de la teoría de Huygens, por lo cual, se encontrarán algunos científicos que se plantearon distintas formas de comprender la luz.

Después de esta breve evocación histórica, el capítulo estará enfocándose en cómo Huygens concebía la transparencia de los materiales teniendo en cuenta la materia etérea.

El tercer capítulo se compone por la formalización de los materiales transparentes y opacos desde la propiedad óptica de la transmitancia, sin embargo, se muestra la relación de esta propiedad junto con la reflectancia y la absorbancia para comprender a profundidad lo que pasa en la interacción de la luz con los materiales y así tener en cuenta algunos aspectos que Huygens no abarcaba. El cuarto capítulo se constituye por el diseño de la actividad experimental enfocada a estudiantes de grado undécimo por medio del Aprendizaje Activo.

Para finalizar, en este documento se encontrarán las conclusiones y reflexiones que se realizaron mientras se respondían los objetivos que le dieron base a esta investigación.

CAPÍTULO I

ASPECTOS PRELIMINARES

CONTEXTO PROBLEMÁTICO

Actualmente la enseñanza que se imparte a nivel de educación básica y media acerca de las concepciones que se tienen sobre los materiales opacos y transparentes se encuentra limitada en su gran mayoría a la resolución de problemas con enfoque en la reflexión y la refracción de la luz. Haciendo una revisión minuciosa de los Estándares Básicos de Competencias, los Derechos Básicos de Aprendizaje y algunos textos escolares, se puede observar que sólo en los grados primero y tercero de primaria se realiza un acercamiento sobre la propagación de la luz a través de algunos materiales y en undécimo de secundaria relacionando el comportamiento de la luz con el sonido se presenta como fenómeno ondulatorio pero no se ofrece un acercamiento alrededor de lo que ocurre en el interior de los materiales, específicamente las condiciones o propiedades que debe tener un material para catalogarse como opaco o transparente.

Al hacer la revisión de los estudios de Huygens (1609) alrededor de la luz, se considera importante desde su perspectiva, analizar lo que sucede internamente en estos materiales para comprender el comportamiento de la luz en los diferentes medios, ya que, en algún punto o teniendo en cuenta alguna condición específica del material, los cuerpos opacos pueden llegar a reflejar la luz perfectamente como es el caso de algunos materiales como la plata pulida y el mercurio. Además, el comportamiento que hay internamente de los cuerpos opacos y transparentes es muy parecido, tal como se describe en el capítulo II.

Por lo tanto, surgen preguntas como ¿qué es lo que diferencia un material opaco de uno transparente? y ¿qué propiedades debe tener un material internamente para considerarse opaco o

transparente? Partiendo de las consideraciones de Huygens, en el presente trabajo se plantea la posibilidad de hacer un acercamiento a las concepciones sobre los materiales transparentes y opacos a partir de la propiedad óptica de los materiales, la transmitancia, con el fin de analizar este comportamiento de los cuerpos, revisando la dependencia de la longitud de onda con la condición de que un cuerpo pueda considerarse opaco o transparente.

Esta propuesta está dirigida a los grados undécimo teniendo en cuenta la base argumental y conceptual que estos estudiantes tienen en esta etapa de su formación. Al estudiar el comportamiento de la luz relacionándola con el sonido, se podría incluir la temática de la interacción de la luz con los materiales debido a que, para este momento, los estudiantes han tenido un acercamiento a algunos conceptos básicos de la física, y específicamente en la óptica tendrían nociones de las leyes de reflexión y refracción de la luz, por lo que plantear actividades experimentales en torno a la interacción de la luz con los materiales con este grupo, se considera pertinente. En consecuencia, se elige para el diseño de la actividad experimental, la metodología del aprendizaje activo porque por medio de ésta se tienen en cuenta esos conocimientos previos de los estudiantes para la explicación de la interacción de la luz con los materiales transparentes y opacos.

PREGUNTA PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Considerando lo expuesto anteriormente, la pregunta problema que enfocará esta investigación es: ¿Cómo puede realizarse un acercamiento a los conceptos de opaco y transparente a través de la transmitancia para estudiantes de grado undécimo?

OBJETIVOS

Objetivo general

Establecer una propuesta mediante una actividad experimental que permita un acercamiento a los conceptos de opaco y transparente para estudiantes de grado undécimo a través de la transmitancia.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión documental alrededor de la concepción de los materiales opacos y transparentes desde la perspectiva de Huygens.
- Presentar las reflexiones sobre las consideraciones de la naturaleza de los materiales (opacos y transparentes) haciendo una contextualización desde lo que se trabaja en estudios de materiales alrededor de la transmitancia.
- Diseñar una actividad experimental para la enseñanza de los conceptos de materiales opacos y transparentes, enfocada a estudiantes de grado undécimo que potencie la comprensión de estos conceptos.

ANTECEDENTES

Los trabajos que se han revisado sobre las investigaciones alrededor de los fenómenos ópticos y las propuestas pedagógicas que se han realizado, son los siguientes:

Díaz (2017), en su trabajo que se titula: El estudio de fenómenos ópticos: una reflexión sobre el sentido de la enseñanza de la física en la educación básica, de la Universidad Pedagógica Nacional. Este trabajo recoge las diferentes reflexiones que tiene el docente al realizar distintas experiencias pedagógicas con temas referentes a los fenómenos ópticos y el cuál es dirigido a estudiantes de grado décimo del Instituto Cerros del Sur ICES de la ciudad de Bogotá. Esta

investigación aporta al presente trabajo las reflexiones que se abarcan alrededor de la enseñanza de los fenómenos ópticos y el planteamiento de actividades experimentales para la explicación de estos conceptos. La importancia de considerar las actividades experimentales como una forma de construcción de conocimiento que facilita la comprensión de leyes como la reflexión y la refracción, hace que teniendo en cuenta lo anterior, se pretenda extrapolar desde otra metodología este planteamiento de actividades experimentales para analizar la interacción de la luz con los materiales.

Serrano (2013), en su trabajo que se titula: El comportamiento de la luz: Diseño y evaluación de una secuencia de enseñanza basada en el aprendizaje como investigación orientada, de la Universidad Pedagógica Nacional. De este trabajo se destaca la investigación realizada desde el modelo de los rayos y de las ondas, ya que abarca una serie de problemáticas que existen en la educación al definir conceptos como rayo y onda para poder explicar los fenómenos de propagación. La revisión de este escrito permite tener en cuenta las diferentes consideraciones para enseñar el modelo ondulatorio de la luz desde una metodología que ayude a comprender estos conceptos geométricos, de igual forma, se presenta una buena explicación cuantitativa y cualitativa de los modelos, siendo esto un gran aporte para la investigación.

López (2019), en su trabajo de maestría que se titula: Aprendizaje significativo en la enseñanza de los fenómenos de reflexión y refracción de la luz desde una estrategia didáctica mediada por actividades experimentales, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Este trabajo permite analizar la importancia de vincular a las clases de física en especial a los temas relacionados con la luz, una práctica experimental con el fin de que los estudiantes logren una mayor conceptualización de los temas por medio del aprendizaje significativo. Se retoma de este trabajo el tipo de metodología para la creación de la actividad experimental, esto se debe a que

permite conocer las diferentes concepciones a las que llegan los estudiantes sobre los fenómenos ópticos, en este caso, la reflexión y la refracción de la luz de esta manera como docente al tener en cuenta estas concepciones se puede crear una estrategia didáctica a través de actividades experimentales que le permitan al estudiante relacionar la teoría con la práctica y así lograr un aprendizaje significativo.

Meyer (2014), en el artículo que se titula: *Visual inspection of transparent objects physical basics, existing methods and novel ideas*, permite comprender la trascendencia de los materiales transparentes en la vida cotidiana y muestran los conceptos básicos físicos relacionados con la inspección visual de objetos transparentes y como estos, a diferencia de los materiales opacos, presentan problemas desafiantes para las industrias, por eso al trabajar con materiales es necesario revisar los distintos métodos para lograr inspeccionar los materiales transparentes, puesto que ya existen distintos métodos para inspeccionar materiales opacos y translúcidos. Este artículo aporta a la presente investigación la recopilación de información respecto a cómo la industria estudia los materiales desde su estructura molecular, lo que permite tener en cuenta el estado sólido para comprender la forma en la que se cataloga un sólido.

CAPÍTULO II

CONCEPCIÓN DE LOS MATERIALES OPACOS Y TRANSPARENTES DESDE LA PERSPECTIVA DE HUYGENS

En el presente capítulo se hará inicialmente una revisión cronológica para comprender lo que se estudiaba alrededor del comportamiento y la naturaleza de la luz, con el fin de analizar si dentro de estos estudios existía alguna explicación o profundización sobre la interacción de la luz con los materiales. Luego, se abarcarán las concepciones que Christiaan Huygens (1629-1695) planteó sobre los materiales transparentes y opacos en su obra publicada en 1690, titulada *Traité de la Lumière*, también se analizarán algunas consideraciones sobre la materia etérea para dar una explicación más amplia a lo que sucede internamente en los materiales. Estas definiciones servirán como base para el siguiente capítulo en el que se realizará una reflexión sobre estos materiales teniendo en cuenta la propiedad óptica, la transmitancia.

BREVE INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

A continuación, se muestran algunos personajes que contribuyeron con sus estudios a explicar y entender la naturaleza y el comportamiento de la luz, es de suma importancia tener presente esto porque a partir de aquí se entiende el contexto de la teoría ondulatoria de Huygens y como éste en comparación al resto de personajes tuvo en cuenta factores como la interacción de la luz con los materiales.

Cuando se piensa en el comportamiento de la luz, se concibe actualmente que este comportamiento es de naturaleza dual (onda-partícula), pero en los estudios formales que se dieron inicialmente frente a la naturaleza de la luz existía mucha controversia sobre si este comportamiento era corpuscular u ondulatorio. A continuación, se hará una breve evocación sobre algunos personajes que estudiaron la naturaleza de la luz, se hará una breve mención en quiénes

estudiaron la naturaleza de la luz desde antes de Newton y Huygens, pasando después por estos dos autores y finalmente el momento en el que la teoría ondulatoria de la luz de Huygens se establece como la explicación más completa.

En primer lugar, quienes estudiaron el fenómeno de la luz en la antigüedad fue la escuela atomista en la Grecia antigua (s. V a. c). Vendrell (2002), afirma que el estudio de esta escuela se basaba en que los objetos emitían imágenes que llegaban al alma del observador a través de los ojos; y sobre este argumento se oponía la escuela pitagórica debido a que estos consideraban que los ojos emitían una especie de fuego que, a modo de tentáculos, exploraban el objeto. Hacia la misma época, Euclides presenta una versión de la óptica que difería con las anteriores, en esta versión exponía los conceptos de la óptica por medio de la geometría. En este punto surge por primera vez la noción de rayo y la hipótesis era que éste se propagaba de manera rectilínea y a la vez que era emitido por el ojo.

A partir de esto y hasta el siglo XI se destacan los trabajos de Galeno, cuyos estudios se basan en la anatomía del ojo. Otro trabajo destacable para esta época, es el que realiza Alhacén de Basora, un físico árabe musulmán, quien propone que los objetos reflejan la luz que obtienen de una fuente externa, por ende, la luz emana de los objetos; a su vez plantea la ley de la reflexión e investiga como se forman las imágenes en los espejos (Vendrell, 2002).

Para los siglos XVI y XVII era muy común el uso de los espejos y de los lentes como desarrollo de la óptica, teniendo en cuenta los estudios que realizaron Kepler y Galileo. Sin embargo, no es hasta 1621 que Willebrord Snel van Royen postula la ley de refracción, la cual retoma Descartes en 1638 cuando publica su obra *Óptica* en la que consideraba el comportamiento de la luz similar al de un proyectil, establece las leyes de la reflexión y de la refracción, pero no profundiza o no concluye sobre la naturaleza de la luz (Vendrell, 2002).

Hecht (2000), afirma que Descartes fue el primero en hacer pública la formulación de la ley de la refracción de la luz en términos de seno y esta ley la dedujo en su *La Dioptrique* (1637) utilizando un modelo donde la luz se concebía como una presión transmitida por un medio elástico.

Continuando con este breve recorrido histórico, pasamos a la época de mediados del siglo XVII, cuando Isaac Newton propone su teoría corpuscular de la luz, en la que afirmaba que la luz era una composición de pequeños corpúsculos. En sus primeros estudios sobre óptica, Newton llegó a plantearse el éter para explicar la propagación de la luz. Esta idea referente al éter, Newton la retomó de Hooke, Gonzáles (2005) hace mención respecto a lo que Hooke consideraba la existencia del éter “como medio susceptible de vibraciones” p.135. Teniendo en cuenta esto y de acuerdo con Hecht (2000) se puede analizar que, aunque el trabajo que estaba realizando Newton se encontraba a favor de caracterizar la luz de manera corpuscular, no podía dejar de lado un planteamiento ondulatorio en la naturaleza de la luz al asociarle la vibración para dar cuenta de la condición de los diferentes colores y en la propagación de la luz, pero con el pasar de los años defendió su teoría corpuscular desechando las características ondulatorias porque le era muy difícil explicar la propagación rectilínea en términos de onda que al dispersarse podía tomar distintas direcciones.

Para la misma época en que se presenta el trabajo de Newton, de manera casi contemporánea se encontraba Christiaan Huygens divulgando su teoría ondulatoria de la luz. A diferencia de Descartes y Newton, la tesis de Huygens concluía de manera correcta que la velocidad de la luz era diferente y disminuía al pasar a medios más densos, sin contar que su explicación sobre la reflexión y la refracción era perfecta. Además, realizó estudios sobre la doble refracción del cristal de Islandia y mientras estudiaba este caso particular de la refracción, descubrió el fenómeno de la polarización (Hecht, 2000). A pesar de toda esta base argumental, el

peso, el renombre y la autoridad de Newton dio para que la teoría de Huygens, con toda la lógica que poseía, fuera ignorada y que los sabios de la época permanecieran firmes en la convicción de la teoría de Newton, a pesar de ser una teoría que tenía imperfecciones (Huygens, 1690).

Con todo esto, en el año 1746 el matemático Leonhard Euler fue uno de los fieles creyentes de la teoría ondulatoria, a pesar de ser conocido en esa época y proponer algunas hipótesis que al final resultaron erróneas, tampoco fue escuchado (Hecht, 2000). Euler defendía de la teoría de Huygens, la semejanza que hay entre la luz y el sonido y por consiguiente que los colores dependen directamente de la onda luminosa. Euler afirmaba que “la luz es al éter como el sonido al aire” (Bassalo, 2009, p.55).

Algunos años después, en 1801, Thomas Young retoma la teoría propuesta por Huygens y propone el experimento de la doble rendija, en el que demostró que al pasar la luz a través de dos pequeños orificios se observaba, en una pantalla, franjas que se alternaban de luz y sombra exhibiendo un patrón de interferencia para la luz. Con esto, Young demuestra que este tipo de fenómenos solo pueden ser analizados y explicados desde la teoría ondulatoria de la luz ya que el comportamiento que observó en ese patrón se daba de la misma forma que en el caso de las ondas sonoras y las ondas en el agua. A pesar de este contundente descubrimiento, esto no representó el resurgimiento de la teoría ondulatoria ya que Young fue duramente criticado por sus investigaciones (Castillo, 2005).

Según Hecht (2000), las críticas hacia las investigaciones de Young fueron publicadas en una serie de artículos que se especulaban habían sido escritas por Lord Brougham en la revista *Edinburgh Review* y estos artículos afirmaban que los estudios de Young estaban “desprovistos de todo tipo de mérito” (p. 5), y la razón de estas acusaciones se debe a las exposiciones que realizó Young ante la Royal Society en la que exaltaba la teoría ondulatoria y añadía el nuevo

concepto como principio de interferencia, aunque Young pudo explicar lo que sucedía con las franjas que se alternaban y a su vez determinó las longitudes de ondas de algunos colores retomando varios datos de Newton, con todo esto el rechazo a sus investigaciones por parte de quienes apoyaban la teoría corpuscular de Newton fueron ineludibles.

En 1814, Augustin Jean Fresnel debido a estudios relacionados con la polarización de la luz se empieza a interesar en la óptica y decide sintetizar la teoría ondulatoria de la luz propuesta por Huygens y el principio de interferencia propuesto por Young, en palabras de Fresnel, de acuerdo con Hecht (2000), afirmaba que:

Las vibraciones de una onda luminosa en cualquiera de sus puntos se pueden considerar como la suma de los movimientos elementales que le llegan en el mismo instante, por la acción separada de todas las porciones de la onda no obstruida, considerada en cualquiera de sus posiciones anteriores. (p. 5)

Estas ondas, en analogía con las ondas acústicas que se dan en el aire se pueden llegar a pensar que son longitudinales, para esto, Fresnel calculó el patrón de difracción y solucionó el problema que le impidió a Newton seguir en la teoría ondulatoria y que fue la propagación rectilínea en medios isótropos homogéneos (Hecht, 2000).

En 1817, la Academia Francesa ofreció un premio al que lograra explicar de manera experimental el fenómeno de la difracción bajo el modelo ondulatorio; entre los jueces se encontraban el matemático Siméon-Denis Poisson, el físico Jean-Baptiste Biot y el matemático y astrónomo Pierre-Simon Laplace, además se encontraba el presidente del jurado que era François Jean Dominique Arago quién a su vez también era opositor de la teoría ondulatoria de la luz. Todos ellos newtonianos claramente y, por ende, preferían la teoría corpuscular de la luz. Fresnel

participó en este concurso y obtuvo el primer lugar, aunque los jueces se centraran en buscar una falla a la explicación que propuso y Poisson creyó encontrar un error sobre los cálculos de Fresnel, este error estaba enfocado en cómo era la desviación o la propagación de la luz si el objeto fuera pequeño y redondo, como un balón de plomo. Para Poisson el error radicaba en que al tener un haz luminoso y atravesar el objeto, la luz rodearía el objeto y generaría un punto brillante en la parte de atrás del objeto y para Poisson esto no tenía sentido. Pérez et al (2011) citando a Gribbin y Gribbin (2006) y a Hecht (2000) menciona que un año después, Arago comunicó al consejo de la academia que la conclusión había sido sometida a la prueba del experimento directo y la observación había confirmado perfectamente los cálculos, con todo esto, Fresnel recibió el título de Mémoire Couronné por el debate que generó su artículo. (p.191).

Retomando los estudios sobre la polarización, de los cuales tanto Newton como Huygens conocían la problemática, este último se refiere a que cada rayo de luz tiene por consiguiente dos lados opuestos, pero esta problemática quedó ahí y solo hasta 1808 Étienne Louis Malus descubrió que estos lados a los que hace referencia Huygens, también se evidenciaban en la ley de la reflexión y “no eran inherente a los medios cristalinos” (p. 5), para esto, Fresnel y Arago realizaron diferentes experimentos para determinar este efecto, pero llegaron a conclusiones no muy alentadoras para ese momento y para la teoría ondulatoria de la luz y sólo después de varios años Fresnel, Young y Arago estuvieron planteándose distintas problemáticas y experimentos para dar solución a este efecto y no fue hasta que Young sugirió que la vibración etérea podría ser transversal como una onda que se observa en una cuerda, de esta manera “los dos lados de la luz eran una manifestación de vibraciones ortogonales del éter, transversales a la dirección del rayo” (Hecht, 2000, p. 5).

Continuando con el análisis de Hecht (2000), otra de las problemáticas que llevaron a la teoría ondulatoria a triunfar fue la velocidad de la luz en distintos medios. Para este caso, Arago solicitó a Armand Hippolyte Louis Fizeau a que por medio de un aparato muy parecido a la ilustración 1, el cual consiste en una rueda dentada que giraba y en un espejo un poco apartado, un haz de luz salía por una rendija que se encontraba en la rueda, pegaba en el espejo y regresaba. Fizeau lo que hacía era ajustar o calibrar la velocidad en la que rotaba la rueda y con este experimento encontró que el valor de la velocidad de la luz era de 315.300 km/s.

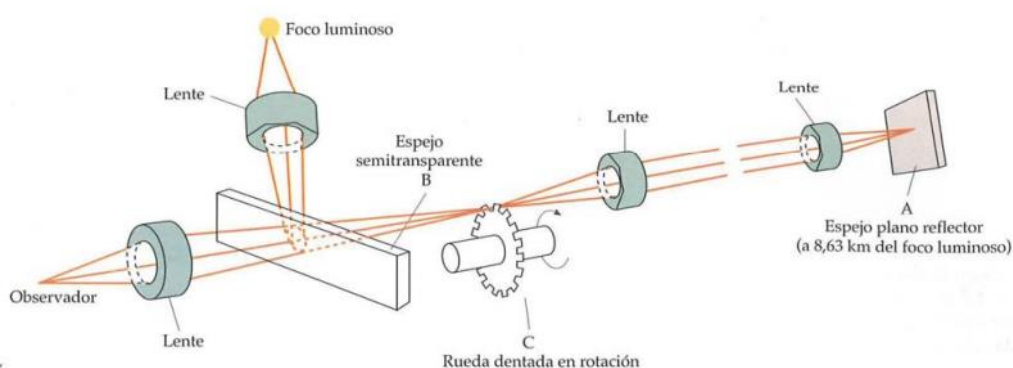


Ilustración 1. Método experimental de Fizeau para medir la velocidad de la luz. Tomada de Tipler, 2010, p.1057

De manera simultánea, Arago también solicitó a Jean Bernard Léon Foucault a realizar un experimento que diera cuenta de la velocidad de la luz teniendo en cuenta las teorías que existían sobre la naturaleza de esta. Posterior a esto, Arago propuso que se midiera la velocidad de la luz teniendo en cuenta y variando un poco el experimento de Charles Wheatstone. En la ilustración 2 y 3 se pueden observar los montajes originales creados por Wheatstone; este experimento consistía de un arreglo de espejos rotatorios que tenía como fin medir la duración de un chispazo eléctrico, pero Arago lo planteó para medir la velocidad de la luz en medios densos. Como Arago no logró obtener resultados claros, Foucault se hizo cargo de este experimento y el 6 de mayo de 1850 comunicó a la Academia de Ciencias que la velocidad de la luz se propagaba acorde con lo que la

teoría ondulatoria mencionaba y esta a su vez afirmaba que la velocidad de la luz en el agua era menor que en el aire. Esto a nivel científico significó un gran golpe para los fieles seguidores de la teoría newtoniana, debido a que, por casi dos siglos estuvo en auge esta propiedad newtoniana y esto hizo que los estudios sobre óptica se retrasaran (Hecht, 2000).

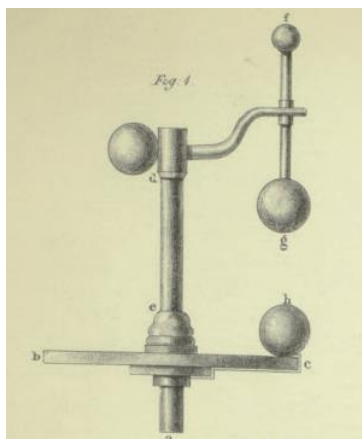


Ilustración 2. Primer instrumento creado por Wheatstone para determinar la velocidad de la corriente eléctrica. Tomada de Wheatstone, 1834, p.592

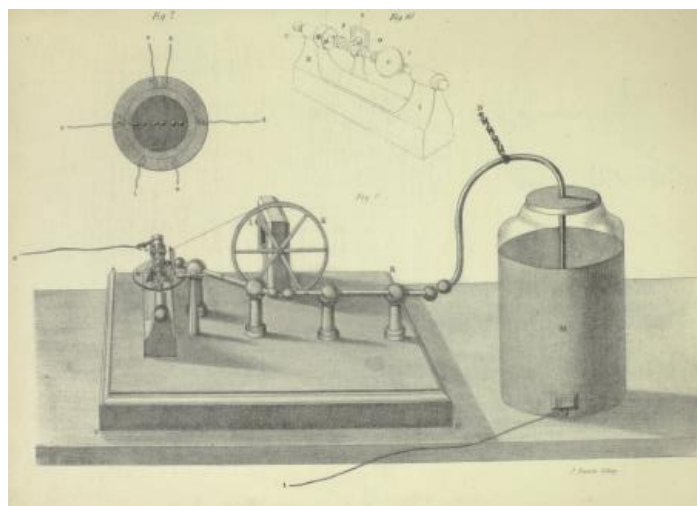


Ilustración 3. Instrumento de medición que usó Wheatstone para analizar la velocidad de la corriente eléctrica. Tomada de Wheatstone, 1834, p.591

Mientras esto sucedía, el estudio de la electricidad y el magnetismo se encontraba en auge en esta misma época y en 1845 Michael Faraday determinó que existía una relación entre la luz y

el electromagnetismo al analizar que, al tener un campo magnético fuerte, un haz de luz puede cambiar la dirección de polarización por la presencia de éste. Con todas las investigaciones y teorías alrededor de los fenómenos electromagnéticos, James Clerk Maxwell sintetiza de manera admirable todo este conocimiento en su Tratado y que se presenta más claramente mediante un conjunto de ecuaciones matemáticas (Hecht, 2000).

LA MATERIA ETÉREA

Para el estudio de la luz desde una perspectiva novedosa, Huygens analizó el comportamiento de la luz relacionándolo y comparándolo con el comportamiento del sonido, debido a que este fenómeno ya había sido más explorado que la propia naturaleza ondulatoria de la luz. Esta relación se daba con el fin de entender distintos factores como el origen del movimiento de la onda, la forma del movimiento y el medio en el que se propagaba la luz.

En las experiencias que Huygens en su obra "*Traité de la lumière*" realizó para analizar el comportamiento de la luz y del sonido, es importante mencionar la que se llevó a cabo con la Máquina de Boyle, en esta se encerraba un cuerpo sonoro en un vaso de vidrio y con la máquina de Boyle lo que hacía era extraer el aire. Este cuerpo sonoro lo ubicaba de manera que no tuviera contacto directo con el vaso de vidrio, entonces lo colocaba sobre algodón o sobre plumas para que la vibración no afectara al vaso. Con esta experiencia, Huygens observó que, a diferencia del sonido, el cual tiene como medio de propagación el aire. La luz no necesitaba del aire para poder propagarse, esto debido a que cuando extraía el aire del vaso de vidrio, la luz seguía atravesando el vaso. Esta última parte, sobre la propagación de la luz, Huygens lo demuestra por medio de la experiencia de Torricelli en donde al extraer nuevamente el aire del tubo de vidrio en la parte en la que el mercurio no se encuentra, notaba que la luz seguía atravesando el tubo de vidrio. En este punto, para explicar el comportamiento de la luz Huygens se plantea que lo que fuera que estuviera

ocupando ese espacio exento de aire, podía atravesar el tubo de vidrio, el mercurio y cualquier otro tipo de material o elemento. Para confirmar esto, en esta misma experiencia Huygens dejó encima del mercurio un poco de agua y al repetir todo el proceso llegaba a la conclusión de que esta materia pasaba perfectamente a través del agua y del vidrio. El resultado de estas experiencias llevó a pensar que existía algún tipo de materia además del aire que permitía dicha propagación y que a su vez podía atravesar los materiales como el vidrio y elementos como el mercurio y el agua; a esta materia se le llamó materia etérea.

La materia etérea para Huygens (1690) estaba conformada por partículas que le llamaron partículas de éter, éstas a pesar de ser muy pequeñas estarían compuestas por otras partículas que están constituidas por una materia muy cercana a la dureza y que a su vez son muy elásticas. Esta elasticidad se basa en el movimiento muy rápido de una materia que la atraviesa e impulsa a que internamente su tejido o estructura se distribuya de manera tal que permita el paso de manera fluida a la materia. Al aceptar la elasticidad en la materia etérea se da por hecho que el movimiento de la luz se comunica continuamente y que las partículas que conforman la materia etérea tienen propiedades de restitución rápida, sean fuerte o débilmente impulsadas para que la velocidad de la luz se mantenga siempre constante.

Las formas en las que, desde esta perspectiva, se concibe la transparencia de los cuerpos tienen mucha relación con la materia etérea. Internamente existirían partículas que permiten que la luz se pueda propagar; entre estas partículas se encuentran unas duras y unas blandas, y serían las que comunican el movimiento de las ondas además de permitir la transparencia u opacidad de un material. Como base argumental de esta explicación existen tres formas en las que, teniendo en cuenta las ondas que se propagan en el interior de los cuerpos, se dan explicaciones a las distintas

maneras en las que se concibe la transparencia de los cuerpos, lo que sucede con los cuerpos opacos y la relación que hay con la materia etérea.

En primer lugar, (Huygens, 1690), supone que la materia etérea no pueda penetrar los cuerpos transparentes, las mismas partículas de estos materiales comunicarían continuamente el movimiento de las ondas y de igual manera las del éter, teniendo en cuenta que éstas se consideran elásticas. Lo anterior es fácil de comprender al tomar como muestras materiales o elementos transparentes. En el caso del agua y otros líquidos transparentes, al imaginarlos compuestos por partículas separadas y que la materia etérea no pudiera penetrarlos, las partículas de estos materiales de igual manera comunicarían el movimiento de las ondas y por tal razón, la luz puede propagarse por estos materiales sin dificultad y sin necesitar a la materia etérea. En el caso de un material transparente sólido, como el vidrio, se podría pensar que su solidez podría complicar el imaginar este movimiento porque éste se vería reflejado en toda su masa, pero realmente no resulta muy distinto a lo que sucede con el agua, esto se debe a que estos cuerpos están compuestos por conjuntos de partículas que se tocan sin formar un sólido, de esta manera el movimiento que estas partículas reciben para propagar las ondas de luz, no hacen más que comunicarlo de unas a otras sin que por ello salgan de su lugar o se perturben entre sí, pudiendo muy bien producir su efecto sin perjudicar la solidez del materia. De esta forma, para Huygens se puede concebir la transparencia sin que la materia etérea intervenga.

Otro argumento para probar la penetrabilidad de la luz desde esta teoría, tanto para materiales transparentes como para cualquier tipo de material, es analizando lo que sucede cuando se pone en interacción la luz con una esfera hueca de vidrio y una esfera de plata.



Ilustración 4. Movimiento esfera hueca de vidrio. Autoría propia

La ilustración 4, representa el primer caso, cuando la luz se propaga a través de una esfera hueca de vidrio que se encuentre totalmente sellada o cerrada, dentro de esta esfera lo más seguro es que se encuentre aire y materia etérea, debido a que para esta experiencia no se les extrajo el aire a las dos esferas. Considerando que esta materia etérea está conformada por partículas que se tocan entre sí; al suponer que la esfera se encuentra completamente cerrada y que la materia etérea no pudiera salir por los poros del vidrio. Si se llegase a cambiar la esfera de lugar o si se colocara en un plano horizontal, sería necesario una fuerza para darle cierta velocidad, esta materia estaría forzada a seguir el movimiento de la esfera, como lo haría si dicha esfera estuviera llena de agua o de algún elemento, dado que todo cuerpo resiste la velocidad del movimiento que se le dé en proporción a “la cantidad de materia”¹ que contiene y que está obligada a seguir este movimiento. Sin embargo, lo que se observa es que esta materia se resiste a adquirir el movimiento que se le da a la esfera teniendo en cuenta la cantidad de materia del vidrio del que está hecha. Por lo que deber ser que la materia etérea que está adentro de la esfera no está completamente encerrada, sino que fluye a través de ella con gran libertad (Huygens, 1690, p. 28).

Según lo anterior, al ser necesaria una fuerza para darle una velocidad horizontal a un cuerpo y que a su vez fuera proporcional a la materia que éste contiene, esta proporción de la fuerza debería seguir la razón de la masa del material.

¹ Huygens entendía por cantidad de materia lo que actualmente se conoce como masa de un cuerpo.

En segundo lugar, la transparencia de un cuerpo se puede explicar afirmando que las ondas de luz se continúan en la materia etérea que se encuentra en los poros de un cuerpo y esto facilita la propagación de la luz. Siendo así la rareza de los cuerpos transparentes como se ha explicado, es fácil imaginar que las ondas podrían continuar en la materia etérea que llena los intersticios de las partículas. Además, la forma en la que se desarrollan tiende a ser de manera lenta al interior de los cuerpos teniendo en cuenta los pequeños movimientos que realizan las mismas partículas. En este punto, en el que se observan distintos cambios en la velocidad de la luz da cuenta de lo que sucede con la refracción de la luz (Huygens, 1690).

Por último, la tercera forma en la que Huygens (1690) concibe la transparencia de un cuerpo es considerando que el movimiento de las ondas de la luz se comunica con las partículas de la materia etérea, es decir, el movimiento pasa de unas partículas a las otras. Al suponer que las partículas del éter son más pequeñas que las partículas de un cuerpo transparente, hay que tener en cuenta que las mismas partículas del éter están conformadas por unas partículas más pequeñas, de esta manera se daría de manera efectiva que, si una partícula del éter no lograra transmitir el movimiento a la partícula del cuerpo, las partículas más pequeñas del propio éter lograrían comunicar el movimiento, de lo anterior Huygens afirma que:

“A lo cual hay que añadir en qué se diferencian estos cuerpos de los opacos; y más cuanto podría parecer por la fácil penetración de los cuerpos por la materia etérea, de la que se ha hecho mención, que no habría ningún cuerpo que no fuera transparente.” (Huygens, 1690, p. 31)

Considerando la penetrabilidad de la luz en los materiales transparentes y opacos, para Huygens no existiría diferencia alguna de estos cuerpos, es decir que, todos los cuerpos serían

considerados transparentes y por ende se plantea distintas formas de concebir esta transparencia y opacidad.

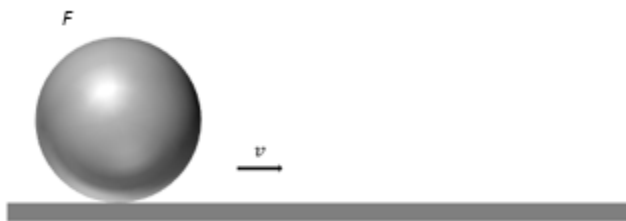


Ilustración 5. Movimiento esfera hueca de plata. Autoría propia

La ilustración 5 representa la última forma en la que se conciben los cuerpos transparentes y se muestra el comportamiento para los metales o los cuerpos opacos y siguiendo el mismo razonamiento que Huygens usó para probar la baja o poca densidad del vidrio y su fácil penetrabilidad a la materia etérea, también se puede comprobar que la misma penetrabilidad de la luz en los cuerpos transparentes es la misma para los cuerpos opacos y en general, para cualquier cuerpo.

Retomando el ejemplo de la esfera, pero para este caso, la esfera de plata, para Huygens (1690) es algo indudable que, dentro de esta esfera la cual tiene las mismas condiciones que la del vidrio: completamente cerrada, se encuentra llena de materia etérea y de aire. Y al igual que la esfera de vidrio, cuando se ubica la esfera de plata en un plano horizontal, se esperaría que esta materia siguiera el movimiento que se le da a la esfera, cosa que no sucede ya que esta materia se resiste a adquirir el movimiento de la esfera. Al igual que la esfera hueca de vidrio, la esfera de plata se resiste al movimiento según la cantidad de plata que está hecha la esfera. De modo que Huygens concluye que, igual que en la anterior experiencia que la materia etérea que está encerrada no sigue el movimiento de la esfera y, por tanto, la plata al igual que el vidrio es muy fácil de penetrar para esta materia.

Dentro de las reflexiones que realiza Huygens sobre la penetrabilidad de la luz en los cuerpos transparentes y opacos, afirma lo siguiente:

“Por lo tanto, la materia etérea se encuentra continuamente y en cantidad, entre las partículas de la plata y de todos los otros cuerpos opacos y dado que ella sirve para la propagación de la luz, parece que estos cuerpos deberían también ser transparentes, como el vidrio, lo que no sucede.” (Huygens, 1690, p.31)

Considerando lo anterior expuesto y resaltando que la penetrabilidad de la luz en los cuerpos transparentes es igual que en los cuerpos opacos, surgen inquietudes sobre el origen de la opacidad en algunos materiales y la relación de las partículas blandas y duras que hay en los materiales que se mencionaron anteriormente. En el caso de los cuerpos transparentes, Huygens presenta que se encuentran conformados por partículas duras, estas a su vez tendrían la capacidad de ser elásticas y junto con la materia etérea funcionan para la fácil propagación de la luz. En el caso de los cuerpos opacos, los únicos cuerpos que Huygens considera verdaderamente opacos son los metales, ya que contendrían entremezcladas partículas blandas y duras, así unas servirían para causar la reflexión y las otras para impedir la transparencia.

En todo el estudio que realiza Huygens en su *Traité de la Lumière*, sobre la forma en la que concebía la naturaleza y el comportamiento de la luz, es evidente que en todo su análisis no dio explicaciones de orden geométrico ni matemático sobre los materiales y la interacción de estos con la luz. Huygens se limitó a resaltar la importancia de estos materiales en su investigación sobre cómo la luz se propagaba de manera ondulatoria, al mencionar las experiencias que realizó con la máquina de Boyle, el tubo de Torricelli y con las esferas de vidrio y de plata, además de sus respectivas conclusiones, pero no ofreció detalles profundos respecto a esto.

Teniendo en cuenta que desde esta perspectiva dentro de cada material, independientemente de si es transparente u opaco existen partículas que se encuentran divididas entre partículas blandas y partículas duras, se considera que esta es una de las razones por las que Huygens no profundiza respecto a esta relación de luz-material y que después de analizar y estudiar gran parte de su teoría, Huygens atribuía a las partículas blandas y a las partículas duras la responsabilidad de causar la transparencia y opacidad de los materiales, pero más allá de eso no existe una explicación teórica profunda o geométrica sobre por qué consideraba estas partículas importantes en la clasificación de los materiales. Como lector, se asume que esta parte de la física en la que se habla sobre partículas de materiales y el comportamiento de estas mismas, no estaba muy desarrollado en la época de Huygens y, por ende, en su teoría se puede ir observando cómo va dejando de lado todos sus estudios sobre la interacción de la luz con los materiales para enfocarse en explicar la reflexión y la refracción de la luz. Por todo lo anterior, se estima pertinente abordar las concepciones de Huygens analizadas desde lo que se conoce actualmente alrededor de las propiedades ópticas de los materiales, en este caso específico, alrededor de la transmitancia y del estado sólido puesto que por medio de esta rama de la física se puede analizar lo que sucede al interior de los materiales teniendo en cuenta las propiedades físicas de estos y sus estructuras. La razón por la que se redirecciona la investigación hacia esta área de la física es porque actualmente hay más estudios acerca de la interacción entre la luz y la materia.

CAPÍTULO III

FORMALIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CUERPOS TRANSPARENTES Y OPACOS, Y SU RELACIÓN CON LA PROPIEDAD ÓPTICA DE LA TRANSMITANCIA DESDE EL ESTADO SÓLIDO

CONCEPCIÓN ACTUAL DE LA TRANSPARENCIA

Sobre el concepto actual de la transparencia se puede encontrar que un material transparente es aquel que permite que la luz pueda pasar sin ninguna dificultad a través de él, como es el caso del agua y de los vidrios. Pero, una de las particularidades de estos materiales, en el ejemplo exacto de los vidrios es que, al analizar el comportamiento de este material en el rango de longitudes de onda del espectro electromagnético, el comportamiento del material puede diferir con lo que se espera, es decir, en el caso de analizar estos componentes con la luz infrarroja, se encuentra que el material a longitudes de onda superiores a $10\mu m$ se puede considerar opaco a pesar de ser un material catalogado transparente (Osorio Castro, 2009).

De acuerdo con Hewitt (2016), para entender la explicación clásica sobre la forma en la que la luz viaja por medio de los materiales transparentes, se debe imaginar que los electrones de un átomo se encuentran enlazados a los núcleos por medio de resortes, como se puede observar en la ilustración 6.

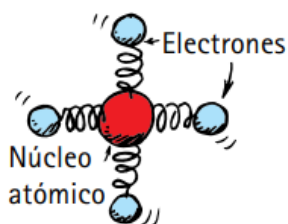


Ilustración 6. Modelo de resortes de la luz. Tomada de Hewitt, 2016, p.491

De esta manera cuando una onda de luz incida sobre ellos, los electrones vibrarían. Estas vibraciones dependen de qué tan unidos se encuentren los electrones de los átomos; en el caso de

los vidrios, la frecuencia vibracional de los electrones se encuentra en el rango del ultravioleta. Cuando las ondas ultravioletas inciden sobre el vidrio, “ocurre resonancia y la vibración de los electrones aumenta hasta alcanzar grandes amplitudes” (p. 491). Internamente lo que sucede es que los átomos comunican la energía recibida por medio de colisiones a los átomos más próximos y al transcurrir el tiempo, el átomo puede llegar a vibrar hasta un millón de veces, es decir, al interactuar un átomo con otro, este le cede parte de su energía como calor al otro átomo. Esta es la razón por la que el vidrio al ser irradiado con una longitud de onda del rango ultravioleta y al igual que al ser irradiado con luz infrarroja no es un material transparente, sería considerado un material opaco. Lo que no ocurre cuando se habla de frecuencias en el rango de la luz visible; al interior del vidrio los electrones en los átomos se obligan a ponerse en vibración y como no se incrementa la amplitud, estos últimos conservan la energía en un rango de tiempo más alto que en el caso del ultravioleta y de esta manera existe menos posibilidad de que un átomo logre colisionar con otro. Por ende, el vidrio es transparente para todas las frecuencias que se pueden dar en el rango de la luz visible, debido a esta vibración de los electrones ya que esta energía se emite nuevamente como luz (Hewitt, 2016).

Otra explicación de la relación entre luz y materiales y la forma en que un material puede ser transparente u opaco, se da desde las propiedades ópticas, por ende, se ve necesario analizar en este campo como es la interacción de la radiación con los materiales. Es de gran importancia tener esta perspectiva porque la explicación que se da en esta área no involucra el sistema de electrones enlazados a los núcleos por medio de resortes, sino a qué cantidad de radiación absorbe, transmite o refleja un material.

PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS MATERIALES

Para Osorio (2010) las propiedades ópticas corresponden a la interrelación que existe entre un material y la radiación electromagnética en forma de ondas o partículas de energía, estas son conocidas como fotones. Esta radiación puede tener características relacionadas a su longitud de onda, que entren en nuestro espectro de luz visible, o ser invisibles para el ojo humano. Cuando se estudian las propiedades de la transmitancia, la absorbancia y la reflectancia se encuentra que estas propiedades están fuertemente relacionadas con la capacidad que tiene la materia de interactuar con la luz. Cuando la luz incide en la materia puede ser reflejada, absorbida o transmitida, como se muestra en la siguiente ilustración.

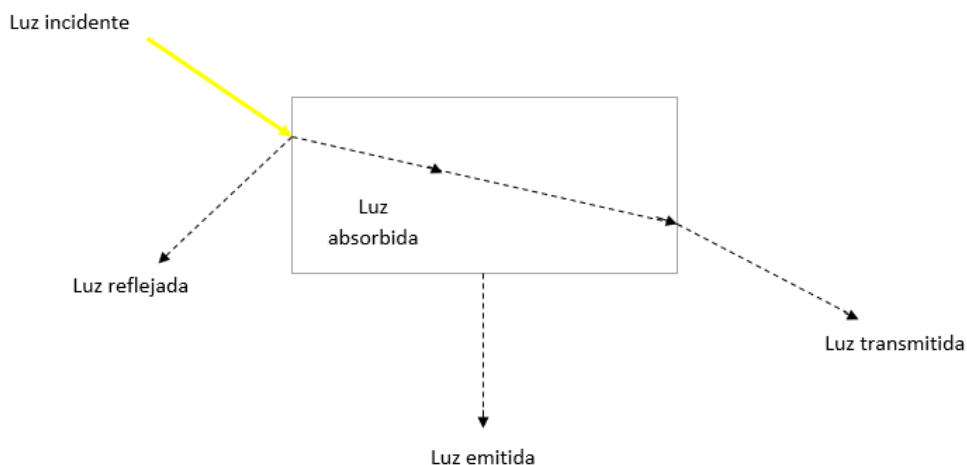


Ilustración 7. Interacción de la luz al incidir en la materia. Adaptación propia teniendo en cuenta la imagen propuesta por Serrano, 2019, p.415

Según Çengel (2011), la fracción de radiación absorbida por la superficie de un material se llama absorptividad α , la fracción reflejada por la superficie de un material recibe el nombre de reflectividad ρ y la fracción transmitida es la transmisividad τ y la relación de éstas se da de la siguiente manera:

$$\text{Absortividad: } \alpha = \frac{\text{Radiación absorbida}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{abs}}{G} \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

$$\text{Reflectividad: } \rho = \frac{\text{Radiación reflejada}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{ref}}{G} \quad 0 \leq \rho \leq 1$$

$$\text{Transmisividad: } \tau = \frac{\text{Radiación transmitida}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{tr}}{G} \quad 0 \leq \tau \leq 1$$

De lo anterior, G representa la energía de radiación que incide sobre la superficie de los materiales y G_{abs} , G_{ref} y G_{tr} son las partes absorbidas, reflejadas y transmitidas, respectivamente. Teniendo en cuenta la primera ley de la termodinámica, la suma de energía de radiación absorbida, reflejada y transmitida debe ser igual a la radiación incidente:

$$G_{abs} + G_{ref} + G_{tr} = G$$

Al dividir cada término de esta relación por la radiación incidente (G), se obtiene lo siguiente:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1)$$

Para los cuerpos negros idealizados que son los considerados los absorbedores perfectos, la reflectancia y la transmitancia es igual a 0, porque no reflejan ni transmiten la radiación que incide sobre ellos, por lo tanto:

$$\rho = 0 \quad \text{y} \quad \tau = 0$$

La ecuación (1) se reduce a $\alpha = 1$. Para los materiales opacos, $\tau = 0$ y, en consecuencia, su absorbancia y reflectancia:

$$\alpha + \rho = 1$$

Por medio de la anterior explicación matemática se da razón de lo que sucede cuando la radiación incide en la superficie de un material opaco, gran parte de esta radiación la absorbe el material, la otra parte se ve reflejada y como no hay transmisión no se podrá ver el paso de la luz. Al tener en cuenta lo anterior, materiales como la plata pulida y el mercurio a pesar de ser materiales opacos, pueden reflejar la luz perfectamente pero no permiten el paso de ésta a través de ellos.

TRANSMITANCIA

La transmitancia T se define como el cociente entre la intensidad de la radiación transmitida por una muestra y la intensidad de la radiación incidente. Frecuentemente, la transmitancia es expresada como un porcentaje, el cual es llamado porcentaje de transmitancia (Skoog, 2014). Se elige esta propiedad para desarrollar la investigación porque puede dar razón de lo que sucede a nivel molecular o atómico de los materiales. La transmitancia estaría dada por:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

En donde T es la transmitancia, I es la cantidad de luz transmitida por la muestra o por el material, y I_0 es la cantidad total de luz incidente.

Y el porcentaje de transmitancia, para no trabajar con números fraccionarios, estaría dada por:

$$\%T = \left(\frac{I}{I_0} \right) 100$$

RELACIÓN TRANSMITANCIA Y REFLECTANCIA

La relación que hay entre la transmitancia y la reflectancia es el punto clave que determina la apariencia de un material dieléctrico. En el caso de un material transparente, lo que determina esta apariencia o forma es su transmitancia debido a la relación que existe entre las intensidades de la luz que lo atraviesa y la luz que incide sobre la muestra. Análogamente, la apariencia de un material opaco se caracteriza por la reflectancia conforme las intensidades de luz reflejada y de la luz incidente (Billmeyer, 1975).

Cuando se estudian los materiales transparentes, la relación entre la transmitancia y la reflectancia consiste en que la suma de las amplitudes transmitida y reflejada tiene como valor uno. No se incluye la absorbanza porque en general los materiales transparentes no absorben grandes cantidades de luz.

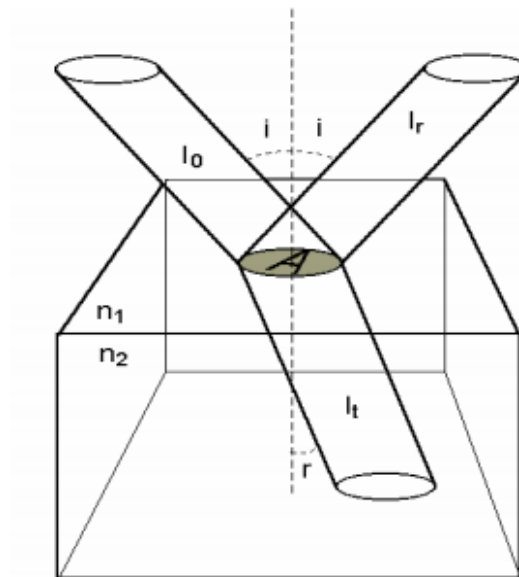


Ilustración 8. Flujo luminoso iluminando una superficie circular. Tomada de Vendrell, 2002, p.157

Al analizar la ilustración 8, en la que un flujo luminoso ilumina una superficie (A) sobre un medio dieléctrico de índice de refracción n_2 . La energía viaja en la dirección del vector de

Poynting, que surge del teorema de Poynting. Ditchburn (1982) refiere que, en 1884 John Henry Poynting demostró que cuando en un mismo punto existen un campo eléctrico y uno magnético, existe un flujo de energía que está descrito por un vector \vec{S} , llamado vector de Poynting cuya dirección y sentido dan la dirección y sentido en que se mueve la energía y cuyo módulo es igual a la cantidad de energía que en unidad de tiempo puede atravesar la unidad de superficie normal a la dirección de propagación.

Siguiendo el documento de Ditchburn (1982), el teorema de Poynting se da de la siguiente manera:

$$\int_V \vec{E} \cdot \vec{J} \, dv = - \int_S (\vec{E} \times \vec{H}) \cdot d\vec{s} - \frac{\partial}{\partial t} \int_V \left(\frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} + \frac{1}{2} \vec{H} \cdot \vec{B} \right) dv$$

En donde \vec{E} es la intensidad del campo eléctrico, \vec{B} es la inducción magnética, \vec{J} es la densidad de corriente eléctrica, \vec{H} es la intensidad del campo magnético y \vec{D} es el desplazamiento del campo eléctrico.

La segunda integral que se muestra y que figura con el término $\vec{E} \times \vec{H}$, es más conocida como el vector de Poynting, cuya ecuación de definición se da la siguiente forma:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

Donde \vec{H} es el vector que representa el campo magnético y \vec{E} el campo eléctrico. Por tanto, \vec{S} es perpendicular a \vec{E} y \vec{H} .

Para Carreño (2001), la densidad de luz o irradiancia en el vacío está relacionada con el vector de Poynting, y esta se expresa como se muestra a continuación:

$$I = \frac{c\varepsilon_0}{2} E_0^2 \quad (2)$$

En donde I es la irradiancia en el vacío, $\frac{\varepsilon_0}{2} E_0^2$ es la densidad de energía eléctrica y c es la velocidad de la luz en el vacío.

En la ilustración 8, de acuerdo con Vendrell (2002), A es la superficie que está siendo iluminada, I_o, I_r e I_t son las densidades de flujo de las radiaciones incidente, reflejada y transmitida; y cada sección de haz se da por:

$$A \cos(i); A \cos(i); A \cos(r)$$

Por esta razón, la energía por unidad de tiempo (la potencia) que llega a la superficie A es:

$$I_o A \cos(i)$$

Y los haces que refleja y transmite:

$$I_r A \cos(i); I_t A \cos(r)$$

De esta manera, la reflectancia se define como la relación entre el flujo incidente y el reflejado:

$$R = \frac{I_R \cos i}{I_o \cos i} = \frac{I_R}{I_o} = \frac{v_1 \varepsilon_1 E_R^2 / 2}{v_1 \varepsilon_1 E_0^2 / 2}$$

$$R = \left(\frac{E_R}{E_0} \right)^2$$

Esta expresión $\frac{v_1 \varepsilon_1 E_R^2 / 2}{v_1 \varepsilon_1 E_0^2 / 2}$ se refiere a la irradiancia para la reflectancia y no en el vacío.

De igual manera, la transmitancia quedaría definida como:

$$T = \frac{I_T \cos r}{I_0 \cos i} = \frac{I_R}{I_T} = \frac{v_2 \varepsilon_2 E_T^2 / 2}{v_1 \varepsilon_1 E_0^2 / 2}$$

$$T = \left(\frac{E_T}{E_0} \right)^2$$

Esta expresión $\frac{v_2 \varepsilon_2 E_T^2 / 2}{v_1 \varepsilon_1 E_0^2 / 2}$ se refiere a la irradiancia para la transmitancia y no en el vacío.

A partir de las ecuaciones de Maxwell presentadas en Burbano et al (2003), se puede calcular la propagación de un campo eléctrico variable en un medio:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}}$$

Donde c es la velocidad de la luz, ε es la constante dieléctrica, v es la velocidad de propagación en el medio y μ es la permeabilidad magnética.

En medios dieléctricos se puede considerar $\mu = 1$, por lo que la expresión queda de la siguiente manera:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon}}$$

A partir de la cual se deduce la relación entre la velocidad en el vacío y en el medio, es decir, el índice de refracción n

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

De acuerdo con la relación de Maxwell $n = \sqrt{\varepsilon}$ y $v = \frac{c}{n}$, sustituyendo:

$$T = \frac{n_2 \cos (r)}{n_1 \cos (i)} \left(\frac{E_T}{E_0} \right)^2$$

Teniendo en cuenta que cuando el ángulo de incidencia normal equivale a $i = 0^\circ$, $\cos 0^\circ =$

1. La razón, según Vendrell (2002), por la cual en la anterior expresión se incorpora el siguiente término:

$$\frac{n_2 \cos (r)}{n_1 \cos (i)}$$

Se da debido a que los índices son diferentes y por ende la energía se propaga a velocidades distintas en los dos medios y porque las secciones transversales de igual forma son diferentes por el ángulo de incidencia de la refracción. Para esto, en términos de la conservación de la energía:

$$I_0 A \cos (i) = I_R A \cos (i) + I_T A \cos (r)$$

Sustituyendo I por el valor expresado en (2) y aplicando nuevamente la relación de Maxwell, tenemos que:

$$n_1 E_0^2 \cos (i) = n_1 E_R^2 \cos (i) + n_2 E_T^2 \cos (r)$$

Al dividir esta expresión por $(n_1 E_0^2 \cos (i))$, queda:

$$1 = \left(\frac{E_R}{E_0} \right)^2 + \frac{n_2 \cos (r)}{n_1 \cos (i)} \left(\frac{E_T}{E_0} \right)^2$$

Es decir que:

$$1 = R + T$$

Lo que comprueba que la suma de la transmitancia y la reflectancia tiene como valor 1 para materiales dieléctricos.

Los procedimientos que se dan en este capítulo permiten realizar una comparación con lo que se plantea en el capítulo I sobre las distintas formas en las que Huygens concebía la transparencia de un material. Como primer análisis se encuentra que, para un material dieléctrico, en este caso los transparentes, teniendo en cuenta la relación de la transmitancia y la reflectancia se logra dar cuenta de lo que sucede cuando una luz incide en un material y la razón por el que el valor de la suma de la reflectancia y la transmitancia sea igual a 1. Para Huygens, las formas en las que la luz podía atravesar un material transparente no dependían exclusivamente de la materia etérea, sin embargo, nunca descartó el papel fundamental que jugaba la materia etérea como medio de propagación, al contrario, en sus estudios se puede analizar que para Huygens existía una disposición de las mismas partículas de estos materiales y que en conjunto con la materia etérea permitía que existiera la propagación de la luz sin muchas dificultades.

Cuando se estudia la propagación de la radiación a través de los materiales transparentes desde las propiedades ópticas de los materiales, se encuentra que no se menciona la materia etérea o el éter para explicar la propagación de la luz. Las explicaciones se dan desde la cantidad de radiación que refleja, absorbe y transmite un material. Por lo cual, es más sencillo concebir la transparencia de un material teniendo en cuenta las propiedades de la radiación que desde un modelo que incluya el éter.

RELACIÓN TRANSMITANCIA Y ABSORBANCIA

La relación que hay entre estas dos propiedades se da de manera que la absorbancia es la capacidad que presenta un medio para absorber luz, mientras que la transmitancia es la capacidad de transmitir esa energía. Estas dos propiedades son partes del mismo fenómeno de la radiación relacionados de forma logarítmica. Un cuerpo con una absorbancia muy alta tiene una transmitancia baja y viceversa (Ojeda, 2019, p.6).

Los materiales opacos son conocidos también como absorbentes, debido a que su transmitancia es igual a cero, es decir que, cuando una radiación incide en la superficie de este tipo de material, lo que sucede es que gran parte de esta radiación es absorbida y la otra es reflejada, pero en ningún momento es transmitida. En una teoría óptica general, existe una explicación para el comportamiento de estos materiales absorbentes en las que “los menos absorbentes” se pueden considerar casos particulares en las que la absorción de radiación puede llegar a ser nula para algunas frecuencias. Por consiguiente, el concepto de si un material es transparente o absorbente depende de la frecuencia con la que se analice, aunque en general, siempre se analizan bajo el rango de la luz visible del espectro electromagnético (Vendrell, 2002, p. 162).

A continuación, se muestra la forma en la que se da la relación de la transmitancia y la absorbancia:

$$A = \log \frac{1}{T}$$

$$A = -\log T$$

$$A = -\log \frac{I}{I_0}$$

$$A = \log \frac{I_0}{I}$$

En donde A es la absorbancia, T es la transmitancia, I es la cantidad de luz transmitida por la muestra o por el material, y I_0 es la cantidad total de luz incidente.

Retomando la perspectiva de Huygens sobre los materiales opacos, se evidencia que cuando se comparaba el material opaco desde el comportamiento de los materiales transparentes, y se decía que la penetrabilidad de la luz era igual para los dos materiales y al extrapolar esta

información con la que se proporciona por medio de las propiedades ópticas, se encuentra que la similitud del comportamiento internamente en estos materiales se da por la reflectividad y difieren en la cantidad de radiación que absorben y transmiten.

TRANSMISIÓN

La transmisión es el paso de la radiación a través de un medio, sin cambiar la frecuencia de sus componentes monocromáticos. Al igual que en la reflexión, existe la transmisión regular, difusa y mixta. La transmisión regular es aquella que proporcionan los cuerpos transparentes como el cristal o algunos plásticos. La transmisión difusa es la que proporcionan los cuerpos translúcidos como el vidrio o cristal esmerilado. Y, por último, la transmisión mixta es aquella intermedia entre la regular y la difusa y se puede encontrar en algunos vidrios orgánicos. En la siguiente ilustración se puede observar el comportamiento que tiene la luz al atravesar un medio considerado regular, difuso y mixto (Domínguez, 2003).

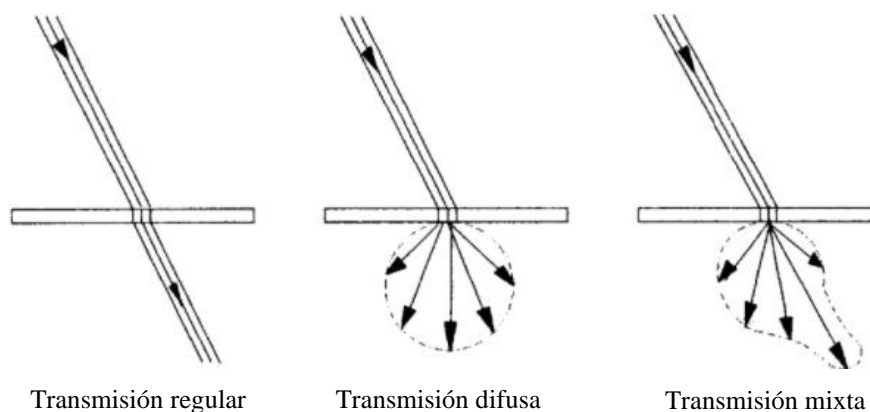


Ilustración 9. Tipos de transmisión. Tomada de Domínguez, 2003, p.28

Se retoma el concepto de transmisión debido a que al estudiar materiales y teniendo en cuenta las particularidades en el comportamiento de la radiación teniendo en cuenta las propiedades ópticas, para el caso en el que existe transmisividad, ésta se puede dar en distintos grados y esta explicación se logra comprender al tener en cuenta el concepto de la transmisión y

los tipos de transmisión (regular, difusa y mixta). Al estudiar materiales la cantidad de radiación que se transmite puede ir variando, es decir, dependiendo el material y qué tan transparentes sean (pueden inclinarse a ser semitransparentes o translúcidos) se puede ver con mayor nitidez este paso de radiación, pero en otros casos se puede ir observando que este paso de radiación por los materiales puede ir perdiendo nitidez, aunque se logre ver que la radiación pase por el material. Por eso, es importante tener presente estos conceptos que en conjunto se consideran base argumental para comprender lo que sucede con los materiales.

CARACTERÍSTICAS DEL BÓRAX DESDE EL ESTADO SÓLIDO

Al tener en cuenta las propiedades ópticas de los materiales se logra dar explicaciones alrededor de lo que Huygens se planteaba sobre las razones por las que los materiales opacos podían reflejar la luz perfectamente pero no permitían el paso de la luz por medio de ellos. Para Huygens existía algo que hacía diferente un material transparente de un material opaco y todo a su parecer se centraba en las partículas blandas y duras. Al revisar las propiedades, se analiza que desde la radiación y su interacción con los materiales se logra explicar esta propagación por medio de la transmitancia, reflectancia y absorbancia. Sin embargo, estas propiedades son propiedades de la misma radiación, por lo cual en este último apartado se aborda de manera general algunos conceptos del estado sólido para dar explicaciones de orden de la estructura atómica de los materiales y en específico para tener en cuenta las características del bórax, que se puedan explicar desde el estado sólido. La razón por la que se introducen algunos conceptos básicos del estado sólido se debe a que se tomará como muestra de estudio el compuesto de boro, el bórax, con el fin de establecer relación con la actividad experimental que se propone en el siguiente capítulo. Esta actividad tiene como fin de formar cristales de bórax para analizar la interacción de la luz con estos

y poder medir su transmitancia, por ende, es de suma importancia traer algunos aspectos y propiedades de este compuesto.

Para esta caracterización es importante retomar algunos conceptos, principalmente entender qué es el estado sólido y cuáles son los tipos de sólidos que se pueden encontrar con el fin de analizar específicamente lo que sucedería con los cristales de bórax.

El estado sólido es una de las ramas de la física moderna que estudia las propiedades de la mayoría de los materiales que hacen posible la tecnología actual. Estas propiedades físicas de los sólidos provienen de las propiedades de los átomos y de su distribución espacial. Principalmente, se pueden distinguir dos tipos de sólidos, cada uno con sus respectivos enlaces químicos, propiedades y estructuras. En primer lugar, retomando algunos conceptos de García Castañeda (2003), se encuentran los sólidos cristalinos los cuales se caracterizan por una perfecta distribución espacial debido a su periodicidad geométrica. Al tener este tipo de distribución, los procesos físicos que ocurren dentro de estos sólidos son más fáciles de estudiar. En segundo lugar, los sólidos amorfos se caracterizan por tener una distribución espacial completamente opuesta a la de los sólidos cristalinos. Esta distribución no es para nada periódica ni regular, pero poseen un volumen definido.

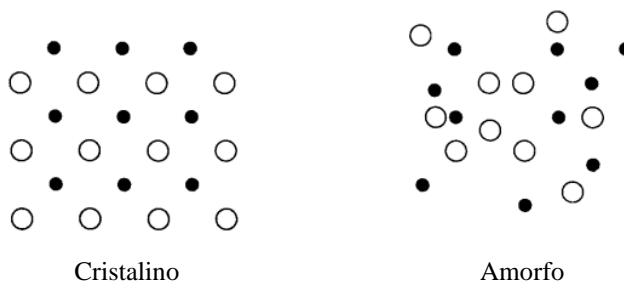


Ilustración 10. Sólido cristalino y amorfo. Tomada de García Castañeda, 2003, p.270

Los sólidos amorfos como los vidrios, obtienen esta forma debido a que cuando están en estado líquido y se enfrían muy rápido los átomos o moléculas no tienen suficiente tiempo para distribuirse y quedan en posición desordenada. Y en general, estos sólidos no tienen una distribución tridimensional regular de átomos (Chang, 2002).

Para el caso particular de los sólidos cristalinos, estos se dividen en dos grupos: los sólidos cristalinos metálicos y los no metálicos. Se clasifican de manera que dan razón de si pueden conducir o no corriente eléctrica. Esta capacidad de conducir corriente eléctrica se da en los sólidos cristalinos metálicos y se debe a que los electrones se encuentran débilmente enlazados a los átomos del cristal y estos son más susceptibles a responder a estímulos eléctricos que se den de manera externa. Por esta misma peculiaridad, los sólidos cristalinos metálicos son buenos conductores térmicos y ópticos. Este tipo de sólidos son muy diferentes a los sólidos cristalinos no metálicos, debido a que para estudiar estos hay que tener presente que las características físicas difieren de las anteriormente mencionadas y, por ende, se debe estudiar con profundidad los tipos de enlaces para comprender la unión de los átomos al cristal (García Castañeda, 2003).

El bórax o borato de sodio o tetraborato de sodio decahidratado $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ se conoce por ser un mineral que puede ser utilizado en la vida cotidiana, por medio del bórax se pueden hacer productos para limpieza, como jabones y algunos detergentes, por ende, no existen riesgos al utilizarlo, mientras se sigan las debidas instrucciones (Skoog, 2014). El bórax, en particular los cristales, se caracterizan por tener una estabilidad de radiación extremadamente alta y una alta transparencia en el rango espectral desde el ultravioleta hasta el infrarrojo. Una de las ventajas de estudiar cristales de bórax es que estos poseen estabilidad química, un alto umbral de daño y alta calidad para estudios ópticos. Entre sus propiedades, se encuentra que el bórax en su

estado de agregación es sólido, de color blanco, su punto de fusión es a 348K o 75°C. En cristalografía se considera el sistema cristalino del bórax como monoclinico (Goel, 2013).

Se propone estudiar el bórax para formar los cristales debido al tiempo que tardan en formarse, dentro de algunos elementos que propician la formación de cristales, el bórax dura aproximadamente 12 horas en que los cristales se formen. Para la explicación de la actividad propuesta para los estudiantes y las guías orientadoras a los profesores, no se profundizarán en conceptos del estado sólido, estos conceptos sirven como base para entender algunas características de este compuesto, pero no se ve necesario exponer todos estos conceptos en la guía. La idea de involucrar los cristales de bórax es poder estudiar un material transparente e ir modificando su coloratura para estudiar si existe gran cambio cuando el cristal es de color amarillo, azul, rojo, negro o transparente y que los mismos estudiantes realicen estas consideraciones.

CAPÍTULO IV

DISEÑO ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

Dado que uno de los objetivos de este trabajo es el diseño de una actividad experimental con enfoque en el aprendizaje activo es de suma importancia traer a colación la problemática que existe al enseñar/aprender temas referentes a la óptica y por qué hacer uso del aprendizaje activo para abordar estos temas mejora este aprendizaje; de igual forma es necesario tener clara la definición de aprendizaje activo y cómo es la contextualización de este enfoque respecto a la enseñanza de los temas relacionados con la óptica en las aulas para poder proponer la actividad experimental.

LA ENSEÑANZA DE LA LUZ Y SU RELACIÓN CON LOS MATERIALES TRANSPARENTES Y OPACOS

Una de las problemáticas al enseñar y aprender temas relacionados con la óptica es que estos pueden llegar a ser abstractos para los estudiantes, por ejemplo, al hablar sobre el comportamiento de la luz se necesita una forma de comprensión más visual que de imaginación. Al respecto de esto (Cudmani- Salinas- Pesa, 1993), (Salinas, J. Sandoval, J, 1999) en diversas investigaciones han encontrado que muchos estudiantes presentan dificultades en la comprensión de los fenómenos ópticos, específicamente en la óptica geométrica y entre las causas de dichas dificultades se encuentra principalmente la poca conceptualización de los fenómenos asociados de esta rama de la física y la dificultad de relacionar los conceptos con las estructuras formales de la ciencia. A razón de esto, la práctica experimental bajo un modelo de aprendizaje activo para estudiar los fenómenos ópticos lograría que los estudiantes alcancen un aprendizaje significativo al relacionar estos temas con lo que pueden ver en su cotidianidad y así no se limitaría una clase sobre estos temas simplemente a la resolución de problemas. Esto quiere decir que, las

experiencias o actividades que se planteen pueden implementarse con elementos muy simples y de bajo costo, y estas a su vez sirven como fundamento a la actividad intelectual de construcción de concepciones.

Para el caso de los materiales transparentes y opacos, estos temas son llevados al aula en dos momentos en la formación de cada estudiante, inicialmente en primaria y luego en secundaria. La forma en la que se abarcan estos temas en primaria es a través del concepto y la caracterización de los cuerpos transparentes, translúcidos y opacos, teniendo como base la explicación por medio de la propagación rectilínea de la luz y se realizan actividades experimentales en torno a la clasificación. En secundaria, se explica el comportamiento de la luz como fenómeno ondulatorio, pero no se realizan profundizaciones ni actividades experimentales sobre la interacción de la luz con estos materiales, la enseñanza se enfoca en las leyes de la reflexión y refracción. Esta información se analizó comparando los Derechos Básicos de Aprendizaje con algunos textos escolares de tercero de primaria y undécimo de secundaria con el fin de corroborar si lo que está planteado inicialmente por el MEN² para la educación, es lo que actualmente se está llevando al aula.

PROBLEMÁTICA AL ABARCAR EL MODELO DEL ÉTER

Al revisar en particular los temas que abarcan la problemática de este trabajo y que son sobre los materiales transparentes y opacos, se encuentra que todo el estudio que realizó Huygens, el cual incluye claramente la materia etérea como explicación a la interacción que existe entre el material y la luz, no son usados en las escuelas para dar base a la teoría ondulatoria de la luz y sobre esto Krapas (2008), afirma que al revisar el texto de Huygens y su transposición en la

² Ministerio de Educación Nacional de Colombia

enseñanza de la óptica en el aula por medio de textos escolares de nivel de secundaria y universitario, lo más evidente y que resulta muy sorprendente de ver es que ha desaparecido la explicación de la propagación de las ondas mecánicas a través de la materia etérea y al excluir todo lo relacionado con el éter, las propiedades que menciona Huygens en su obra, tales como la velocidad muy grande pero no infinita, la propagación hacia adelante y la propagación a grandes distancias, las cuales se explicaban detalladamente y demandaban un modelo para el éter, no son mencionadas en muchos textos debido a que no representaban una problemática. Al no hablar sobre estas propiedades se da por hecho que la constancia de la velocidad de la luz es un dato empírico y tampoco se habla a profundidad sobre los cuerpos transparentes (Gaspar, 2000).

Muchas de las concepciones planteadas por Huygens sufrieron una transformación en la forma en la que estos temas se enseñarían en la educación y es por esto que en los textos escolares simplemente mencionan algunas cosas y no se presenta todo el estudio y las problemáticas que plasmó Huygens en su teoría. La problemática surge alrededor del modelo para el éter, puesto que antes y después de Huygens se plantearon distintos modelos que al introducirlos en los textos podrían generar tener que saltar de la óptica a la física moderna. Algo que no sucede con la reflexión y la refracción, teniendo en cuenta que Huygens tenía como base argumental la óptica geométrica y sus análisis sobre estas fueron catalogadas perfectas, por ende, estos temas se logran profundizar en los textos escolares por la explicación y el trasfondo geométrico que existe, de igual forma se presenta de manera simplificada para la comprensión de los estudiantes (Krapas, 2008).

EL APRENDIZAJE ACTIVO COMO MÉTODO DE ENSEÑANZA EN LA FÍSICA

En su libro, *democracia y educación* Dewey señala que “el aprendizaje es algo que un individuo hace cuando estudia. Es un asunto activo y personalmente dirigido” (p.280), y además que debe basarse bajo la experiencia de cada individuo. En las diferentes críticas que realizó

Dewey a la educación tradicional, siempre mencionaba que los objetos de la enseñanza son tomados del pasado y por consiguiente la actitud del estudiante siempre era de aceptación, docilidad y obediencia, pues el conocimiento del profesor y lo que estaba en los libros de texto estaban por encima de lo que podría conocer el estudiante sobre algún tema. Cuando no se impone un método en donde los estudiantes son pasivos, esto es, que estén atentos a las directrices que imparte el maestro desde el tablero, sino que tengan un rol con una participación más activa, es decir que, el aprendizaje sea por medio de la experiencia, de realizar diferentes actividades que permitan una construcción sólida de los conceptos, de adquirir habilidades y destrezas técnicas al relacionar lo que pueden ver en su cotidianidad con los conceptos que se le estén enseñando.

En la academia, el uso que hacen los educadores sobre el aprendizaje activo está orientado a una comprensión intuitiva del término y no en una definición general. Lo que sí está claro es la forma en la que este método es usado como estrategia a la hora de enseñar y algunas de las características que se asocian al uso de éstas para promover el aprendizaje activo en el aula son las siguientes:

- Los estudiantes están involucrados en más que escuchar
- Se pone menos énfasis en la transmisión de información y más sobre el desarrollo de las habilidades de los estudiantes
- Los estudiantes participan en el pensamiento de orden superior (análisis, síntesis, evaluación)
- Los estudiantes participan en actividades (por ejemplo, leer, discutir, escribir)
- Se pone mayor énfasis en la exploración de los estudiantes de sus propias actitudes y valores

En este contexto, las estrategias que promuevan el aprendizaje activo se definen como actividades instructivas que involucren a los estudiantes en hacer cosas y pensar en lo que están haciendo (Bonwell, 1991).

Chickering y Gamson (1987) afirman que:

Aprender no es un deporte en el que se puede ser espectador. Los alumnos no aprenden por sentarse en clase y escuchar a los profesores, memorizar los contenidos, escribir sobre ellos y responder a las preguntas. Deben hablar sobre lo que están aprendiendo, relacionarlo con experiencias previas, aplicarlo a sus vidas cotidianas. Deben hacer de lo que aprenden una parte de sí mismos. (p. 3)

Particularmente en la física, el aprendizaje activo consiste en guiar a los estudiantes para que construyan los conocimientos alrededor de los conceptos de física mediante las observaciones que realizan del mundo. Para esto, se hace uso de un ciclo de aprendizaje que se conoce como PODS, este ciclo se basa en la predicción, la observación, la discusión y la síntesis de cualquier tema. De esta forma, los estudiantes pueden analizar y comprender las diferencias que existen entre sus creencias y las leyes físicas que rigen el mundo (Sokoloff, 2006).

Para el diseño de una actividad que sea orientada hacia el aprendizaje activo, McAlpine (2004) propone tener en cuenta cuatro momentos: la implicación, la información, la práctica y la evaluación como se muestra a continuación.

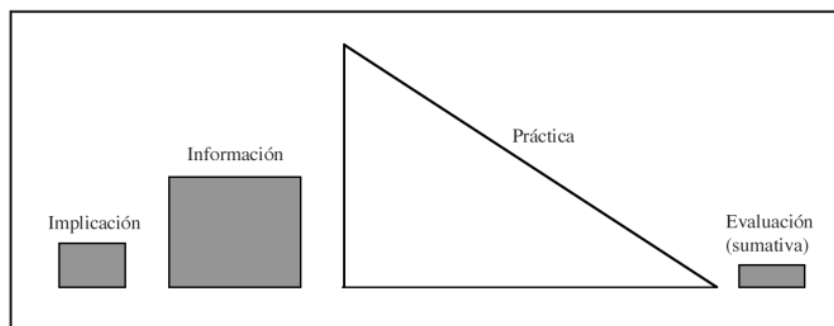


Ilustración 11. Diseño de una enseñanza orientada al aprendizaje. Tomada de McAlpine, 2004, p.127

De manera que, la ilustración 11 representa el tiempo que se debería emplear en cada una de las fases del proceso de enseñanza/aprendizaje:

1. **Implicación:** Esta fase no debería llevar gran cantidad de tiempo para el/la profesor(a) debido a que es una ayuda para que los estudiantes puedan comprender la importancia que requiere analizar el tema que se está exponiendo y el por qué deben realizar actividades en torno a esto. McAlpine (2004) recomienda que el/la profesor(a) a cargo de la actividad les haga saber a los estudiantes los resultados de aprendizaje esperados y que a su vez los estudiantes puedan ir estableciendo una relación entre los conocimientos previos que tienen sobre el tema y lo que van a ver.
2. **Información:** En esta fase, por parte del profesor(a) se expone el contenido del tema a tratar, por medio de presentaciones, de manera escrita, oral, con juegos didácticos (decisión de cada docente) y se les proporciona a los estudiantes los materiales requeridos para la actividad planteada. Es de suma importancia esta fase (pero a su vez no es más importante que la práctica) porque en esta estarán las ideas claves e instrucciones que deberán tener en cuenta en el momento de realizar la actividad.
3. **Práctica:** En esta fase se encuentra el aprendizaje activo en todo el sentido de la palabra por lo que esta fase es la de mayor relevancia en todo el proceso de adquisición, integración y construcción del conocimiento de modo que después puedan aplicarlos y ampliarlos en

nuevos contextos o situaciones de aprendizaje. Esta fase, como lo muestra la ilustración 10 es la que requiere de mayor cantidad de tiempo empleado, sea en el aula de clase o en distintos espacios, ya que en esta parte es donde realmente los estudiantes se dan la oportunidad de aprender, de hacerse preguntas, plantear hipótesis y discusiones. Y es aquí donde el aprendizaje activo por parte de los estudiantes se convierte en la mejor herramienta indispensable para su propio aprendizaje.

- 4. Evaluación:** En esta última fase de este modelo, la evaluación representa un momento en el que sorprendentemente no se cuantifica el proceso de cada estudiante, todo lo contrario, se da este momento para conocer la evolución del aprendizaje adquirido de cada estudiante. Por lo que se recomienda tener presente los conocimientos que tenían los estudiantes inicialmente y analizar el conocimiento construido al final de la actividad. Este análisis puede llevarse mediante una prueba preliminar (Pre Test) y una prueba final (Post Test).

A manera de síntesis, este modelo resulta conveniente para diseñar y proporcionar una mejor estructura para el proceso de enseñanza/aprendizaje y permite concientizar a los profesores sobre el tiempo que se le debería dedicar a cada parte de las clases planeadas. Y se tiene en consideración la importancia de implicar activamente a los estudiantes para mejorar su aprendizaje.

Al analizar el documento original de Huygens y estudiar los materiales transparentes y opacos, se considera que es importante retomar esta parte de la teoría y llevarla al aula como forma de explicar de manera visual para los estudiantes, cómo es la propagación de la luz y la misma interacción de la luz con los materiales. Cuando se retoma esta sección de la teoría y se explica el comportamiento de los materiales cuando incide una radiación en ellos, teniendo en cuenta

estudios modernos como las propiedades ópticas es más fácil de comprender sin llegar a incluir la materia etérea como explicación de la propagación de la luz.

Por lo cual, para la actividad experimental que se propone, es de suma importancia tener en consideración las formas en las que Huygens concebía la transparencia y opacidad de un material sin suponer un modelo del éter, sino que esta explicación se dé por medio de qué tanto transmite luz un material y de esta manera tener una perspectiva más clara de los materiales. Con todo lo anterior, no se excluiría trabajar con los materiales o simplemente clasificarlos, sino que se realizaría una práctica experimental en la que los estudiantes puedan relacionar los conceptos de Huygens con la forma en la que se explica la transparencia y opacidad de los materiales, desde la transmitancia.

FASES

Para la propuesta de la actividad experimental para los estudiantes se tiene en cuenta las fases mencionadas anteriormente que plantea McAlpine (2004) que tienen como base la enseñanza/aprendizaje por medio del aprendizaje activo en el aula como mejoría de los procesos cognitivos de los estudiantes.

Fase 1: Implicación	Se lleva a cabo el primer acercamiento sobre la interacción de la luz con los materiales transparentes y opacos; se realiza el Pre Test para tener presente lo que los estudiantes conocen sobre la luz y así proceder con la segunda parte de la actividad planteada.
Fase 2: Información	En esta fase, el/la profesor(a) a cargo relaciona el tema de estudio por medio de ejemplos que los estudiantes puedan haber vivido en su día a día y les da el sentido o explicación científica, en este caso, se les mencionarán a los estudiantes ejemplos en torno a cómo se propaga la luz y cómo lo hace por medio de los

	<p>materiales. Esto se puede dar a través de una lectura, una explicación oral o una lluvia de ideas. De igual forma, se debe tener presente que la importancia de esta fase es que es aquí donde se darán las herramientas cognitivas y conceptuales para que los estudiantes se puedan desenvolver de manera satisfactoria en la práctica.</p>
Fase 3: Práctica	<p>Para esta fase, es importante realizar grupos de tres a cuatro estudiantes y explicar la actividad que se va a realizar. Se pueden proponer ideas o preguntas que generen una discusión grupal. El/la profesor(a) deberá estar pendiente pero no involucrarse directamente, solo si existen preguntas, inquietudes o no se entiende el trasfondo de la actividad.</p>
Fase 4: Evaluación	<p>En esta fase se realiza el Post Test y se analiza el progreso que realizó cada estudiante con base en su conocimiento previo y el que fue construyendo y modificando al ir estableciendo relaciones lógicas y conceptuales de la interacción de la luz con los materiales.</p>

DOCUMENTO ORIENTADOR PARA EL PROFESOR

El diseño de la actividad experimental consta de cuatro momentos siguiendo las fases del aprendizaje activo. Esta tabla se divide por momentos, cada uno con sus respectivos objetivos, su contexto y sus preguntas orientadoras; la cual tiene como finalidad dar apoyo al profesor(a) que realice la actividad en su clase. En esta tabla se muestra de manera explícita lo que se debe tener en cuenta en cada momento, la importancia de tener presente lo que los estudiantes conocen sobre la luz, su naturaleza, su comportamiento y la interacción que hay con los materiales, siempre destacando la relación que se debe realizar de manera constante con los conceptos que se manejan en la física para propiciar la discusión grupal, el interés, las preguntas y las posibles respuestas que

les dan a las problemáticas para la debida construcción del conocimiento científico de manera conjunta. Para las guías de la actividad propuesta ver anexos.

MOMENTOS	OBJETIVOS	CONTEXTO	PREGUNTAS ORIENTADORAS	ACTIVIDAD EXPERIMENTAL
Momento 1 Pre Test	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificar los conocimientos previos que tienen los estudiantes sobre qué es la luz, cómo se propaga la luz y cómo es su naturaleza 	N/A	N/A	N/A
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Recoger las ideas que tienen los estudiantes sobre lo que consideran es un material o cuerpo transparente, translúcido y opaco, y construir una definición más sólida de estos materiales ➤ Aproximar a los estudiantes a unas ideas o 	<p>Para esta parte de la sesión se sugiere presentar un contexto con el fin de limitar las respuestas de los estudiantes.</p> <p>Para la primera pregunta, el contexto podría ser el siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Si cierras tus ojos, ¿podrías caminar por el salón 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ¿Cómo podemos observar lo que hay alrededor de nosotros? ➤ ¿Sabes qué es la luz? ➤ ¿Existen obstáculos para la luz? 	N/A

<p>Momento 2</p>	<p>conceptos claves sobre la interacción de la luz con los materiales transparentes y opacos.</p> <p>➤ Establecer relaciones que abarquen los conocimientos que tienen los estudiantes sobre su vida cotidiana y mostrarles el sentido o trasfondo científico</p>	<p>sin golpearlo con un objeto?</p> <p>➤ ¿Si entraras en un salón oscuro, podrías localizar un borrador o un lápiz? ¿Qué necesitarías para localizar estos objetos?</p> <p>➤ ¿En el caso en que el salón estuviera iluminado, podrías localizar esos objetos?</p>		
	<p>➤ Presentar las actividades experimentales planeadas para la clase</p>	<p>➤ En esta parte de la actividad, el profesor a cargo</p>	<p>➤ ¿Cómo atraviesa la luz a los materiales?</p>	<p>La actividad experimental está dividida en tres partes.</p>

<p>Momento 3 Actividad experimental</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plantear discusiones sobre algunas preguntas que se dieron en el momento 1 y 2 en torno al fenómeno de la luz y la interacción con los materiales ➤ Proponer recoger lo analizado y discutido en cada grupo por medio del diagrama V de Gowin. 	<p>puede tener presente algunas preguntas que se dejan en la guía orientadora para profesores (ver anexos) y generar discusiones alrededor de los grupos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ¿Puede la luz atravesar una pared al igual que lo haría con una ventana? ➤ ¿Por qué el interior de un cuerpo humano se puede observar por medio de rayos X, si el cuerpo humano es considerado opaco? 	<p>La primera actividad permite que los estudiantes puedan observar y analizar la propagación rectilínea de la luz por medio de unas cartulinas que contienen orificios. La idea de esta actividad es que los estudiantes logren evidenciar este comportamiento de la luz y que luego puedan realizar dibujos teniendo en cuenta esto.</p> <p>La segunda actividad se enfoca en que los estudiantes puedan clasificar distintos materiales de acuerdo a su</p>
--	---	---	--	--

				<p>transparencia, translucidez y opacidad, así mismo lo que sucede cuando se antepone a una fuente de luz estos materiales. En la tercera actividad, los estudiantes analizarán la interacción de la luz con los cristales de bórax con el fin de lograr medir la transmitancia de cada cristal.</p>
<p>Momento 4 Post Test</p>	<p>➤ Analizar los conocimientos previos y posteriores teniendo en cuenta el Pre Test y el Post Test de cada estudiante y darles una retroalimentación basada en la construcción del</p>	N/A	N/A	N/A

	concepto con la importancia de relacionarlo al ámbito científico.			
--	---	--	--	--

Los criterios que se tuvieron en cuenta para realizar las guías y evaluaciones de las actividades experimentales se dan bajo el “continuo del aprendizaje activo” como se muestra en la ilustración 12. Esta propuesta de Sutherland (1996), citada por Prieto (2006), tiene como fin involucrar activamente a los estudiantes, por lo cual es necesario empezar con actividades sencillas, que no requieran mayor cantidad de tiempo, a actividades más complejas, que duren más tiempo y que generen discusiones en los grupos.

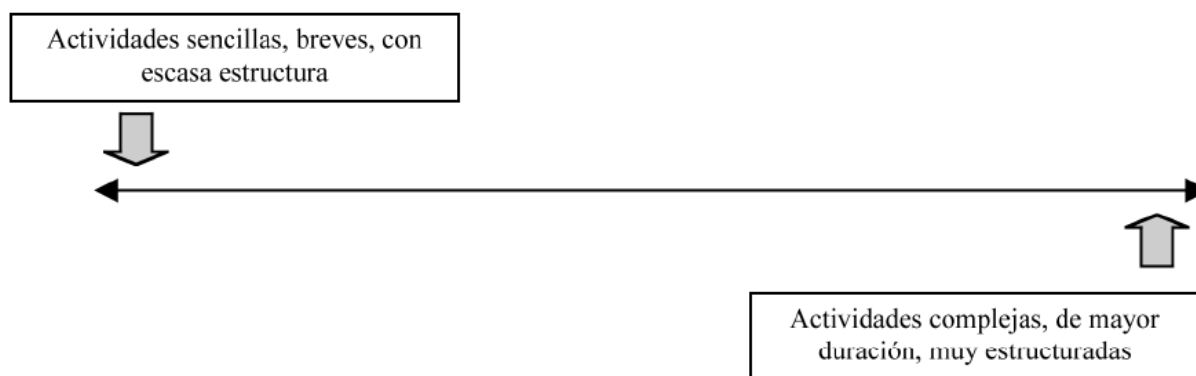


Ilustración 12. Continuo del aprendizaje activo. Tomada de Prieto, 2006, p. 185

La importancia de plantear una actividad en donde se estudien de manera progresiva los experimentos mencionados en el momento 3, sirve para que los estudiantes vayan construyendo definiciones más sólidas sobre lo que se está estudiando. Esta es la razón por la que la guía cuenta con tres actividades experimentales de manera que la primera y la segunda actividad sirvan de base para la última actividad que involucra a los cristales de bórax, de esta manera los estudiantes van creando una base argumental que surge alrededor de plantear hipótesis, generar preguntas, ofrecer

respuestas a todas estas y responder las guías planteadas para cada actividad, así cuando estén en la última actividad puedan recoger y exponer todo lo aprendido hasta el momento.

Estas actividades tienen como objetivo, poder comprender cómo es la forma de propagación de la luz, analizar la interacción de los materiales con la luz y estudiar los materiales desde la transmitancia.

CONCLUSIONES

Para Huygens la interacción de la radiación con los materiales era un tema relevante de ser investigado y podría develar algunas de las características de la misma radiación. Este autor consideraba que un cuerpo se podía catalogar como opaco y transparente, condición que se puede explicar actualmente desde las propiedades ópticas de los materiales.

Al mostrar las concepciones sobre el comportamiento de la luz antes durante y después de los trabajos de Huygens, se puede resaltar de este autor, el amplio trabajo alrededor de experimentos de interacción de la luz con los materiales, lo cual marca una diferencia clara con los científicos de la época ya que aborda la problemática de la luz desde las concepciones ondulatorias y sobre todo intenta dar una explicación alrededor de los procesos de interacción al interior de los materiales con la luz.

Al realizar la revisión alrededor de las concepciones que Huygens planteó sobre la interacción de los materiales con la luz, se encuentra que la problemática y la razón por la que no se enseña la teoría ondulatoria de la luz bajo todos los conceptos de lo que abarca esta misma es que el modelo del éter es muy controversial, por lo que es complicado llevar las explicaciones de lo que sucede con la luz y los materiales teniendo en cuenta los análisis que se dan desde la materia etérea. Al dejar de lado el modelo de éter, no se entra en discrepancia con los modelos recientes de éste y de esta manera, el estudio de los materiales a partir de la transmitancia permite replantear la forma en la que se propaga la luz a través de los medios.

Para consolidar estas caracterizaciones y explicaciones se construye la propuesta de manera que los estudiantes logren tener una experiencia y aprendizaje significativo al estudiar el fenómeno de la luz y particularmente la forma en la que se da la interacción de esta con los materiales. Para

la propuesta es de suma importancia retomar las dos perspectivas o las dos formas de explicar estos materiales debido a que las dos se complementan para hacer una construcción de conceptos más organizados y desde una mirada distinta. En el planteamiento de la actividad se logró reconocer la importancia que tiene el experimento y en especial en temas referentes a la óptica, ya que por medio de estos se puede crear un vínculo entre lo que el estudiante puede relacionar con sus experiencias adquiridas en la vida cotidiana y el concepto establecido que existe en el ámbito científico.

REFERENCIAS

- Bassalo, J. M. (2008). *Curiosidades de la física*. Fundación Minerva
- Billmeyer, F. W., Jr. (1975). *Ciencia de los polímeros* (2.^a ed.). Reverté.
- Bonwell, C. y Eison, J.A. (1991). *Active learning: creating excitement in the classroom*. ASHE-ERIC Higher Education Report No. 1. Washington, D.C. The George Washington University, School of Education and Human Development.
- Burbano, S. Burbano, E. y Gracia C. (2003). *Física general*. Editorial Tébar Flores, 32^a edición
- Castillo, I. J. (2005). *El sentido de la luz ideas, mitos y evolución de las artes y los espectáculos de la luz hasta el cine*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.
- Carreño, F. y Antón, M. A. (2001). *Óptica física: Problemas y ejercicios resueltos*. Prentice Hall.
- Çengel, Y. A. y Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones* (4.^a ed.). MCGRAW HILL EDUCATION.
- Chang, R. y College, W. (2002). *Química*. (7.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Chickering, A. y Gamson, Z. (1987). *Seven principles for good practice in undergraduate education*. AAHE Bulletin, 39, 3-7.
- Dewey, J. (1998). *Democracia y Educación: Una introducción a la filosofía de la educación* (Tercera ed.). Ediciones Morata, S.L.
- Dewey, J. (2010). *Experiencia y Educación*. (Segunda ed.). Biblioteca Nueva. (L. Luzuriaga, Trans.). (Obra original publicada en 1938)
- Díaz, L. F. (2017). *El estudio de fenómenos ópticos: Una reflexión sobre el sentido de la enseñanza de la física en la educación básica*. (Tesis de pregrado). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C.
- Ditchburn, R. W. (1982). *Óptica* (3.^a ed.). Reverte.

- Domínguez, M. F. (2003). *Instalaciones eléctricas de alumbrado e industriales* (4.^a ed.). PARANINFO / Thomson.
- García Castañeda, M., & Ewert De-Geus, J. (2003). *Introducción a la física moderna* (3.^a ed.). Unibiblos.
- Gaspar, A. (2000). *Onda, Óptica, Termodinámica*. São Paulo: Editora Ática.
- Goel, N., Sinha, N., & Kumar, B. (2013). *Growth and properties of sodium tetraborate decahydrate single crystals*. *Materials Research Bulletin*, 48(4), 1632–1636.
- Gribbin J. y Gribbin M, (2006). *Science: A History*. 1543 – 2001, Ed. Crítica, S.L.
- Hecht, E. (2000). *Óptica*. (3.^a ed.). Addison Wesley LONGMAN/PEARSON.
- Hewitt, P. G. (2016). *Física Conceptual* (12.^a ed.). Pearson Educación.
- Huygens, C. (1690). *Traité de la lumière*. Chez PIERRE VANDER A, A, Marchand Libraire.
- Krapas, S. (2008). *El Tratado sobre la Luz de Huygens y su transposición didáctica en la enseñanza introductoria de Óptica*. *Revista de Enseñanza de la Física*, 21(Nº 2), 52.
- López, A. D. (2019). *Aprendizaje significativo en la enseñanza de los fenómenos de reflexión y refracción de la luz desde una estrategia didáctica mediada por actividades experimentales*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- McAlpine, L. (2004). *Designing learning as well as teaching. A research-based model for instruction that emphasizes learner practice*, *Active Learning in Higher Education*, 5 (2), 119-134

- Meyer, J. (2014). *Visual Inspection of Transparent Objects Physical Basics, Existing Methods and Novel Ideas*. 37.
- Morales, G. L. (2020). *Filosofía de la Restauración: Más allá de las cosas*. Books on Demand.
- Ojeda, M. Y. (2019) *Dispositivo opto mecatrónico para la adquisición de medidas espectroscópicas con resolución angular*. Tesis de maestría. Centro de Investigaciones en Óptica A.C.
- Osorio, M. F. (2009) *Reconstrucción tridimensional de piezas con condiciones ópticas complejas*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales
- Pérez, M. González, D. y González, M. J. A. (2011). *Reproducción del punto de Poisson*. Ingeniería. 2011;15(3):189-194
- Pesa, M. Cudmani, L. Salinas, J (1993). *Transferencia de los resultados de la Investigación educativa en el aprendizaje de la Óptica*. Revista de Ensino de Física. 15(1-4).
- Prieto, L. (2006). *Aprendizaje activo en el aula universitaria: el caso del aprendizaje basado en problemas*. Miscelánea comillas, Vol. 64 (2006), núm. 124, pp. 173-196
- Salinas, J. Sandoval, J. (1999). *Objetos e imágenes reales y virtuales en la enseñanza de la Óptica Geométrica*. Revista de Enseñanza de la Física, 12(2).
- Serrano, A. L. (2013). *El comportamiento de la luz: Diseño y evaluación de una secuencia de enseñanza basada en el aprendizaje como investigación orientada*. (Tesis de pregrado). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C.
- Serrano, J.J. (2019). *Todo es según el color del cristal con que se mira*. Anales de la Real Sociedad Española de Química, ISSN 1575-3417, ISSN-e 1575-3417, N° 5, 2019, p. 414-420.

Skoog, D. A. West, D. Holler, J. y Crouch, S. (2014). *Fundamentos de química analítica* (9.^a ed.). Cengage Learning.

Sokoloff, D. R. (2006). *Active learning in optics and photonics: Training manual*. University of Oregon, USA. UNESCO

Sutherland, T. y Bonwell, C. (1996). *Using active learning in college classes: A range of options for faculty*. San Francisco: Jossey-Bass.

Vendrell, M. (2002). *Óptica cristalina: Vol. 1.2*. GNU Free Document Licence.

Wheatstone, C. (1834). *XXIX. An account of some experiments to measure the velocity of electricity and the duration of electric light*. Phil. Trans. R. Soc. 124583–591

ANEXOS

ANEXO 1

PRE TEST: ¿QUÉ TANTO SABES SOBRE LA LUZ?

¿Qué tanto sabes sobre la luz?

Nombre: _____

Fecha: _____ Curso: _____

1. Piensa en tu día a día y escribe un párrafo de lo que es la luz para ti. Realiza un dibujo que ayude a tu definición.



2. Realiza una breve descripción sobre lo que es un material transparente, translúcido y opaco, y escribe tres ejemplos de cada material

Material transparente

Material translúcido

Material opaco

3. Completa el siguiente cuadro teniendo en cuenta la forma en la que la luz atraviesa algunos materiales y a su vez menciona si son transparentes, translúcidos y opacos

Materiales	¿La luz lo atraviesa? Si/No	Transparente, translúcido, opaco
Vaso de vidrio		
Madera		
Aceite		
Manzana		
Papel calca		
Pared		
Cubo de hielo		
Lupa		
Cartulina		
Ventana		

4. Dibuja cómo la luz atravesaría los siguientes materiales si se pusiera una linterna al frente de ellos



Vidrio



Puerta de
madera



Papel calca
o calco

ANEXO 2
GUÍA ORIENTADORA PARA EL PROFESOR

¿Cómo es la interacción de la luz con los materiales?

IDEAS CLAVES:

- La luz es una onda electromagnética o una forma de energía radiante
- La luz que vemos con nuestros ojos, la luz visible, es un tipo de radiación electromagnética
- Podemos apreciar los objetos gracias a la interacción de la luz con ellos
- Los materiales transparentes y opacos en general tienen diferentes estructuras moleculares y esta es la razón por la cual absorben o reflejan la luz en varios rangos espectrales.

DESEMPEÑOS:

- ✓ Analizar de manera experimental como es la propagación rectilínea de la luz
- ✓ Construir una definición sobre la luz
- ✓ Clasificar los materiales transparentes, translúcidos y opacos y comprender cómo es la interacción de la luz con estos materiales
- ✓ Comprender el concepto de transmitancia y estado sólido desde la actividad experimental de los cristales de bórax

Actividad: ¿Cómo se propaga la luz?

En qué consiste: comprender que la luz se propaga de manera rectilínea

Materiales:

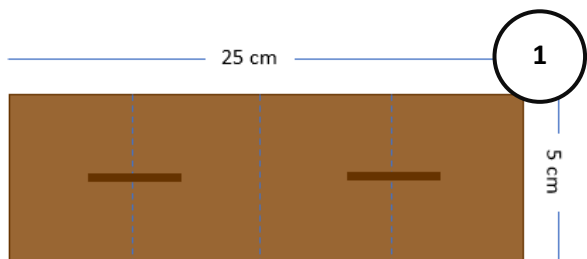
- ✓ 3 cartulinas de 15 cm x 15 cm
- ✓ 1 lápiz
- ✓ 1 linterna
- ✓ 3 pedazos o tiras de cartón de 25 cm x 5 cm
- ✓ Soporte para colocar la linterna (pueden ser libros)

Desarrollo propuesto:

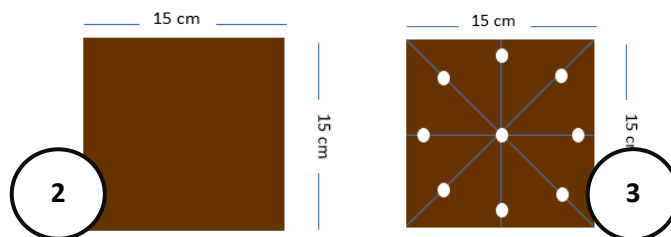
NOTA: El procedimiento que se muestra a continuación queda a consideración del profesor, si los estudiantes deberán realizar este paso a paso o si el profesor les proporciona el material ya listo.

Para empezar con la actividad experimental sobre ¿cómo se propaga la luz? Pídeles a los estudiantes realizar grupos de tres a cuatro estudiantes y solicitarles que empiecen con la organización del material.

Para lo anterior, hay que construir tres soportes con las tiras de cartón (25 cm x 5 cm), para esto se toma el lápiz, se divide el cartón por la mitad y se traza una línea. Teniendo en cuenta la línea trazada, se traza otra línea a la derecha y otra a la izquierda, en total se tendrá 4 secciones de 6,25 cm aproximadamente. Luego, se hace con un cúter o bisturí un corte rectangular de 3 cm aproximadamente, como se muestra en la ilustración 1.

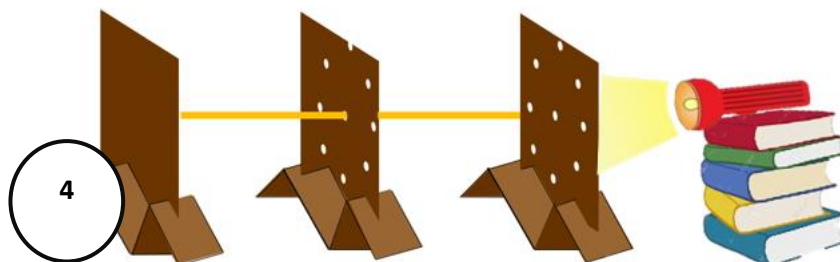


Luego, tomar las dos cartulinas (15 cm x 5 cm) ilustración 2, con el lápiz se puede dibujar un octágono para guiarse al momento de hacer los orificios. Con el mismo lápiz hacer un orificio en el centro de cada cartulina y ubicar un orificio en la parte superior e inferior, siguiendo la línea del orificio central. Se sigue el mismo proceso para los orificios del lado derecho e izquierdo, en total deberán salir ocho orificios, como muestra la ilustración 3.



Al tener listo los tres cartones y las dos cartulinas con sus respectivos orificios, se toman los tres cartones y se doblan por donde se hizo la línea derecha e izquierda para que quede como si tuviera una forma de M.

Al tener todo listo, se ponen los tres soportes a una distancia de 20 cm y en los orificios realizados colocar las tres cartulinas. Se colocan libros que ayuden de soporte para la linterna. El montaje deberá quedar como se muestra en la siguiente ilustración:



A partir de este momento, se pueden plantear algunas preguntas alrededor de cómo es la propagación de la luz, de manera que estas preguntas puedan generar discusiones en los grupos.

Las preguntas pueden ser las siguientes:

- ✓ ¿Qué ocurre si se enciende la linterna y se pone de manera que la luz de este pase por los orificios?
- ✓ ¿Qué nos indicaría esta actividad experimental sobre la dirección de la luz?
- ✓ ¿Por qué este experimento permitiría demostrar que la luz viaja en línea recta?
- ✓ Si en lugar de una linterna, colocamos otra fuente luminosa como una vela, ¿el resultado sería el mismo?

Actividad: ¿Cómo se propaga la luz por los materiales?

En qué consiste: analizar la propagación de la luz por medio de materiales transparentes, translúcidos y opacos

Materiales:

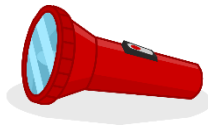
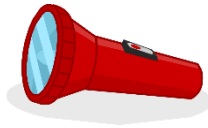
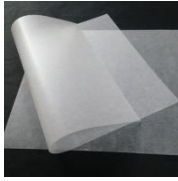
- Un vaso de vidrio
- Un trozo de cartón
- Papel calca
- Una botella de plástico
- Regla de madera
- Regla plástica
- Fuente de luz blanca

Desarrollo propuesto:

Para iniciar con la actividad experimental sobre cómo es la interacción de la luz con los materiales transparentes, translúcidos y opacos, proporcione el material a los estudiantes y recuérdelos la finalidad de la actividad para que puedan empezar a establecer relaciones de la luz con cada material.

El orden que se presentará a continuación puede variar dependiendo de la organización que maneje cada grupo.





En general, la finalidad de la actividad es que los estudiantes puedan analizar cómo es la interacción de la luz con los materiales. Como sugerencia, solicitarles a los estudiantes que además de los materiales que tienen a disposición observen el aula de clase y propongan otros materiales para estudiarlos.

Para el caso de los materiales transparentes, los estudiantes deberán

observar que la luz puede atravesar el vidrio y la botella plástica con mucha facilidad. Respecto a la interacción de la luz con los materiales translúcidos (la hoja calca o calco y la regla de plástico de color, se podrá observar que la luz atraviesa con dificultad el material, es decir que, logra pasar una cantidad de intensidad de luz menor que en comparación a un material transparente.

Cuando los estudiantes analicen lo que sucede al encender la linterna y la ubiquen de manera que quede en dirección a un material opaco, para este caso los trozos de cartón y la regla de madera, podrán observar que la luz no atraviesa el material.

Las preguntas que pueden surgir son las siguientes:

- ✓ ¿Todos los materiales permiten el paso de la luz?

- ✓ ¿Todos los materiales transparentes son atravesados por la luz?
- ✓ ¿Todos los materiales opacos no permiten el paso de la luz?

Actividad: La luz y los cristales de bórax

En qué consiste: construir un fotómetro casero para poder medir la intensidad de luz, crear cristales de bórax con los siguientes colores: amarillo, azul, rojo, negro y transparente.

Al tener el fotómetro casero y los cristales se procede a hallar la transmitancia.

Materiales:

- ✓ Bórax
- ✓ Agua
- ✓ Limpiapipas
- ✓ Hilo de coser
- ✓ Palitos de madera

- ✓ Colorantes de alimentos
- ✓ Recipientes
- ✓ Olla
- ✓ Tijeras
- ✓ Un plato

- ✓ Multímetro
- ✓ Transistor 2N3055
- ✓ Cúter
- ✓ Una tapa de gaseosa

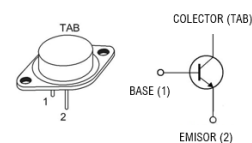
Desarrollo propuesto:

NOTA: El procedimiento que se muestra a continuación queda a consideración del profesor de si los estudiantes deberán realizar este paso a paso o si el profesor les proporciona el material ya listo.

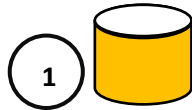
Para esta actividad es necesario hacer grupos de cinco estudiantes y entréguele a cada grupo los respectivos materiales.

Construcción fotómetro casero:

Para el fotómetro casero se necesita un transistor 2N3055 y un multímetro por cada grupo. Con el cúter se corta la parte superior del transistor y luego se conecta el positivo del multímetro a la base del transistor y el negativo en el emisor.



Para evitar la incidencia de la luz por todos lados y que sea más centrado se le pone una tapa de gaseosa o cualquier bebida, previamente cortada, como lo muestra la ilustración 1.



Y se coloca de manera que quede como la siguiente ilustración:



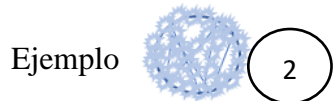
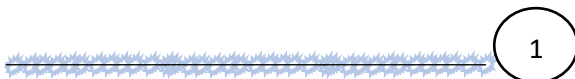
De esta manera, la tapa de gaseosa ayudaría a tener una medida de intensidad de luz más aproximada.

Video orientador:

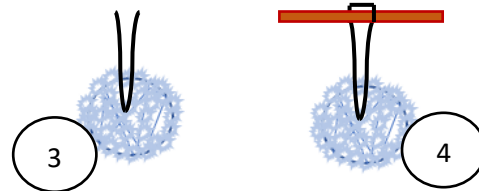
<https://www.youtube.com/watch?v=ho7-lxtbpF8&t=191s>

Creación de los cristales:

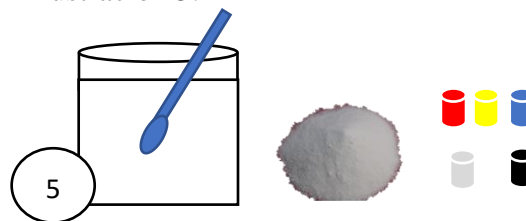
Para la creación de cada cristal se debe poner a hervir un litro de agua en una olla. Mientras el agua empieza a hervir, se toman tres limpiapipas y se unen doblando los extremos para que quede un limpiapipas grande, como se muestra en la ilustración 1. Se toma el limpiapipas y se le da una forma, puede ser de círculo, cuadrado o cualquier otra forma. Ilustración 2.



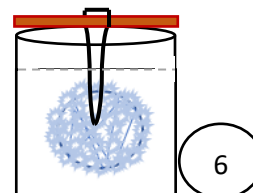
Se toma el hilo y se amarra en el centro de la forma que se realizó con el limpiapipas y luego, el otro extremo del hilo se amarra a un palito de madera. Ilustración 3 y 4.



Poner el agua hirviendo dentro de un recipiente, puede ser un vaso de vidrio y se va agregando poco a poco el bórax. Para un litro de agua se usará 200 g de bórax. Cuando se tenga una cantidad de bórax que no se mezcle con el agua, se procede a aplicar el colorante de alimento (en polvo o en pasta) hasta tener el color deseado. Ilustración 5.



Luego, asegúrese de que el hilo con la forma que se le dio al limpiapipas quede en el centro del recipiente. Ilustración 6.



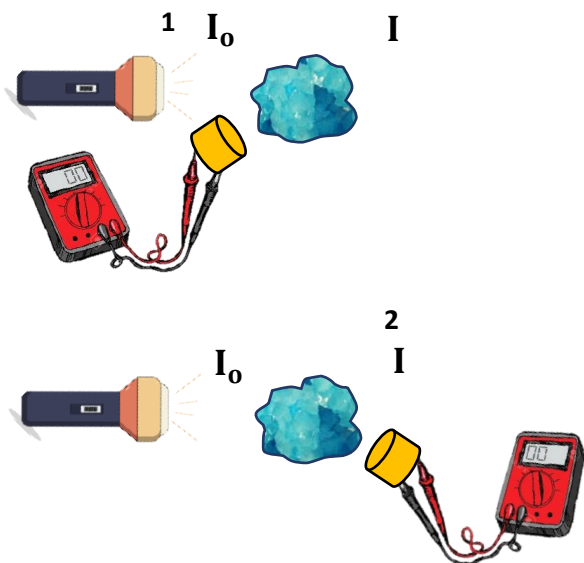
Introducir el hilo con la forma del limpiapipas al recipiente y taparlo con un plato por 12 horas.

Video orientador:

https://www.youtube.com/watch?v=AL5SFcPF_HI

Actividad:

Al tener el fotómetro casero y los cinco cristales (amarillo, azul, rojo, negro y transparente) se procede a medir la intensidad de la luz que hay antes del cristal (ilustración 1) y después del cristal (ilustración 2).



NOTA: Tener en cuenta que el multímetro debe estar en la escala de 2.000 milivoltios.

Realizar este procedimiento con todos los cristales y los estudiantes deben ir

anotando los valores que el multímetro arroje.

Cuando los estudiantes tengan los valores deberán hallar la transmitancia por medio de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

T= transmitancia

I= cantidad de luz transmitida por la muestra

I₀= cantidad total de luz incidente

Antes de pedirle a los estudiantes hallar la transmitancia, explicar el concepto y para qué servirá usar esta propiedad óptica.

Las preguntas que pueden surgir al realizar la actividad pueden ser las siguientes:

- ✓ ¿El color del cristal influye en cómo puede interactuar la luz con estos?
- ✓ ¿Los colores de los cristales influyen en los valores que se observa en los multímetros?

ANEXO 3

GUÍA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL PARA LOS ESTUDIANTES

Actividad

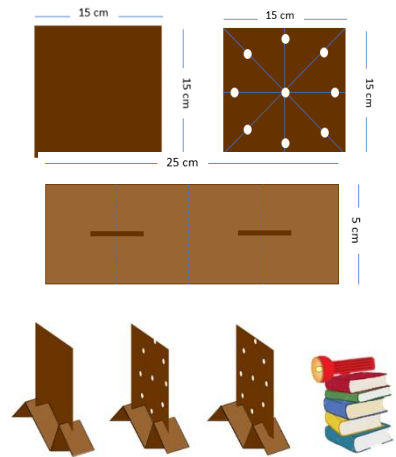
¿Cómo se propaga la luz?

Nombre: _____

Fecha: _____ Curso: _____

Materiales:

- 3 cartulinas de 15 cm x 15 cm
- 1 linterna
- 3 tiras de cartón de 25 cm x 5 cm
- Soporte para colocar la linterna, pueden ser libros



Preguntas:

Ubique la linterna de manera que, al encenderla la luz pase por el orificio central, luego haz lo mismo, pero con los demás orificios.

1. ¿Qué observas al encender la linterna y que la luz pase por el orificio central?

2. ¿Hay alguna diferencia cuando la luz pasa por el orificio central y por los otros orificios?

-
-
3. Según lo que observaste, dibuja como se daría la propagación de la luz proveniente del sol hasta un objeto



Actividad

¿Cómo se propaga la luz por los materiales?

Nombre: _____

Fecha: _____ Curso: _____

Materiales:

- Un vaso de vidrio
- Un trozo de cartón
- Papel calca
- Una botella de plástico
- Regla de madera
- Regla plástica
- Fuente de luz blanca

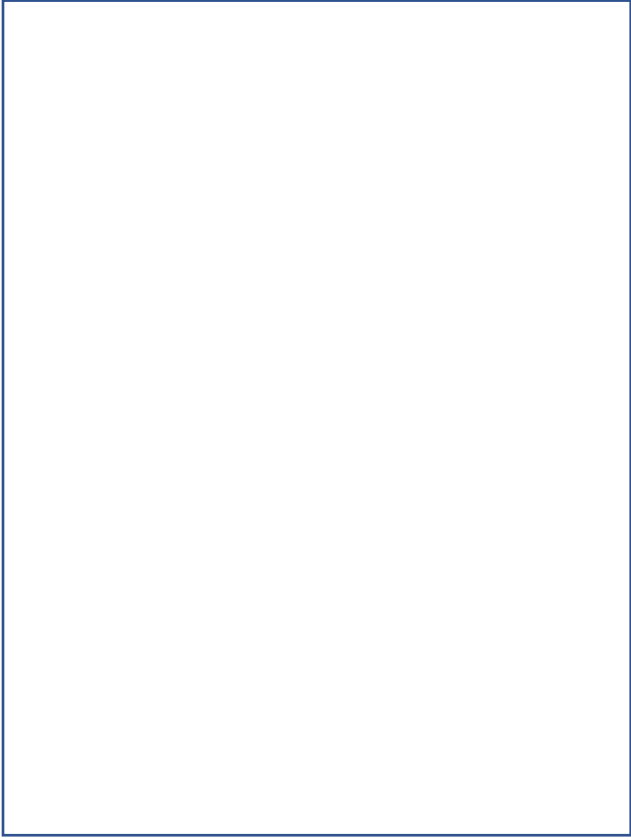


Preguntas:

1. Explica qué sucede cuando acercas una fuente de luz blanca a cada material

2. Clasifica los materiales en transparentes, translúcidos y opacos

3. El director de una obra de teatro quiere que cuando aparezca la actriz protagonista, los extras combinen objetos de manera que una parte del cuerpo de la actriz se aprecie, otra parte no se vea y la otra parte se vea difuminado. ¿Cómo podrías ayudarle al director a conseguir lo que quiere? Y ¿cómo podrías explicarle tu idea para que él entienda y lo apruebe? Expresa tu idea en un párrafo y en un dibujo



Actividad

La luz y los cristales de bórax

Nombre: _____

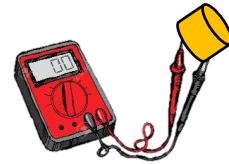
Fecha: _____ Curso: _____

Materiales:

- Cristales de bórax



- Fotómetro casero



Preguntas:

1. ¿Cómo es la interacción de la luz con cada cristal?

2. ¿Cuándo acercas la fuente de luz a los cristales, observas alguna diferencia entre el cristal transparente y el cristal negro? Explica tu respuesta

3. En la siguiente tabla anotar los valores obtenidos con el fotómetro antes del cristal y después del cristal

Cristal	I (cantidad de luz transmitida)	I_o (cantidad de luz incidente)
Transparente		
Negro		
Amarillo		
Azul		
Rojo		

4. Con los valores obtenidos, hallar la transmitancia:

$$T = \frac{I}{I_o}$$

Cristal	Transmitancia
Transparente	
Negro	
Amarillo	
Azul	
Rojo	

ANEXO 4

POST TEST PARA LOS ESTUDIANTES

¿Qué aprendiste sobre la luz?

Nombre: _____

Fecha: _____ Curso: _____

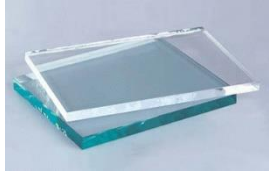
1. Según las actividades experimentales, las observaciones y análisis que realizaste, para ti ¿qué es la luz?

2. Teniendo en cuenta la interacción de la luz con los materiales, escribe un párrafo sobre qué es un material transparente, opaco y translúcido

3. Realiza varios dibujos en donde muestres qué sucedería si a estos se antepone un material transparente, translúcido y opaco



4. Teniendo en cuenta lo que se explicó en la clase sobre la transmitancia muestra cómo se daría esta propiedad para que la luz pase en los siguientes materiales:



Vidrio



Puerta de
madera



Papel calca
o calco

5. De la actividad de los cristales de bórax, ¿qué fue lo que más te llamó la atención?
