



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL**

**LA EXPERIMENTACIÓN EN LA ENSEÑANZA DEL FENÓMENO DE LA DIFRACCIÓN DE LA
LUZ PARA ESTUDIANTES DE GRADO UNDÉCIMO**

JUAN CAMILO CASTAÑO DIAZ

JUAN SEBASTIÁN CALDERÓN VILLALBA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

ASESORA: YENIFER JOHANA HERNÁNDEZ LEÓN

LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN: La Actividad Experimental para la Enseñanza de la Física

Agradecimientos – Juan Sebastián

A mis padres por su amor, apoyo, consejos y ser una inspiración. Son héroes y el motor de mi vida.

A Nicolás, Felipe y Nicolle por su amistad incondicional.

A toda mi familia por apoyarme.

A Luna, Mara y Bucky por ser alegría y su compañía fiel.

A la docente Yenifer Hernández por su tiempo y constancia en este trabajo.

Dedicatoria – Juan Sebastián

A mi mamá

Agradecimientos – Juan Camilo

A mis padres y a mis hermanos, por ayudarme a seguir adelante y animarme en todo momento sin importar las adversidades.

A mi pareja, por apoyarme y ayudarme a asentar mis ideas

A mis amigos por su amistad y apoyo incondicional

A la docente Yenifer Hernández y Katerine Morales por su tiempo y guía en este trabajo.

Dedicatoria – Juan Camilo

A todas las personas que formaron parte de mi proceso.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	7
2. Problema De Investigación	9
3. Antecedentes	11
3.1 INVESTIGACIONES PREDECESORAS EN LA ENSEÑANZA DE LA ÓPTICA EN SECUNDARIA	11
3.2 INVESTIGACIONES PREDECESORAS DE SECUENCIAS/ACTIVIDADES PARA FENÓMENOS ÓPTICOS	12
3.3 INVESTIGACIONES PREDECESORAS DE ENSEÑANZA DEL FENÓMENO DE DIFRACCIÓN	13
4. Objetivos	14
4.1 OBJETIVO GENERAL	14
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
ETAPAS DE INVESTIGACIÓN	15
5. Una Mirada Fenomenológica A La Difracción De La Luz: Interpretaciones Históricas Sobre La Difracción	16
5.1 Capítulo I El Vínculo Con La Enseñanza De La Ciencia. (El Rol De La Actividad Experimental En El Aula)	17
5.2 Capítulo II Construcción Fenomenológica De La Difracción De La Luz.	25
5.2 LOS ANILLOS DE NEWTON – PRIMER FENÓMENO DE INTERFERENCIA	25
5.3 AUGUSTIN FRESNEL – DIFRACCIÓN DE LA LUZ POR AUGUSTIN FRESNEL	31
5.4 Capítulo III – Difracción De La Luz	33
5.4.1 PREÁMBULO HISTÓRICO	33
5.4.2 PRINCIPIO DE HUYGENS	35
5.4.3 PRINCIPIO DE HUYGENS - FRESNEL	37
5.4.4 RED DE DIFRACCIÓN – DIFRACCIÓN DE FRAUNHOFER	38
5.4.5 PRINCIPIO DE INTERFERENCIA DE YOUNG	39
6. Consideraciones Metodológicas De Investigación Y Elaboración Didáctica De Actividades	41
6.1 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	42
6.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	43
6.3 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN	43
6.4 PROCESO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ACTIVIDADES	44
6.5 CONSIDERACIONES PRELIMINARES DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA DE ACTIVIDADES EXPERIMENTALES:	45
7. Análisis De Datos	48
7.1 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE DATOS – ACTIVIDAD 1 “FASE DE EXPLORACIÓN”	48
7.2 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE DATOS – ACTIVIDAD 2 Y 3 “FASE DE INTRODUCCIÓN – PREGUNTAS DE ENTRADA”	51

7.3 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE DATOS – ACTIVIDAD 2, 3 Y 4 “FASE DE ESTRUCTURACIÓN – PREGUNTAS ORIENTADORAS”	54
7.4 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE DATOS – ACTIVIDAD 2, 3 Y 4 “FASE DE ANÁLISIS – PREGUNTAS DE ANÁLISIS”	58
8. Evaluación Por Rúbrica – Una Herramienta Para Evaluación Continua	60
9. Conclusiones	62
Bibliografía	64
Anexos 66	
ANEXO A. LA ÓPTICA DE SIR ISAAC NEWTON: LA TEORÍA CORPUSCULAR DE OPTICKS.	66
LA ÓPTICA DE SIR ISAAC NEWTON: LA TEORÍA CORPUSCULAR DE OPTICKS.	66
ANEXO B - ANÁLISIS HISTÓRICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA LUZ DESDE EL MODELO ONDULATORIO. TRATADO DE HUYGENS	71
ANEXO C. SECUENCIA DE ACTIVIDADES Y NOTA DOCENTE EN LAS ACTIVIDADES	74
ANEXO D. – TRANSCRIPCIÓN DE RESPUESTAS ACTIVIDAD 1	84
ANEXO E. – TRANSCRIPCIÓN DE RESPUESTAS ACTIVIDAD 2	85
ANEXO F. – TRANSCRIPCIÓN Y REGISTRO GRÁFICO DE RESPUESTAS ACTIVIDAD 3	88
ANEXO G. – TRANSCRIPCIÓN GRÁFICO DE RESPUESTAS ACTIVIDAD 4	92
ANEXO H – RÚBRICA DE PROCESOS COGNITIVOS POR GRUPO	94

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Patrón de interferencia Libro II parte I – Tomado de Opticks</i>	26
<i>Figura 2 - Anillos de Newton Libro II parte I – Tomado de Opticks</i>	27
<i>Figura 3 – Periodicidad del color Libro I Parte II – tomado de Opticks</i>	27
<i>Figura 4 – Inflexión de la luz libro III parte I – Tomado de Opticks</i>	28
<i>Figura 5 –Desviación de un rayo de luz por un prisma libro III Part I – Tomado de Opticks</i>	30
<i>Figura 6 Elaboración propia - Desviación sutil de la luz al chocar con un obstáculo (El efecto se exagera un poco en el siguiente grafico con el fin de entender fácilmente a lo que se refiere Fresnel con la desviación de la luz)</i>	32
<i>Figura 7 (Tabla de datos referente a las longitudes de las franjas de alguno de los patrones de interferencia registrados por Fresnel rescatada del libro MÉMOIRE sur LA DIFFRACTION DE LA LUMIÈRE por Agustín Fresnel).</i>	33
<i>Figura 8 – Rescatada de</i> <i>https://docplayer.es/69467173-Unidad-8-j-m-l-c-chena-ies-aguilar-y-cano-vibraciones-y-ondas-movimiento-ondulatio.html Construcción de la envolvente inmediata de una perturbación lumínica</i>	36
<i>Figura 9 – Elaboración propia - Cambio en la envolvente de un frente de onda plano a circular</i>	36
<i>Figura 10 – difracción representación frente de onda plano a cilíndrico</i>	37
<i>rescatado de https://www.pngwing.com/es/search?q=</i>	37
<i>Figura 11 – Focos de emisión en una rejilla de 4 aberturas Rescatado de</i> <i>https://www.unirioja.es/dptos/dq/fa/emo/amplia/node1.html</i>	38
<i>Figura 12 -Elaboración propia Interferencia constructiva - Interferencia destructiva</i>	39
<i>Figura 13 – Elaboración propia. Representación experimento de doble rendija - Thomas Young</i>	41
<i>Figura 15 - descomposición de la luz por un prisma libro I parte I – Tomado de Opticks</i>	67
<i>Figura 16 - Representación de la imagen proyectada para el experimento 4. Refracción de la luz por dos prismas – Tomado de Opticks</i>	68
<i>Figura 18 - Representación explicativa de propagación de onda como infinitas fuentes puntuales – extraído de Traité de la lumière</i>	72
<i>Figura 19 - Fuente de ondas lumínicas – Extraído de Traité de la lumière</i>	72
<i>Figura 20 - Envolvente de "onditas" Extraído de Traité de la lumière</i>	73

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 - Etapas de investigación</i>	15
<i>Tabla 2 - Características del experimento ilustrativo, discrepante y virtual</i>	46
<i>Tabla 3 - Códigos y fragmentos de respuesta - Fase de exploración (Actividad 1)</i>	48
<i>Tabla 4 - Códigos y fragmentos de respuesta - Fase de introducción (Actividades 2 y 3)</i>	51
<i>Tabla 5 -- Códigos y fragmentos de respuesta - Fase de estructuración (Actividades 2,3 y 4)</i>	54
<i>Tabla 6 - Códigos y fragmentos de respuesta - Fase de análisis</i>	58
<i>Tabla 7 - Transcripción de respuestas actividad 1</i>	84
<i>Tabla 8 - Transcripción de respuestas actividad 2</i>	85
<i>Tabla 9 - Transcripción de respuestas actividad 3</i>	88
<i>Tabla 10 - Transcripción de respuestas actividad 4</i>	92

LISTA DE DIAGRAMAS

<i>Diagrama 1 - Elaboración propia - Actividad experimental en la enseñanza de las ciencias</i>	25
<i>Diagrama 2 - Fases de la construcción de la secuencia didáctica</i>	42
<i>Diagrama 3 – Elaboración propia- Estructura secuencia didáctica de actividades en el aula</i>	47
<i>Diagrama 4 – resumen matriz de evaluación</i>	61

1. INTRODUCCIÓN

En el abordaje de la Óptica en secundaria se proponen por lo general estrategias descriptivas de enseñanza para el estudiante con el fin de evidenciar el comportamiento de la luz desde diferentes modelos teóricos (corpúscular y ondulatorio). Para autores como (Barquero, L. y Martínez, A.M 2010) en su libro: "Enseñanza de las Ciencias: un enfoque constructivista", la metodología explicativa detalla ejemplos concretos y herramientas útiles para guiar al estudiante a la comprensión de conceptos. Estas autoras resaltan la necesidad del desarrollo de prácticas experimentales para la consolidación de conceptos por parte del estudiante y así, de manera clara y precisa, aplicar lo que ha aprendido en nuevas situaciones.

Si bien la enseñanza de la luz se puede considerar conceptualmente enriquecedora desde el punto de vista científico, autores como (Collin y Viennot 2001) señalan la dificultad desde el punto de vista didáctico, que las estrategias descriptivas no resultan del todo efectivas a la hora de identificar el nivel de comprensión de los estudiantes en Óptica, debido al cambio conceptual que se genera en la enseñanza del modelo ondulatorio de la luz.

Si se analiza el papel que tuvo el fenómeno de la difracción en la formulación de las distintas teorías sobre la naturaleza de la luz y todos los intentos que se hicieron para explicarlo sin hacer abandono de la propagación rectilínea de la luz, no resulta extraño que hoy los alumnos tengan serias dificultades en el cambio de paradigma entre la Óptica geométrica y Óptica ondulatoria. Desde que fue observado el efecto de difracción por primera vez en las cuidadosas y detalladas experiencias de Francisco Grimaldi (1618-1663) y de Robert Hooke (1635-1703) en 1648, no pudo ser explicada del todo por la teoría ondulatoria de Christiaan Huygens (1629-1695) ni por la corpúscular de Sir Isaac Newton (1642-1727). En ese orden, se puede considerar la difracción como factor determinante en el desarrollo conceptual del modelo ondulatorio.

A través del siguiente trabajo se muestra una secuencia didáctica para la enseñanza del fenómeno de difracción por medio de: identificar el vínculo de la actividad experimental con la enseñanza de la ciencia; en este se desarrolla una discusión en torno al papel de la experimentación en la enseñanza de las ciencias desde un proceso de indagación sobre el punto de vista de los físicos clásicos, además, de resaltar autores contemporáneos vinculándolo con el diseño del experimento.

El diseño experimental implica realizar un estudio teórico riguroso desarrollado en el segundo capítulo. Con el fin de elegir apropiadamente las variables que se relacionan (en un fenómeno natural); es necesario hacer un repaso de aquellos aspectos, observaciones, inferencias, experimentos, preguntas y puntos de vista alrededor de la interpretación sobre la difracción.

En la parte final se hace referencia a la estructura de la secuencia didáctica de actividades experimentales. Construida e implementada bajo aspectos generales del aprendizaje por indagación; las guías proporcionan aspectos específicos que desarrolle una postura crítica y reflexiva en los estudiantes, orientándose hacia la comprensión del fenómeno de estudio; El análisis de resultados de las diferentes actividades fue validada por medio del análisis por contenido apoyándose además de una rúbrica de evaluación.

En síntesis, para un desarrollo conceptual satisfactorio hacia la comprensión del fenómeno de difracción, se requiere un análisis histórico, experimental y fenomenológico, que permita una comprensión profunda y precisa del fenómeno. Con lo mencionado anteriormente, las preguntas que guían la base teórica del presente trabajo son las siguientes:

- A. ¿Por qué la difracción de la luz validó el modelo ondulatorio?
- B. ¿Qué se debe tener en cuenta al momento de realizar una definición aproximada de difracción de la luz?
- C. ¿Qué se entiende por experimento como generador de conocimiento?

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la enseñanza de las ciencias el proceso de experimentación implica reproducir bajo ciertas condiciones y situaciones específicas algunos fenómenos, con el fin de fortalecer los procesos de indagación, reflexión e investigación con fundamento científico en los estudiantes. (Malagón Sánchez, Ayala Manrique y Sandoval Osorio 2013) el diseño experimental demanda una organización mediada por: experiencias, observación, evidencias, presupuestos teóricos, organización de datos, etc., hacia la comprensión conceptual y fenomenológica. Para Malagón et. al (2013) las cuestiones del experimento en la enseñanza de las ciencias se acuden a una serie de reflexiones epistemológicas que generan un mayor compromiso con el fenómeno, el carácter expositivo y constructivo del fenómeno se encuentra relacionado con la actividad experimental, sin embargo, hoy en día para la enseñanza de las ciencias se limita o se omite el papel de la experimentación a la verificación de modelos teóricos.

Roger Bacon (1220-1292) argumenta que la experimentación es esencial para la comprensión de la naturaleza, por lo tanto, la observación directa es más confiable que el conocimiento teórico. Sin embargo, diversas academias, investigadores y docentes se centran en la comprensión analítica de los fenómenos pasando por alto el propósito de la actividad experimental y potencial de esta como generadora de conocimiento; diversos autores documentan que la falta de profundización de la actividad experimental puede llevar a una interpretación alejada de los conceptos avalados por la comunidad científica.

Por otro lado, Malagón et. al (2013) en su artículo menciona la relación vigente entre la actividad experimental con algunas perspectivas del conocimiento científico, en este sentido, se logra un análisis y reflexión acerca de la enseñanza del fenómeno con la práctica experimental y con la construcción y comprensión de las fenomenologías en estudio, con ello, la ampliación y organización de la experiencia de los sujetos, así como con la formalización de relaciones y con la concreción de supuestos conceptuales.

Desde este punto de vista, es importante señalar que en la enseñanza de las Ciencias se requieren propuestas metodológicas y estrategias que tengan en cuenta el uso de un recurso experimental que articule la estrecha relación entre la teoría y la actividad experimental.

(Pérez Lozada y Falcón 2009) señalan que a la hora de abordar nuevos fenómenos en el aula es imprescindible utilizar diferentes tipologías de experimentación que permita al estudiante establecer hechos, manejo de datos y principios físicos para dar explicación al fenómeno observado a partir de evidencias propias que brinda la naturaleza. A partir de lo afirmado por los autores se advierte una problemática en llevar a cabo la implementación de actividades experimentales orientadas en el aprendizaje de Óptica.

Esta preocupación de acercar la experimentación en la enseñanza-aprendizaje de conceptos de Óptica se debe en gran parte a la escasez de materiales de laboratorio y espacios que permitan desarrollar la misma. (Falcón y Otros 2005) propone realizar montajes sencillos con materiales de bajo costo en colaboración docente-estudiante; el diseño de un material experimental de fácil construcción hoy en día es una importante herramienta en cuestión de la enseñanza de las Ciencias, y más si se implementa como recurso didáctico orientado en el aprendizaje de Óptica.

Así, el presente trabajo de investigación plantea el diseño de una secuencia didáctica para reconocer y manipular instrumentos, diseñar una secuencia de actividades experimentales, establecer una secuencia lógica dentro del aula que permita la observación, descripción y análisis del fenómeno de difracción de la luz, con el fin de relacionar la actividad experimental en la enseñanza del fenómeno de difracción de la luz inspirados en las explicaciones de Augustin Fresnel (1788-1827) y Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

Por tanto, surgen preguntas: ¿Cómo se enseña un fenómeno en el aula?, ¿Cómo logran interpretar y analizar los estudiantes la difracción de la luz?, ¿Cómo enseñar y construir el concepto de difracción por medio de la experimentación en el aula?, ¿Cómo comprenden los estudiantes el fenómeno de difracción de la luz?

Se encuentra que la información conceptual en libros de texto *Física universitaria, volumen I y II de Sears, Z.Y. y Física para ciencias e ingeniería con física moderna Serway, R.A.* de física, y otros textos de Física reconocidos a nivel general, centran la temática de manera analítica y carecen de una propuesta experimental alrededor del fenómeno. Entonces, ¿cómo los estudiantes se acercan más a la comprensión del fenómeno de difracción de la luz con actividades experimentales que conlleven el vínculo entre teoría y experimento?

Según el plan de estudios de Física en el Colegio Heladia Mejía el trabajo experimental establece la esencia misma de las Ciencias Naturales y Educación Ambiental,(...) de acuerdo al nivel de aproximación al estudio de las Ciencias Naturales y Educación Ambiental en cada etapa escolar (Secretaría de educación para grados 0 a 11 Educación Básica Primaria, Resolución 7527, 2003), Sin embargo, a la hora de abordar fenómenos naturales en el aula no se percibe un papel relevante de la actividad experimental para la construcción de conocimiento en los estudiantes.

Considerando lo anterior, la pregunta que orienta esta investigación es: **¿Cómo enseñar y construir el fenómeno de difracción de la luz por medio de la actividad experimental para la enseñanza de las ciencias dirigido a estudiantes de grado undécimo del Colegio Heladia Mejía IED?**

3. ANTECEDENTES

Para la construcción de antecedentes del presente trabajo se realizó una revisión de trabajos y artículos en los últimos años enfocados hacía tres aspectos: enseñanza de óptica en secundaria, abordaje del fenómeno de difracción en otras investigaciones y construcción conceptual de la difracción de la luz.

3.1 Investigaciones predecesoras en la enseñanza de la Óptica en secundaria

Los autores (Sotres Díaz 2009) y (Pérez Lozada y Falcón 2009) presentan en conjunto un diseño de actividades orientadas al aprendizaje de la Óptica. El primero, se destaca por

elaborar estructuralmente toda la temática de óptica orientada a un curso de nivel profesional; en su trabajo menciona la metodología histórico-experimental para establecer secuencias didácticas en: óptica geométrica, ondas mecánicas, óptica física desde una perspectiva epistemológica, histórica y de mejora significativa. El segundo, presenta prototipos experimentales para el aprendizaje de óptica por medio de materiales de bajo costo y elaborados con elementos caseros. La metodología de estos proyectos enriquece la propuesta de la investigación con el asesoramiento respecto al significado conceptual de determinado fenómeno óptico teniendo en cuenta los aspectos histórico, epistemológico, experimental y realizar una(s) actividad(es) a través de una guía de instrucción de apoyo alumno-docente.

3.2 Investigaciones predecesoras de secuencias/actividades para fenómenos ópticos

Los autores a continuación recogen reflexiones significativas respecto al proceso de construcción e implementación de actividades para la comprensión de fenómenos ópticos.

El autor (Díaz Perdonó 2017) propone la enseñanza de Óptica por una perspectiva cultural y parte de la pregunta ¿Por qué enseñar óptica en la escuela? Su investigación promueve una serie de actividades didácticas para establecer criterios comunes de comprensión de fenómenos ópticos en el aula. Además de tener en cuenta el escenario donde fue implementada la propuesta que, para los autores, es clave para generar un taller contextualizado.

(Galarza León 2021) realiza una investigación estructurada de la enseñanza de la Física desde enfoques didácticos. Aprovechando el escenario de práctica, surgieron cuestionamientos con tinte reflexivo; el objetivo del proyecto es acercar al estudiante a la comprensión del fenómeno del arcoíris por modelización. Lo destacado de esta propuesta investigativa es la elaboración de modelos explicativos de los estudiantes para referirse a cierto fenómeno en particular. ¿Cómo la autora expone la estrategia de enseñanza? dentro del diseño de la actividad propone la enseñanza basada en la modelización, comprendiéndola como un

proceso de construcción de conocimiento guiado para aproximar al estudiante por reproducción o imitación de un fenómeno.

(Aldana Boada y Hernández Sepúlveda 2020) realizan un estudio sobre explicaciones que se generan por conceptos previos y elaboración de experimentos para definir fenómenos de reflexión y refracción de la luz. La propuesta resalta la explicación de fenómenos por: contexto origen (revisión literaria hacia un enfoque teórico y poder referirse a los fenómenos ópticos mencionados con cierto bagaje teórico), descriptivo (naturaleza de la luz y definición de la Luz a través de la historia) y las actividades que permiten estructurar el proceso de construcción de conocimiento por discusión grupal.

Estos tres antecedentes se destacan sobre otros por establecer y reconocer el papel del estudiante para vincular ideas previas en relación con lo que se observa y se representa en experimentos, actividades, y propuestas de aula.

3.3 Investigaciones predecesoras de enseñanza del fenómeno de difracción

(Marín 2020) titulado: *“La enseñanza de la difracción a través de la modelación computacional: una apuesta por aprender ciencia sobre ciencia y a hacer ciencia, de la universidad de Antioquia”*. Esta investigación parte de una reflexión sobre la necesidad de la enseñanza a partir de una propuesta de principios del aprendizaje significativo y retos de la educación científica de (Hodson 1994), para facilitar el análisis del fenómeno de difracción en estudiantes de grado undécimo I.E.R Piedras Blancas. De este trabajo se destaca la propuesta didáctica implementada haciendo uso de la tipología de la experimentación virtual, generando actividades propias en la construcción del concepto y análisis fenomenológico.

(Tolosa Díaz 2016)titulado: *“Enseñanza de fenómenos de difracción e interferencia de la luz a partir de procesos experimentales, de la universidad nacional de Colombia sede Bogotá”*. La revisión del documento muestra la enseñanza de los fenómenos de interferencia y difracción de la luz con estudiantes de grado undécimo en la institución educativa Leónidas

Acuña con materiales propios de la región. Este trabajo menciona la posibilidad de la enseñanza de los fenómenos con habilidades de observación, manipulación y exploración de los fenómenos en mención por medio de talleres interactivos basados en el modelo MAA (método de aprendizaje activo). De esta investigación se resalta la necesidad en torno a un desarrollo didáctico de la experimentación en el aula.

(Lemus Rodríguez 2014) titulado: *“Propuesta de una estrategia didáctica para la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de interferencia y difracción de la luz, dirigida a estudiantes de grado once del colegio el Verjón”, de la universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.* En la revisión detallada del documento se refleja la dificultad que existe en los estudiantes del colegio el Verjón en la enseñanza de los conceptos de interferencia y difracción de la luz. La investigación propone el diseño de una estrategia didáctica para dos instituciones educativas de carácter urbano y rural, orientada a interpretar los conceptos de los fenómenos en mención en la que se busca realizar una evaluación constante para el análisis estadístico del impacto de la propuesta en el aula. La investigación propone la reflexión acerca de la necesidad de implementar una herramienta de evaluación continua que permita analizar el nivel de comprensión de los estudiantes cuando se hace un proceso de evaluación antes, durante y después por medio del análisis estadístico de la estrategia didáctica orientada en la comprensión de fenómenos de interferencia, difracción de la luz y el comportamiento ondulatorio de la luz.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Aproximar al estudiante hacia la comprensión del fenómeno de difracción de la luz para grado undécimo en el colegio Heladia Mejía IED destacando el vínculo de la actividad experimental con la enseñanza de las ciencias.

4.2 Objetivos Específicos

1. Indagar diversas fuentes bibliográficas que permitan identificar y analizar aspectos disciplinares, didácticos y pedagógicos para la comprensión del fenómeno de difracción de la luz.
2. Elaborar una secuencia lógica de actividades experimentales para la enseñanza del fenómeno de difracción de la luz acorde con la metodología de la institución.
3. Aplicar una secuencia didáctica que permita la comprensión del fenómeno de difracción de la luz por medio de montajes experimentales.
4. Elaborar una rúbrica de evaluación que permita ubicar a los estudiantes en diferentes procesos cognitivos para reflejar los resultados del trabajo de investigación.

ETAPAS DE INVESTIGACIÓN

La siguiente tabla sintetiza las etapas de investigación del trabajo; cada una de ellas esta planificada para cumplir el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación.

Tabla 1 - Etapas de investigación

ETAPA 1: Documentación	ETAPA 2: Sistematización	ETAPA 3: Diseño de actividades experimentales	ETAPA 4: Implementación y análisis de aprendizajes
Durante el desarrollo de esta etapa se busca estructurar saberes disciplinares y/o conceptuales de la temática en cuestión: modelo corpuscular, modelo ondulatorio, interferencia de ondas (constructiva y destructiva) y el estudio de difracción de Fresnel y Fraunhofer.	Observar dinámicas de enseñanza y estrategias metodológicas en el aula, conocimientos previos relacionados con la difracción de la luz, construcción del concepto de difracción y comprensión del fenómeno por parte de los estudiantes del Colegio Heladia Mejía.	Elaboración de la secuencia didáctica de la mano con montajes experimentales mediados a través del aprendizaje por indagación.	Evidenciar el aprendizaje de los estudiantes para determinar el nivel de desarrollo conceptual a partir de las actividades experimentales y las discusiones de aula. Conclusiones de la investigación y análisis de los resultados obtenidos.

5. UNA MIRADA FENOMENOLÓGICA A LA DIFRACCIÓN DE LA LUZ: INTERPRETACIONES HISTÓRICAS SOBRE LA DIFRACCIÓN

La postura teórica ondulatoria propuesta por Augustin Fresnel (1788-1827)¹ lleva alrededor de 200 años de aceptación en el ámbito científico, la cual, a partir del diseño de experimentos extremadamente rigurosos de la luz lo llevaron a razonamientos con el propósito de explicar la difracción. Sin embargo, se considera importante hacer una descripción del modelo corpuscular propuesto por Newton² la cuál fue hasta cierto instante, la más aceptada y válida para dar respuesta a la pregunta: **¿Puede explicarse la difracción desde el modelo corpuscular?**

Para dar respuesta a esta pregunta hay que discutir alrededor de las diferentes interpretaciones y numerosos montajes experimentales que se han desarrollado con el objetivo de poder describir y entender mejor la naturaleza de la luz.

Para Newton, esta será un chorro de partículas que interactúan y chocan con los objetos, según sus explicaciones las sombras de los cuerpos están bien definidas. Para Huygens la luz no se asemeja a una partícula, sino, que su comportamiento es similar al de ondas sonoras, y a partir de acá y en busca de su propia interpretación del fenómeno de difracción establece el principio que lleva su nombre: "Principio de Huygens".

Una explicación simplificada de este sería afirmar que cada uno de los puntos que podamos definir en un frente de onda se comportara como un frente de onda nuevo e independiente de los otros.

Luego aparece el matemático Fresnel, el cual sin tener conocimiento sobre el trabajo que ya estaba desarrollando Thomas Young (1773-1829) el cual también afirmaba que la luz

¹ Capítulo 5.3 Difracción de la luz por Augustin Fresnel, allí se describe con mayor profundidad las observaciones de Fresnel para describir lo que ocurre con la luz una vez interactúa con determinado obstáculo.

² Anexo A: La óptica de Sir Isaac Newton. Se describen brevemente los experimentos más relevantes para entender el comportamiento de la luz desde el modelo corpuscular; se enuncian las proposiciones y axiomas a partir del análisis a las observaciones de Newton.

era una onda, construye sus propios montajes experimentales partiendo de las interpretaciones de Isaac Newton y lleva estos experimentos hasta donde las limitaciones de su época se lo permitieron, dentro de estos, Fresnel logra identificar que la luz puede llegar a curvarse, es decir rodea sutilmente los cuerpos, como lo describe en su experimento de la hoja de afeitar, el cual consta de incidir un haz de luz en el borde de una cuchilla de afeitar muy afilada, luego se compara la trayectoria de la sombra proyectada con una línea perpendicular entre el obstáculo y la pantalla. Sin embargo, la comunidad científica demanda una mayor rigurosidad experimental y una evidencia más contundente para llegar a contradecir o cambiar la concepción construida por Newton.

5.1 CAPITULO I

EL VÍNCULO CON LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA. (EL ROL DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN EL AULA)

Una forma de dar argumentos para responder ¿cuál es el papel de la experimentación en las ciencias? tiene cimientos a lo largo de la historia. Es en este momento donde se podrá inferir a partir de la revisión histórica el papel protagónico de la actividad experimental desde el siglo XVII, donde la "Filosofía Experimental" era un término usado para una metodología en particular, donde Newton afirmaba:

"Cómo en las matemáticas, en la filosofía natural la investigación de las cosas difíciles ha de preceder siempre al método de composición. Este análisis consiste en realizar experimentos y observaciones, en sacar de ellos conclusiones generales por inducción y en no admitir otras objeciones en contra de esas conclusiones que aquellas salidas de los experimentos".

La gran obra de Los *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis* (1687) es quizás la más representativa e importante en la ciencia moderna, allí Newton caracteriza la ciencia empírica por combinación de rigor matemático y profunda reverencia por la naturaleza. El enfoque filosófico de Newton se basa en el método empírico y observación cuidadosa de la naturaleza, defiende una visión mecanicista del universo y transformó la manera en la que los

filósofos entendían la naturaleza, el universo junto con las leyes de movimiento e interacción gravitatoria.

Sin embargo, el análisis objetivo y revisión de su obra *Opticks* (1704), describe de una manera diferente sin entrar en detalle matemático salvo geometría básica, relata decenas de montajes experimentales realizando un estudio detallado sobre: la luz y el color buscando la relación de ambas con propiedades como reflexión y refracción.

En esta obra Newton refiere (explícitamente) la defensa del experimento como forma filosófica verdadera de conocimiento científico, es decir, la idea de que la observación y la experimentación son la base fundamental del conocimiento científico. En *Opticks* escribe:

“Mi diseño en este Libro no es explicar las Propiedades de la Luz por Hipótesis, sino proponerlas y probarlas por Razón y Experimentos”.

Para él, la ciencia debía basarse en observación y experimentación rigurosa (salvo que algunos experimentos no los repitió por el convencimiento de los resultados a partir de las circunstancias y variables en el diseño del experimento) y no especulación teórica, para estudiar la naturaleza de la luz y el color, argumenta como esencial el rol de la filosofía experimental para validar cualquier teoría científica; además de ser gran protagonista en promover la observación para no llevar a conclusiones erróneas.

En la parte I del libro III de *Opticks* se evidencia un enorme trabajo de Newton sobre la naturaleza de la luz. Allí, claramente avanzó hacia una definición de la luz completa con rigurosidad del caso y sobre todo dejando clara la postura fuerte de la experimentación. El método de análisis por experimentación a partir de observaciones es un punto fuerte para las “proposiciones” y “axiomas”, en general, esta manera establece mejor la proclamación de compuestos a causas y fenómenos que establecen su explicación de la luz. Newton afirma:

“Aunque los argumentos a partir de observaciones y experimentos por inducción no constituyan una demostración de conclusiones generales, con todo, es el mejor modo de argumentar que admite la naturaleza de las cosas y ha de considerarse tanto más fuerte cuanto más general sea la inducción.”

Contemporáneo a él se encuentra Huygens, en el libro *Treatise Un light In which are explained. The causes of that which occurs In reflexion,& in refraction. And particularly In the strange refraction Of iceland cristal* (1690) ³ defiende la idea de la ciencia como objetiva y se debe evitar algún tipo de sesgo o prejuicio, parte de esta afirmación tenía fundamento en la observación cuidadosa en pro de descubrir la verdad sobre la naturaleza y los experimentos para validar conocimiento. Él aplicó la filosofía experimental al estudio de la luz, utilizando experimentos para constatar la luz como onda y que este modelo podría explicar de mejor manera las propiedades de reflexión y refracción.

La comunidad científica ha variado el consenso general a lo que el experimento se refiere y cuán importante es para inducir leyes/principios válidos por la misma. A partir de la revisión a la obra de Huygens, se puede concluir que la forma de experimentar está ligada a la forma de pensar de quien experimenta. Su trabajo defiende en segmentos y se fía de análisis propuestos por René Descartes (1596-1650) (caso contrario de Newton) y su forma de pensar permite identificar el papel tan importante que juega el experimento en la ciencia. Así lo afirma (Acevedo Díaz 2008), en la investigación experimental: la observación y sistematización es el pilar para incluir formación de teorías con resultados experimentales en forma matemática (vía hipotético deductiva).

Augustin-Jean Fresnel es conocido por sus importantes contribuciones en el campo de la Óptica, en particular por sus estudios sobre la interferencia y la difracción de la luz. Fresnel fue uno de los primeros científicos en reconocer la importancia de combinar experimentación y teoría para comprender y explicar los fenómenos físicos; creía que la experimentación era crucial para el avance de la ciencia, y que los experimentos debían ser cuidadosamente diseñados y realizados para obtener resultados precisos y confiables. Él era un defensor de la medición precisa y rigurosa, y desarrolló varios métodos para medir y cuantificar fenómenos

³ Anexo B – Análisis histórico del comportamiento de la luz desde el modelo ondulatorio. Tratado de Huygens. Se hace un análisis a las afirmaciones de Huygens y como el modelo ondulatorio es fundamental en la comprensión del fenómeno de difracción

ópticos. Además, creía que la experimentación debía estar estrechamente ligada a la teoría, y que la teoría y la experimentación debían ser utilizadas conjuntamente para avanzar en el conocimiento científico. Él trabajó en estrecha colaboración con otros científicos, como Dominique François Jean Arago (1786-1853), para combinar la teoría y la experimentación en sus investigaciones.

En general, la actividad experimental ha sido fundamental para la comunidad científica a lo largo de la historia. Ha sido un medio esencial para descubrir y validar el conocimiento científico, en pro de diseñar modelos que mejoren la comprensión de la naturaleza y del universo. Sin embargo, la experimentación como herramienta reflexiva en el aula se orienta hacia un enfoque de trabajo netamente práctico, reduciendo el rol de la actividad experimental como generadora de conocimiento. Entonces: **¿La experimentación en la comunidad científica y el rol de la actividad experimental en la enseñanza de las Ciencias tendrán el mismo carácter/validez en la construcción de conocimiento?**

(Hodson 1994) cree que los estudiantes aprenden mejor cuando están involucrados activamente en la resolución de problemas y en la exploración de ideas, en lugar de simplemente escuchar y memorizar información. La experimentación en el aula les da a los estudiantes la oportunidad de aplicar conceptos teóricos a situaciones prácticas y ver cómo funcionan en la vida real. Además, cree que la experimentación en el aula también fomenta la curiosidad y la creatividad, y ayuda a los estudiantes a desarrollar habilidades críticas y de pensamiento lógico. Al permitir que los estudiantes experimenten, exploran y descubran, pueden aprender a hacer preguntas, a investigar y analizar los resultados de sus experimentos para sacar conclusiones.

Cabe aclarar que Hodson específicamente menciona que lo enriquecedor de los experimentos para la enseñanza no es el desarrollo de habilidades de motricidad fina que se requieren para la construcción de cada montaje o el desarrollo de materiales para construir dichos montajes, tampoco el aprender a hacer a la perfección un experimento en específico, el

enfatisa que lo enriquecedor de la experimentación entonces, será la forma en que se promueve la capacidad de análisis y pensamiento crítico en los estudiantes, la creatividad y la forma en la que se puede inferir información de una experiencia dada y mediante la observación, son estas habilidades según él, las que generan un impacto positivo en el aprendizaje por medio de la metodología experimental.

El sentido del papel de la experimentación dentro de esta investigación se interpola específicamente del pensamiento de los autores y científicos cruciales para la concepción del fenómeno de difracción. La actividad experimental tendrá esencia en la observación y construcción de hipótesis, donde el valor real del experimento debe tener una planificación filosófica (el propósito de la práctica) y pedagógico (nivel de apropiación de conocimiento en el estudiante) y facilitar el desarrollo conceptual en el mismo. Por lo tanto, el papel de la experimentación será eje fundamental para presentar herramientas a los estudiantes permitiendo la construcción de hipótesis a partir de la observación y el pensamiento crítico dentro del aula.

De acuerdo con (Acevedo Díaz 2008) su trabajo consolida la reflexión en la comunidad de educadores de ciencias el término de naturaleza de las ciencias (NdC); término que hace alusión a la Filosofía, Historia y Sociología de las ciencias y pone en manifiesto consideraciones didácticas de las ciencias a partir de cuestiones como: ¿Qué es la ciencia?, ¿Cómo se construye, valida y difunde el conocimiento que produce?, ¿De qué manera se relaciona la ciencia con la sociedad?, estos componentes son claves para una renovación en la enseñanza de la NdC.

¿Por qué es tan importante la NdC para el currículo de ciencias? para (Acevedo Díaz 2008) la NdC está llamando la atención por generar una visión adecuada de las ciencias en la educación científica y lo confirma (Driver y Otros 1996) con los beneficios que precisa la NdC en la vida cotidiana.

- A. **Utilitarista.** La comprensión de la NdC es un requisito para tener cierta idea de la ciencia y manejar objetos y procesos tecnológicos de la vida cotidiana.
- B. **Democrática.** La comprensión de la NdC hace falta para analizar y tomar decisiones bien informadas en cuestiones tecnocientíficas con interés social.
- C. **Cultural.** La comprensión de la NdC es necesaria para apreciar el valor de la ciencia como un elemento importante de la cultura contemporánea.
- D. **Axiológica.** La comprensión de la NdC ayuda a entender mejor las normas y valores de la comunidad científica que contienen compromisos éticos con un valor general para la sociedad.
- E. **Docente.** La comprensión de la NdC facilita el aprendizaje de los contenidos de las materias científicas y el consiguiente cambio conceptual (Driver et ál, 1996: 134)

Probablemente idealizar la enseñanza de las ciencias por medio de NdC lleve a conflictos y dificultades de implementación que podrían afectar la implementación efectiva de contenidos científicos. La formación del profesorado para la enseñanza de NdC siguiendo a (Acevedo Díaz 2008) debe conciliar las dificultades en la implementación de la NdC por medio del conocimiento didáctico del contenido.

De esta manera, no se encasilla al profesorado en un plan de estudio de temáticas y reflexiones únicos, permite la apropiación social de estudios relativos de un enfoque explícito y reflexivo en distintos ambientes de aprendizaje (con base en Historia o Filosofía de la ciencia, Laboratorios, solución de situaciones analíticas y problemáticas, cuestionamientos, etc.)

¿Cuál es la relación entre NdC y la experimentación en educación en ciencias?

Para Malagón et. al (2013) la reflexión en torno a la NdC genera un espacio interesante y fructífero que constituye la esencia de clase en ciencias, donde la experimentación es especial y adquiere un rol relevante en el vínculo teorización-experimentación-implementación en la misma.

Si bien en el proceso de enseñanza se asume un consenso válido de catalogar a la experimentación como medida de recurso didáctico, Malagón et. al (2013) defiende que va mucho más allá. Siendo la actividad experimental la de mayor eficacia al momento de construir las explicaciones a los fenómenos naturales y este modelo responde a la comprobación y refutación de teorías científicas.

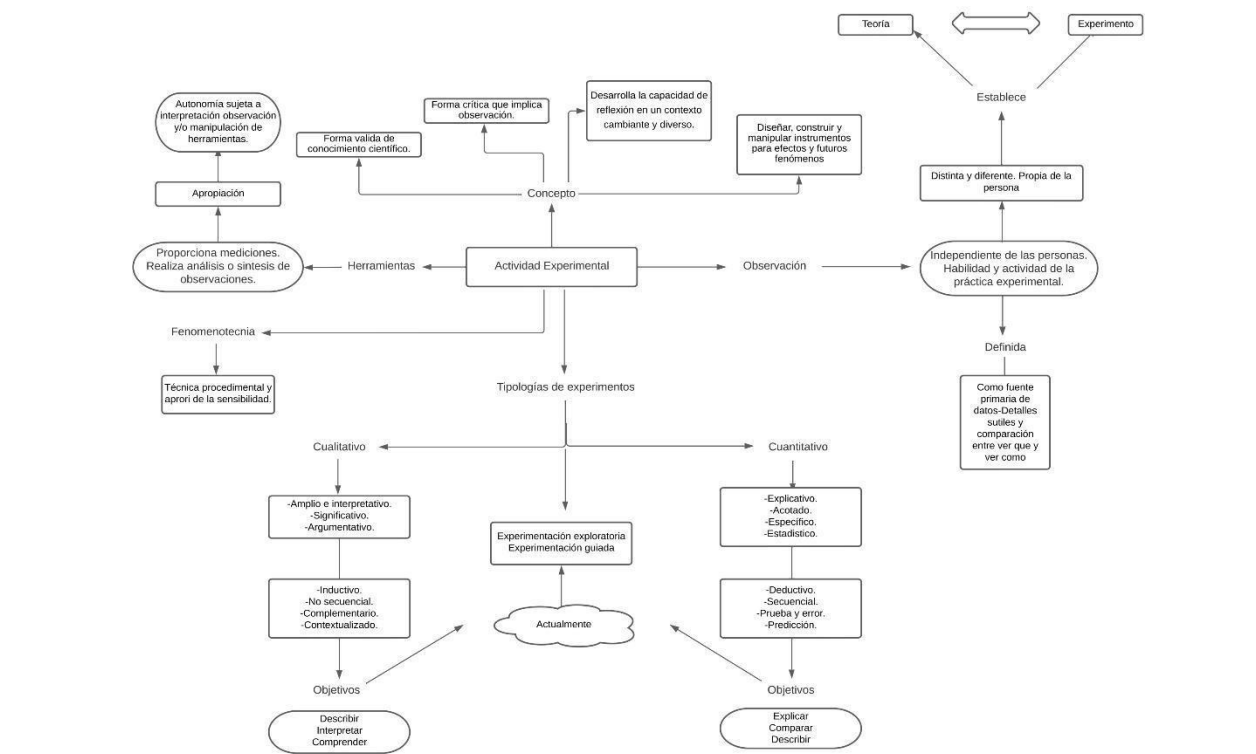
Complementariamente se asume que para la mayoría de los currículos de ciencia (sin entrar en detalle estructural) constata que en todos los niveles de aprendizaje se asume vínculo entre experimentación-conceptos-leyes y principios. Malagón et. al (2013) según lo anterior, el papel que juega la experimentación en la comunidad científica y en el aula, tienen el mismo carácter. La relación existente es cada vez más elaborada y de hecho, los procedimientos, técnicas y diseños experimentales implementados en el aula han articulado de manera estructurada la práctica con teoría, afirmando, que pueden trabajar en la misma vía y no independiente una de la otra; dando así cierta dimensión y aceptación en relación al rol de la actividad experimental.

Durante varios años se ha dicho bastante acerca del acercamiento que debe tener el estudiante hacia el conocimiento válido por la comunidad científica o lo más próximo. El maestro debe generar estrategias al estudiante a partir de: preconceptos, pre teorías, ideas previas, concepciones, etc. Uno de los factores determinantes para fundamentar la acción pedagógica es vincular el conocimiento científico con el sentido común. Siguiendo a Malagón et. al (2013) se debe generar espacios en el aula posibles para organizar la experiencia, enriquecer el sentido común a través de interacción con los planteamientos científicos e insistir a partir de comparaciones hacia el producto de conocimiento por el intercambio entre estudiante y maestro con planteamientos científicos, culturales y mundo físico que tengan acceso (ambiente de las ciencias).

(Pozo Municio y Gómez Crespo 1998) plantean un problema de acuerdo con lo mencionado anteriormente, lo que significa ambiente de las ciencias y establecer nexos entre el

conocimiento científico y sentido común. En Aprender y Enseñar Ciencia (2009) la crisis de la educación científica: detalla con dificultad conceptual el aprendizaje de ciencias causado por el escaso control metacognitivo alcanzado por los alumnos sobre procesos de mecanización y de actividades (experimentales, situaciones problema cuantitativos y cualitativos) cuando se utilizan de forma masiva y descontextualizada. (Mantyla 2006) propone recontextualizar y analizar la forma en la que se genera conocimiento y el significado teórico en el aula a partir de la necesidad de considerar el papel del experimento en la ruta de aprendizaje y así no generar limitaciones y mitigar los problemas planteados de modo que pueda desarrollarse la capacidad de reflexión en un contexto cambiante y de diversidad experimental.

En conclusión, el siguiente esquema elaborado a partir de una organización cuidadosa, sucinta de forma general lo mencionado por (Ferreirós y Ordóñez 2002) que caracteriza la actividad experimental desde lo que se observa, la función del instrumento, las herramientas y dos categorías generales de las tipologías experimentales para la enseñanza de las ciencias.



5.2 CAPÍTULO II

CONSTRUCCIÓN FENOMENOLÓGICA DE LA DIFRACCIÓN DE LA LUZ.

5.2 Los anillos de Newton – Primer fenómeno de interferencia

Se describirán brevemente las observaciones que realizó (Newton, Óptica o tratado DF las reflexiones refracciones inflexiones y colores de la luz Introducción, Traducción, Notas e índice Analítico 1977) en el Libro II, Parte I dejando claro que él llegó tan lejos como pudo y lo permitió la tecnología de su época. Pocas veces un científico concede tanta importancia a la estructura y metodología de conocimiento científico por medio de la experimentación. Sus aportes a la teoría corpuscular de la luz son hasta hoy en día, teorías para muchos científicos en la actualidad y da pie a la interpretación de su obra.

En las **obs. 1,2,3 y 4** dispone de dos primas paralelamente ubicados de tal forma que por alguno de los lados se tocasen en alguna parte, formándose allí una pieza continua de cristal semitransparente (distancia extremadamente pequeña de dos prismas).

Hace incidir la luz hacia el cristal semitransparente, refractando el haz de luz sobre la lámina y refleja hacia una superficie plana una "mancha negra u oscura" a lo que Newton afirma: *parece que muy poca o ninguna luz parece reflejarse allí*. Esto supone, que el patrón que observó en la pantalla de centro "oscuro" es efectivamente color negro, o una mancha negra. Esta mancha negra era casi imperceptible a simple vista, entonces, utilizó un ocular para observar la "mancha" que se proyectaba en la pantalla observando un espacio periódico entre anillos oscuros.

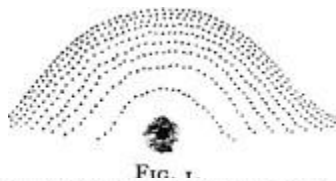


Figura 1 – Patrón de interferencia Libro II parte I – Tomado de Opticks

Cuando rota los prismas, la luz incide de forma algo desviada respecto a una línea de referencia (90°), de modo que comienza a aparecer más arcos que terminan de formar anillos, entre más inclina los primas, más anillos blancos y negros se produce en la pantalla.

Al variar la inclinación del punto de mira, los diámetros y grosores para cada ángulo de incidencia es proporcional a la anchura y aumento del radio entre prismas. Si la descomposición de luz blanca por un prisma produce colores primarios, **¿Por qué en ningún experimento menciona el color negro en las proyecciones en las pantallas?**

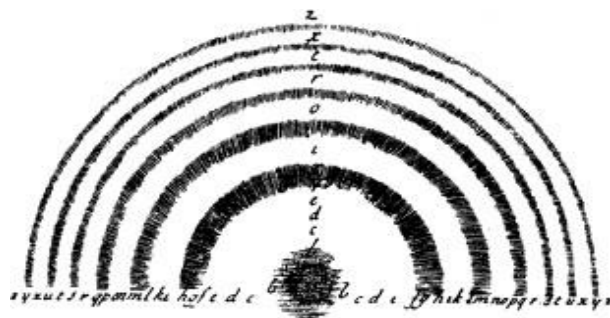
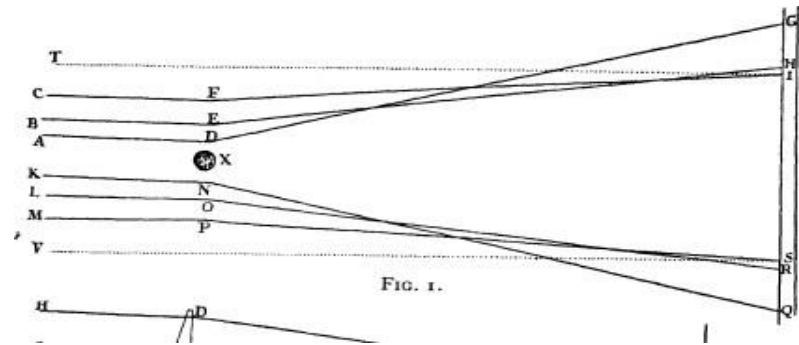


FIG. 2.

Figura 2 - Anillos de Newton Libro II parte I – Tomado de Opticks

Newton brillantemente altera las variables de los montajes experimentales alterando el medio de propagación de la luz. Para obtener características de los anillos formados en la pantalla, utiliza aire y agua para determinar el diámetro y grosor para cada ángulo de incidencia en los anillos (teniendo en cuenta el grado de inclinación del ocular).

diversos precedentes para evitar formular la propiedad de rayo de luz similar a las vibraciones longitudinales.



La luz transmitida en diferentes superficies no tendrá efecto en la observación de colores, cada color reflejará un anillo por puntos equidistantes que depende del ángulo de observación e inclinación del ocular del rayo inicial transmitido a la pantalla. Sin embargo, un

Figura 4 – Inflexión de la luz libro III parte I – Tomado de Opticks

polarizador controla la dirección de la luz. Así, permite orientar el haz de luz en una dirección específica y permite orientar todo corpúsculo que vibra en otras direcciones. De este modo, los fenómenos de refracción y reflexión de la luz que eran explicados como corpúsculo no podrían explicar el fenómeno de anillos. El polarizador "bloquea" los rayos que se desvían hacia una superficie y podría explicar la interferencia de rayos responsable del patrón de anillos. La explicación corpuscular dada por Newton no queda del todo clara en lo que se refiere al patrón de interferencia que el obtuvo en los experimentos, debido a que si se hace incidir un rayo de luz hacia un agujero de diámetro variable, se esperaría según el modelo corpuscular, la proyección de un punto en una pantalla, sin embargo, lo que sucede es el patrón de difracción de los rayos incidentes con interferencia de rayos de luz y no concuerda con la explicación de corpúsculo, lo cual da pie para mencionar lo expuesto en su libro III, parte I.

Desencuentro entre las observaciones relativas de inflexiones de rayos en objetos delgados (inflexión de la luz)

La inflexión de la luz es el término utilizado por Newton al referirse a la difracción de la luz. En esta parte, se describirá brevemente el libro III parte I las afirmaciones en general realizadas por Newton debido a las observaciones contradictorias de sus experimentos. Allí, comenta el fenómeno "extraño" que cuenta Grimaldi: un rayo de luz próximo al borde de un objeto delgado desvía la trayectoria causando patrones de sombra inusuales. Estas sombras situadas serán mayores de lo que deberían ser y pasan bordeando los cuerpos en línea recta.

Crea un agujero con un alfiler en un trozo de plomo, dejando pasar un haz de luz observando que: las sombras de cabellos, hilos y alfileres producen una sombra más ancha de lo esperada. Prosigue a variar la distancia del objeto dejando fija la pantalla y el trozo de plomo. Al variar la distancia del objeto respecto a la pantalla el patrón de difracción era mayor. Sin embargo, los gráficos denotan cierta inconsistencia comenzando por el trazo de desviación de los rayos.

Si bien ya era conocida la posible relación entre la propagación de la luz similar a las ondas sonoras, donde las ondas sonoras producen vibraciones capaces de rodear objetos, la desviación de los rayos de luz sobre aberturas muy pequeñas supone la desviación de rayos hacia dentro y no hacia afuera (razón válida para Newton en renunciar a la teoría ondulatoria de la luz).

Llegando a las afirmaciones de las observaciones 1 y 2: La sombra que produce los hilos ubicados a una distancia variable es efecto no de la refracción del aire sino de la acción a medida que aumenta la distancia. Por lo que, las sombras bordeadas a la banda de sombra agrandada se atribuyen a "imperfecciones de los espejos u objeto".

¿Por qué Newton atribuye la sombra inusual a las imperfecciones del objeto?

En la última etapa de su investigación realiza el siguiente cuestionamiento en la parte I del libro III "Cuest. 25: *¿No tienen los rayos de luz otras propiedades originales, aparte de las descritas?*". Huygens en su libro *De la Lumière*, realiza experimentos sobre un cristal de

Islandia en la que propone que los ángulos sobre objetos ligeros como el cristal u ámbar, sea una superficie refractante asume una desviación ordinaria según la orientación relativa del cristal. Es decir, si los cristales utilizados para explicar propiedades de la luz como reflexión y refracción de la luz fueran válidas para la teoría ondulatoria, se esperaría que dos o tres cristales ubicados de manera paralela corresponde a una refracción usual, lo cual, no sucede.

Figura 5 –Desviación de un rayo de luz por un prisma libro III Part I – Tomado de Opticks

En el cristal de Islandia se produce una desviación inusual en todos los ángulos incidentes.

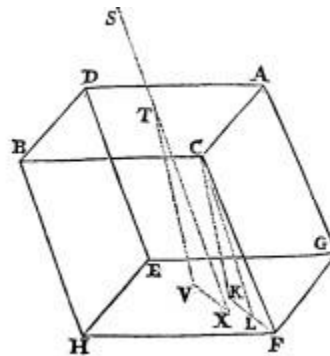


FIG. 4.

En esta analogía Newton asume claramente la postura firme del corpúsculo como modelo a explicar la naturaleza de la luz. Sin embargo, sus observaciones para la difracción eran erróneas debido a que la inflexión de la luz (al igual que el sonido) supone bordear objetos causando desviaciones hacia dentro de la pantalla, las observaciones de Newton para la luz confirman que la luz: **no bordea objetos.**

5.3 AUGUSTIN FRESNEL – DIFRACCIÓN DE LA LUZ POR AUGUSTIN FRESNEL

El matemático Augustin Fresnel Reconocido por su trabajo en el campo de la óptica, más específicamente con las lentes, también realizó un detallado trabajo experimental alrededor del comportamiento de la luz, apoyándose en el modelo ondulatorio desarrollado por Huygens, el realizó y modificó algunos de los montajes propuestos por Newton y por Huygens llegando a unas conclusiones muy precisas.

Fresnel nos habla de que él concibe la luz de una manera diferente a la que describe Newton, es más, él dice que por alguna extraña razón Newton decide omitir y/o descartar algunas de sus observaciones pues para él sería imposible que un observador tan habilidoso como lo era Newton pudiera dejar pasar los patrones de interferencia generados por la luz.

Una de estas conclusiones es que la luz rodea los objetos, y no solo esto, sino que, además, describe que lo hace de una forma muy particular, no lo hace de forma “lineal” proyectando una sombra, si no que describe una ligera curva que es proporcional a la distancia del objeto que produce la sombra y la pantalla donde esta se va a proyectar. Sus observaciones y tomas de datos realizadas con el montaje experimental son muy detalladas y además respalda esto diciendo: “El efecto es algo real, no es posible que yo cometa un error de tal magnitud, ni tampoco tener un margen de error de esas proporciones, por lo tanto, llego a la conclusión de que este comportamiento es un hecho”.

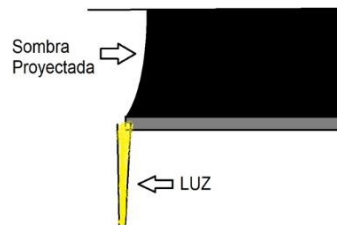


Figura 6 Elaboración propia - Desviación sutil de la luz al chocar con un obstáculo (El efecto se exagera un poco en el siguiente grafico con el fin de entender fácilmente a lo que se refiere Fresnel con la desviación de la luz)

Otro detalle importante sobre los montajes experimentales que él realiza es el uso de una hoja de afeitar muy delgada y contra uno de sus bordes afilados incidir un haz de luz, esto con el fin de desmentir que la desviación de la luz se podría llegar a dar por un mal corte transversal del material, en una cuchilla de borde afilado este defecto seria mínimo si no nulo, afirma el científico, con esto logró observar que como lo suponía en un principio la desviación de la luz era la misma por lo que este comportamiento no era causado por un defecto del obstáculo como le refutaban algunos otros científicos de su época.

En el campo de la emisión de luz, aparentemente nada debería ser más sencillo que el fenómeno de las sombras, especialmente cuando la fuente de luz se reduce a un simple punto luminoso. Sin embargo, resulta ser increíblemente complejo.

Los bordes de las sombras no son nítidos. Cuando se utiliza luz blanca, se observan franjas de colores en el borde de la sombra en el área iluminada. En cambio, con luz monocromática, se presentan bandas oscuras y brillantes alternadas en el lado iluminado. Fresnel define como 'franjas exteriores' aquellas que aparecen en el lado claro, y 'franjas interiores' a las que se manifiestan en la sombra geométrica, es decir, la sombra que se formaría si la luz se moviera en línea recta sin desviarse.

Fresnel menciona que utiliza una lupa en lugar de una pantalla para examinar la formación de los bordes, lo que le brinda mayor libertad de observación en diferentes posiciones en el espacio y mayor precisión en las mediciones. Mide la posición de los bordes producidos por el borde recto de un objeto opaco. Señala que una ley basada en los supuestos de Newton no coincide con la experiencia, mientras que una ley deducida de la teoría de las ondas se acerca más a las observaciones.

Por lo tanto, vemos que la hipótesis de las condensaciones y dilataciones causadas por la interacción de los objetos con los rayos de luz no es suficiente para explicar los fenómenos de difracción. Por el contrario, al emplear el principio de interferencia, podemos comprender no solo las variaciones de anchura que experimentan las franjas exteriores al acercar o alejar la pantalla de la fuente de luz, sino también la forma curva de las franjas oscuras y brillantes.

Para introducir la teoría de la interferencia, Fresnel cita a Grimaldi, quien fue el primero en reconocer la interacción de los rayos de luz entre sí. Menciona la famosa experiencia de las dos rendijas llevada a cabo por el profesor Thomas Young. También comenta sus propias experiencias relacionadas con la interferencia, como el uso de dos espejos dispuestos en un ángulo amplio que generan dos imágenes de la misma fuente de luz, así como la observación de la sombra de un objeto estrecho en el borde rectilíneo de una pantalla opaca.

En cuanto a sus experimentos con los diferentes colores de la luz, logra obtener relaciones de: interferencia, intensidad, forma, comportamiento y distancia entre el objeto que produce las sombras (cuchillas de afeitar, placas de metal, rejillas con diferentes disposiciones de aberturas) con la superficie en la que se va a proyectar la sombra, además también dependerán del color(longitud de onda) del haz de luz que choca con el objeto, siendo para él, más evidente el patrón de franjas que produce el color rojo (más evidente quiere decir que genera un mayor espacio entre las franjas iluminadas y por lo tanto más visible al ojo humano) y menos evidente con los colores opuestos a este (Azul, Violeta, Morado, Etc.).

NUMÉROS des observations.	DISTANCE du point lumineux au corps opaque.	DISTANCE du corps opaque au micromètre.	INTERVALLE compris entre le bord de l'ombre géométrique et le milieu de la bande obscure du quatrième ordre.
1.	m. 0,1000.	m. 0,7985.	mm. 5,96.
2.	0,510.	1,005.	3,84.
3.	1,011.	0,996.	3,12.
4.	2,008.	0,999.	2,71.
5.	3,018.	1,003.	2,56.
6.	4,507.	1,018.	2,49.
7.	6,007.	0,999.	2,40.

Figura 7 (Tabla de datos referente a las longitudes de las franjas de alguno de los patrones de interferencia registrados por Fresnel rescatada del libro MÉMOIRE sur LA DIFFRACTION DE LA LUMIÈRE por Agustín Fresnel).

5.4 CAPÍTULO III – DIFRACCIÓN DE LA LUZ

La difracción de la luz ocurre cuando un foco de luz monocromática atraviesa un agujero cuyo tamaño sea del orden similar o igual que la longitud de onda, este foco que incide sobre el agujero, actúa como foco de emisor de ondas (esféricas/cilíndricas que dependen de la forma de rejilla) y produce un patrón de luz y sombra a cierta distancia de la rejilla con el agujero. Sin embargo, es importante recordar razonamientos y experimentos que llevaron a la definición del fenómeno de difracción desde el siglo XVII.

5.4.1 Preámbulo histórico

El término difracción fue un concepto enunciado por Francisco Grimaldi (1665), encontrando un efecto válido para inclinar la balanza hacia el modelo ondulatorio. El encontró experimentalmente que los rayos de luz se desvían de su trayectoria rectilínea al pasar cerca al borde de un objeto. Él observó el paso de luz por una ranura muy pequeña, registró la transición progresiva entre luz y sombra y no abrupta como se esperaba. Los resultados de Grimaldi no fueron publicados sino tiempo después de su muerte. Una vez fueron publicados, se percataron que las observaciones no eran del todo convincentes debido a la falta de claridad en sus experimentos al usar una fuente de luz no tan clara. De manejar una fuente de luz con mejor claridad, pudo haber desarrollado aún más las observaciones en sus experimentos y enunciar de mejor manera la aparición de esas franjas inusuales de sombra que correspondieran a la geometría de la abertura. Sin embargo, logró expresar correctamente una propiedad que, hasta en ese entonces, era desconocida y permite concluir que la noción de rayo no era suficiente para explicar las propiedades ya conocidas como reflexión y refracción de la luz. Dando, así como un primer enunciado en su libro (*La Propositio I Physicomathesis de lumine, coloribus et iride*):

"Existe un cuarto modo de propagación de la luz, la propagación por difracción, distinta de los tres modos conocidos hasta ahora: propagación directa, reflexión y refracción"

Simultáneo a Grimaldi, Robert Boyle (1624-1691) y Robert Hooke describen el fenómeno de interferencia (haciendo alusión a los anillos de Newton) donde, describen la luz como onda y enuncian la propagación de la luz similar al movimiento en un estanque de agua que es golpeada por una piedra (ondas).

Hooke describe importantes contribuciones en torno a la propagación de la luz y fue el primero en adoptar un punto de vista ondulatorio; él propone que la luz viaja por vibraciones que se propagan instantáneamente (opinión diferente a la de Huygens que afirma que es extremadamente grande pero lejos de ser instantánea) y recorre distancias muy grandes.

Además de describir que la luz del Sol refleja patrones de sombras si se observa meticulosamente la geometría de los objetos, y de forma correcta, atribuye la interferencia a los eventos naturales como: alas de insectos, pompas de jabón, películas de aceite en agua. A diferencia de Huygens, las vibraciones de la luz se propagan uniformemente, perpendiculares a la dirección de propagación (primer indicio de ondas transversales).

Thomas Young décadas después realiza un trabajo experimental donde interpreta de manera diferente los fenómenos de interferencia y difracción de la luz. Para Young, el principio de interferencia surge como hipótesis a la superposición de ondas (haciendo alusión a las ondas de agua que crecen o se cancelan cuando interactúan entre sí). Para corroborar esta hipótesis realiza el famoso experimento de la doble rendija. Este trabajo experimental consta de incidir un rayo de luz hacia una rendija causando una difracción al salir de la misma, y sobre esta difracción incide una segunda rendija con doble abertura en donde se esparce, interfieren e inciden sobre una pantalla y se observa una imagen inusual formada por zonas de sombra progresivas (patrón de interferencia).

Llegando a la conclusión en 1802 en *Philosophical Transactions* donde (Carreras Béjar y Yuste Llandres 2015) lo interpretan de la siguiente manera:

"Cuando dos partes de la misma luz alcanzan el ojo por dos caminos diferentes de direcciones muy próximas, la intensidad es máxima si la diferencia de los caminos recorridos es múltiplo de una cierta longitud de onda y mínima en el estado intermedio":

El experimento arrojó resultados interesantes y puso en evidencia la difracción de la luz como propiedad única del modelo ondulatorio de la luz, además de obtener un patrón de interferencia y la posibilidad de establecer las zonas de intensidad máxima y mínima del patrón de difracción e interferencia bajo las condiciones experimentales establecidas.

5.4.2 PRINCIPIO DE HUYGENS

El principio de Huygens describe la propagación de ondas a través del medio, explicando que cada punto del frente de onda primario se comportará como un nuevo foco de

emisión de onda. Estos frentes de onda secundarios interactúan entre sí generando un nuevo frente de onda al cual Huygens denomina "envolvente"; en otras palabras, el frente de onda envolvente es el resultado de los infinitos frentes de onda generados que se combinan en un instante.

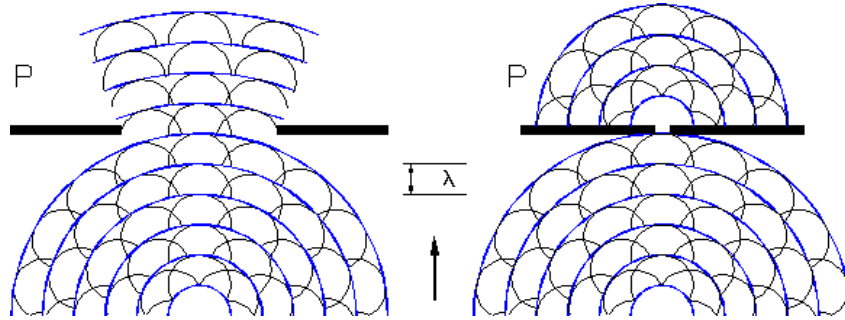


Figura 8 – Rescatada de

<https://docplayer.es/69467173-Unidad-8-j-m-l-c-chena-ies-aguilar-y-cano-vibraciones-y-ondas-movimiento-ondulatio.html> Construcción de la envolvente inmediata de una perturbación lumínica

Por medio del principio de Huygens se puede explicar el cambio del frente de onda envolvente al atravesar una rejilla. En la figura 8 se observa que, si la abertura de la rejilla es mucho mayor en relación con la longitud de onda, el frente de onda envolvente no presenta un cambio significativo; sin embargo, cuando la abertura de la rejilla es del orden o cercano a la magnitud de la longitud de onda, la envolvente se transforma después de atravesar la misma causando un cambio en su propagación.

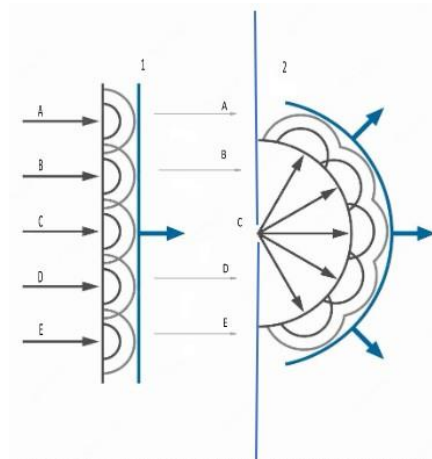
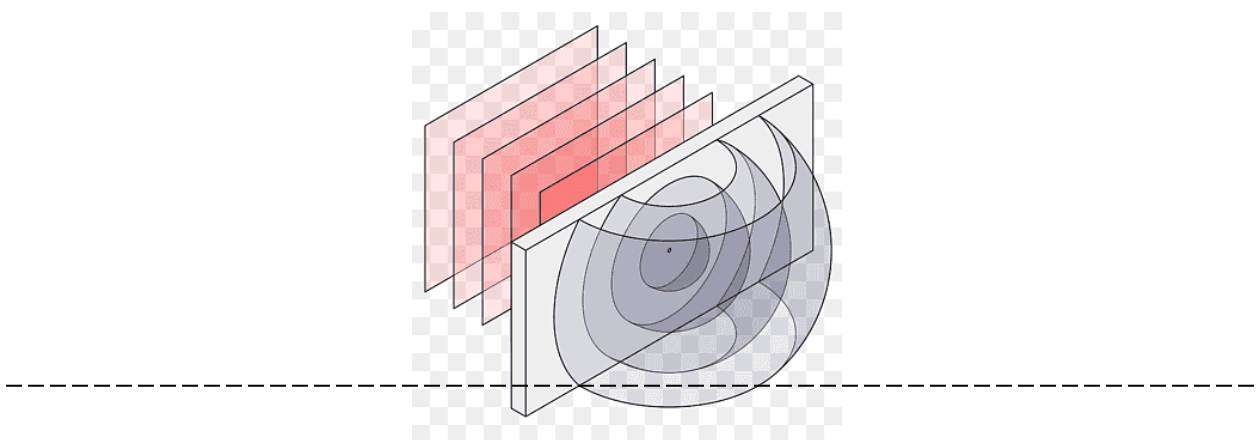


Figura 9 – Elaboración propia - Cambio en la envolvente de un frente de onda plano a circular

Relacionando lo expuesto por Huygens para el caso de un frente de onda plano (por ejemplo, una fuente de luz como el láser) se podría inferir entonces que el frente de onda envolvente se verá alterado al incidir sobre una rejilla cuyo tamaño sea similar o del orden de la longitud de onda. Si suponemos un frente de onda plano (1), donde los puntos A,B, C, D y E se propagan con la misma velocidad de manera que a cierto intervalo de tiempo alcancen los puntos A', B', C', D' y E' la envolvente respectiva para este caso no supondría un cambio en su propagación, de igual forma, la envolvente se puede reconstruir en un instante superior como una onda plana (2). Sin embargo, si la propagación se ve afectada por una abertura, las ondas secundarias (según este principio) tendrá una nueva perturbación en todas las direcciones, de tal manera, que se combinan alterando la propagación del frente de onda plano por un frente de onda circular.

5.4.3 PRINCIPIO DE HUYGENS - FRESNEL

Este principio establecido por Fresnel es el complemento del principio de Huygens. El cual, modifica la definición de la envolvente del nuevo frente de onda por una sucesión de ondas primarias que se propagan en un instante t , donde interactúan las ondas secundarias entre sí para aparecer en un instante t posterior nuevos frentes de onda que, a su vez, supondría la generación de "onditas" con frentes de onda semiesféricas que se superponen e interfieren para reformar el nuevo frente de onda.



5.4.4 RED DE DIFRACCIÓN – DIFRACCIÓN DE FRAUNHOFER

Un láser considerado fuente emisora de luz monocromática que se propaga en dirección hacia una red de difracción (múltiples ranuras separadas entre sí del orden de longitud de onda, es decir, a distancias muy pequeñas), las aberturas (según el principio de Huygens - Fresnel) se convierten en nuevos focos de emisión como se representa en la figura 11. Por lo tanto, se obtendrá el fenómeno de **DIFRACCIÓN** más **INTERFERENCIA** que dependerá principalmente de la distancia de las rejillas (d a a)

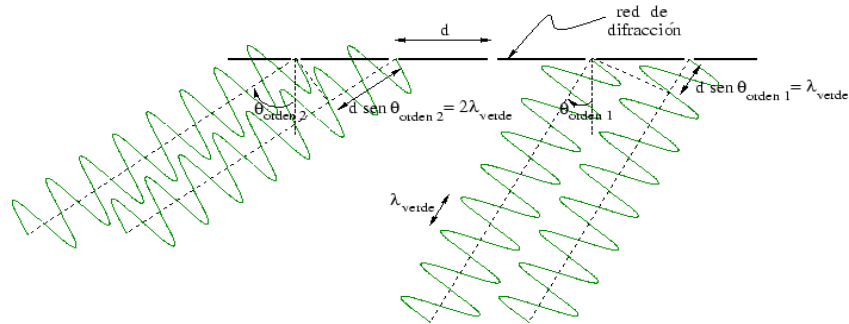


Figura 11 – Focos de emisión en una rejilla de 4 aberturas Rescatado de <https://www.unirioja.es/dptos/dq/fa/emo/amplia/node1.html>

d = distancia entre aberturas

a = tamaño de la aberturas

Suponiendo que la onda plana de luz monocromática incide perpendicularmente sobre la rejilla, esta actuará como una fuente puntal donde la luz se propaga en todas las direcciones. Si suponemos una red de difracción compuesta por 4 aberturas, el rayo de luz una vez atraviese las mismas, se difractará causando interferencia constructiva y destructiva que dependerá del desfase entre las ondas generadas por los nuevos focos de emisión y la relación: distancia y tamaño entre aberturas.

Por trigonometría, el ángulo de difracción está dado por:

$$\text{Tan}\theta = \frac{y}{D\pi}$$

y = distancia del máximo central m_0 al máximo $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$

D = distancia entre la red de difracción y la pantalla

Sin embargo, una red de difracción está conformada por lo general entre 300-600 ranuras por milímetro, por tanto, habrá recorridos mucho mayores de rayos de luz en relación con la longitud de onda. Si se coloca una pantalla a cierta distancia de la red de difracción, la proyección de los rayos de luz se verá afectada por la interferencia de todas las ondas (parcialmente destructiva o destructiva en su totalidad) por lo que, la difracción que se proyecta en la pantalla se verá únicamente la sucesión de ondas que interfieren constructivamente y que cumplan la siguiente condición:

$$d \sin \theta = m \lambda$$

Esta expresión da cuenta del desfase entre las ondas una vez atraviesan la red de difracción donde:

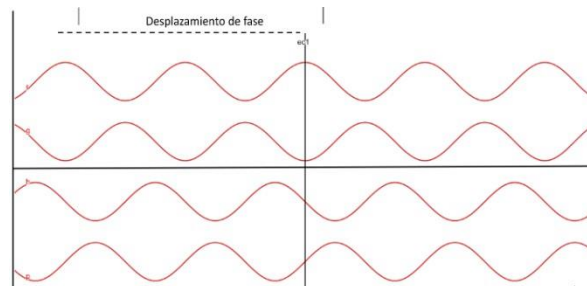


Figura 12 -Elaboración propia Interferencia constructiva - Interferencia destructiva

d → Distancia entre la red de difracción y la pantalla $\sin \theta$ → Ángulo entre el eje normal y la trayectoria de la onda
 λ → Longitud de onda

5.4.5 Principio de interferencia de Young

El principio de Young el cual es explicado en su obra Philosophical Transaction (1802) es uno de los conceptos fundamentales en el modelo ondulatorio, que describe cómo las ondas interactúan entre sí cuando se superponen. También se conoce como el principio de interferencia de ondas, ya que se refiere a cómo las ondas interfieren entre sí.

Para entender esto, podemos considerar el experimento de la doble rendija de Young. En este experimento, una fuente de luz se dirige hacia una placa con dos rendijas, lo que crea

dos fuentes de luz separadas. Estas dos fuentes de luz generan ondas que luego se superponen de camino a la pantalla. Cuando las ondas de luz atraviesan la rejilla y llegan a la pantalla, se produce un patrón de interferencia. En las áreas donde las ondas están en fase, se produce una interferencia constructiva y se forman máximos de intensidad lumínica. En las áreas donde las ondas están fuera de fase, se produce una interferencia destructiva y se forman mínimos de intensidad lumínica. Debido a que se generan dos caminos diferentes para que la luz llegue al observador las zonas de máximos dependerán de que los dos caminos sean múltiplos de cierta longitud λ , en el caso contrario se produce un mínimo de intensidad. El patrón resultante en la pantalla es una serie de bandas de luz y oscuridad, conocido como patrón de interferencia.

El principio de Young establece que cuando dos ondas se superponen, la amplitud resultante en cualquier punto es la suma algebraica de las amplitudes individuales de cada onda en ese punto. En otras palabras, si las ondas están en fase (con las crestas y valles coincidiendo), se produce una interferencia constructiva, lo que resulta en una amplitud máxima. Por otro lado, si las ondas están fuera de fase (con las crestas y valles desplazados), se produce una interferencia destructiva, lo que resulta en una amplitud mínima. El desfase entre dichas ondas esta dado por la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1)$$

Cuando el valor de δ sea igual a 1 (correspondiente a múltiplos enteros de 2π) la intensidad será máxima, para el caso contrario con δ igual a -1 (correspondiente a múltiplos impares de π) se tendrá un mínimo para la intensidad, y r_n será la distancia que recorre cada onda.

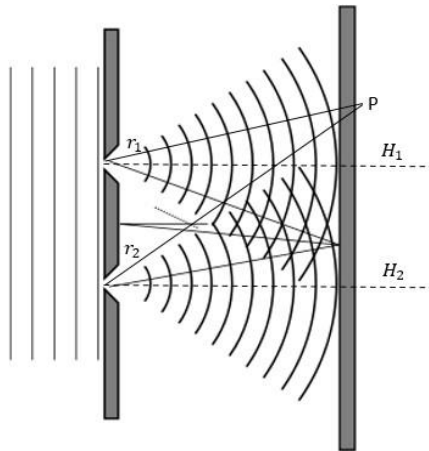


Figura 13 – Elaboración propia. Representación experimento de doble rendija - Thomas Young

6. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS DE INVESTIGACIÓN Y ELABORACIÓN DIDÁCTICA DE ACTIVIDADES

Este capítulo consta de 5 categorías; la primera enuncia el procedimiento metodológico de la presente investigación; seguido del método de investigación y diseño de investigación que orientó las actividades en el aula según los participantes; la tercera detalla el proceso del tipo de investigación y su relación con el diseño/construcción de montajes experimentales/guías para el análisis de datos; la cuarta categoría detalla la secuencia didáctica de actividades⁴ experimentales; es importante resaltar que las guías cuentan una “Organización y criterios del docente para el aula”; esta es un apoyo para contextualizar las actividades propuestas y seguir un hilo conductor, se enuncian detalles que enriquecen la práctica y orientan al docente a cargo. Por último, hace referencia al proceso de recolección de información mediada por análisis de contenido.

6.1 Procedimiento metodológico

⁴ Anexo C. Secuencia de actividades 1,2,3,4 junto con la nota docente.

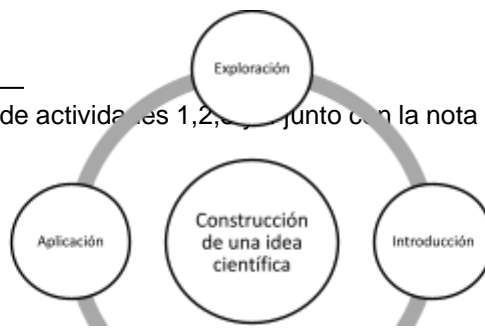


Diagrama 2 - Fases de la construcción de la secuencia didáctica

Para la presente investigación se eligió una metodología cualitativa. Sampieri (2006) expresa la esencia de una investigación cualitativa en términos de enfocar y comprender fenómenos desde: la exploración, comprensión e indagación de un fenómeno en particular. Una investigación cualitativa se caracteriza por adaptarse a planteamientos epistemológicos, estrategias metodológicas, obtención de información para lograr una aproximación a la descripción y comprensión de un fenómeno en particular.

Para (Mora Vargas 2005) una investigación cualitativa se propone caracterizar una situación concreta sin estandarizar generalizaciones fenomenológicas. El interés central de la investigación cualitativa busca establecer categorías individuales/grupales no en la búsqueda de explicaciones o causalidades, sino, en términos de comprensión del fenómeno.

En el marco metodológico, se opta por realizar un estudio explicativo donde se dirija a responder las causas de los fenómenos físicos en términos de: pretender explicar, dar cuenta del por qué ocurre un fenómeno y bajo qué condiciones se da el mismo. Así, este tipo de investigación según el diseño de actividades orientadas al aula, se formulan a partir de llevar al estudiante a la comprensión del fenómeno con alto grado de profundidad, detallado, con una descripción organizada y de forma cuidadosa. De esta manera se puede obtener información complementaria al análisis y sentido teórico y sentido Físico de los montajes experimentales para inferir la comprensión del fenómeno de difracción de la luz

Para este caso inevitablemente los docentes van a estar interviniendo dentro del aula de una forma natural y bajo su propio criterio, lo que los hace parte sensible dentro del escenario de la investigación y por ende obtienen información de manera anecdótica por parte de los individuos, información que no es menos valiosa, por lo tanto, debe ser considerada en mayor o menor medida.

6.2 Método de investigación

Para (Hernández Sampieri , Fernández Callado y Baptista Lucio 2010) una investigación

explicativa implica propósitos más estructurados donde los alcances de la investigación proporcionen sentido al entendimiento del fenómeno que se hace referencia. Esto lo apoya Mora (2005) donde menciona la intención de un estudio explicativo para explicar "el por qué ocurre un fenómeno", "bajo qué condiciones se da el fenómeno".

Esto implica un alto nivel de apropiación conceptual por parte del investigador del fenómeno de estudio, además de dirigir a los participantes a responder las causas y enfocarse en la relación de dos o más variables de estudio.

En ese orden de ideas, para el método de investigación con estudio explicativo, el diseño de la investigación que da sentido a la perspectiva del investigador se determina a partir de responder al problema de investigación y problema de forma concreta; de este modo, una investigación experimental permite caracterizar el diseño (estrategia) para estructurar actividades de implementación en el aula y obtener información que dé respuesta al planteamiento del problema.

6.3 Descripción de la población

Sugerido a lo expuesto en los estándares básicos de aprendizaje del (Ministerio de Educación Nacional 2004) el grado pertinente que se debe abordar la difracción se centra en grado undécimo, la institución educativa Colegio Heladia Mejía cuenta con un grupo de estudiantes de grado once de 33 estudiantes (los cuales durante el desarrollo de las actividades no habían abordado las temáticas relacionadas con algunos aspectos de ondas y Óptica) lo cual demandó una contextualización hacia algunas características y explicaciones a lo largo de la implementación en estos tópicos y según los indicadores en Física por el plan de estudios de la institución del área de Ciencias Naturales.

6.4 Proceso de diseño y construcción de actividades

El proceso de diseño y construcción de actividades surgieron a partir de criterios cualitativos el cuál sugiere un proceso no lineal ni secuencial, sino constituido a partir de

acciones efectuadas para articular diferentes momentos de las actividades uno tras otro. Para un enfoque cualitativo la recolección de información se interesa en las concepciones previas, ideas, conceptos, descripciones, pensamientos, interacciones, experiencias, vivencias manifestadas en un lenguaje coloquial por parte del estudiante (sea de manera individual o grupal).

¿Qué instrumento de recolección de datos se utiliza para un proceso cualitativo?; Siguiendo a (Mora Vargas 2005) la investigación cualitativa ofrece la posibilidad de diseñar de forma distinta el instrumento de recolección de datos. En la presente investigación se toma en consideración en gran parte lo expresado por (Márquez Bargalló y Roca Tort 2005) de aprovechar la capacidad que tienen los humanos de hacer preguntas, imaginar y buscar de forma significativa las respuestas a nuevas situaciones. Si bien el proceso de elaboración y construcción de conocimiento avanza en la medida que se plantean nuevas preguntas, estas surgen por observación y asociación de lo observado con lo que ya se conoce; esto permite una mejor comprensión fenomenológica y conduce a establecer, comparar, rechazar o ampliar las explicaciones a un efecto en particular.

A lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje se hace un constante esfuerzo por elaborar guías que se aproximen a la comprensión conceptual que se va a estudiar, así, las guías se diseñaron a partir de 4 aspectos principales: fase de exploración, fase de introducción, fase de estructuración y la fase de análisis. El diagrama #2 sintetiza la construcción de las guías como instrumento de recolección de información.

1. Exploración: Visión de la ciencia como algo útil, fomentando la curiosidad y active conocimientos con el objetivo: expresar los factores relevantes alrededor del comportamiento e historia de la luz.
2. Introducción: Introducción de puntos de vista por resolución de cuestionamientos preliminares. Discusión y búsqueda de nuevos datos.
3. Síntesis/estructuración: Confrontación y obtención de conclusiones argumentando el porqué

de una situación. Conciencia de lo que se ha aprendido.

4. Análisis: Aprendizaje adquirido para resolución de nuevas situaciones problema, análisis de concepciones previas, confrontaciones y predicción de lo que puede ocurrir en diferentes situaciones problema.

6.5 Consideraciones preliminares de la secuencia didáctica de actividades

experimentales:

El diagrama 3 resume las ideas fundamentales de las actividades por: objetivos, el propósito y el vínculo de cada actividad mediada por preguntas de entrada. En el diseño de las actividades de aula, fue necesario caracterizar la experimentación como método de interacción en la misma. Para ello, siguiendo a (Galindo , Murcia y Morales 2021) se debe reconocer la potencialidad de la experimentación en procesos de autoaprendizaje y de enseñanza de la Física. Dentro de ese proceso, la reflexión y análisis sobre experimentación se desarrolla en torno a algunas tipologías experimentales (las cuales se constituyen a partir de un análisis de datos de diversas posibilidades para orientar el rol docente en diferentes situaciones).

Si bien la intención de este trabajo no es desarrollar con totalidad las diferentes modalidades experimentales, se recogen aspectos necesarios que garanticen un diseño experimental centrado en el diálogo, observación, debate e hipótesis hasta lograr una aproximación al concepto de difracción por modalidades sintetizadas en la siguiente tabla:

Tabla 2 - Características del experimento ilustrativo, discrepante y virtual

<i>Experimento ilustrativo</i>	<i>Experimento discrepante</i>	<i>Experimento virtual</i>
Montaje que evidencie de manera inmediata un fenómeno.	El montaje orienta al estudiante a realizar predicciones sobre lo que podría ocurrir. (ver y observar).	Sistema que recrea experiencias por un software interactivo.
Se puede alterar y poner a prueba el montaje de diferentes maneras sin afectar la esencia estructural.	Cuestionamiento de respuestas: organización conceptual de lo que está observando.	Explora variables que en la vida real sería muy difícil de realizar.
Describe lo que observa, argumenta, manipula el montaje y explica de diferentes formas.	Descripción detallada del montaje; responde a: ¿Qué creen que pasará si...?	Puede ser: una experiencia guiada o una experiencia libre.

Enseñanzas previas: sugiere preguntas sobre el funcionamiento.	Genera conflicto cognitivo; contrasta lo que sabe con lo que espera que ocurra y lo que está ocurriendo.	Verifica comportamientos del fenómeno en términos de: contraste con una práctica experimental previa real.
Se apoya en la discusión, socialización grupal.	Hipótesis; comprobación o refutación con fundamento conceptual.	Describe lo que observa por conocimiento previo y modificación libre del software.

Es importante destacar que la secuencia didáctica (esquemática el diagrama 3) en el aula cuenta con: el experimento en la actividad 1 es de carácter no estructurado, es decir, a partir de la pregunta problema se deja en libertad de modificar el montaje para que el estudiante indague la solución a la problemática en cuestión. Los experimentos en las actividades 2 y 4 son experimentos semiestructurados, organizando sus explicaciones desde la presentación de hipótesis hasta llegar a la descripción de lo observado donde se permite cierta flexibilidad en la forma que se lleva a cabo el experimento. La práctica experimental de la actividad 3 muestra una esencia más estructurada, la cual, detalla de manera precisa las variables que se deben medir y como presentar los datos de acuerdo con instrucciones específicas.

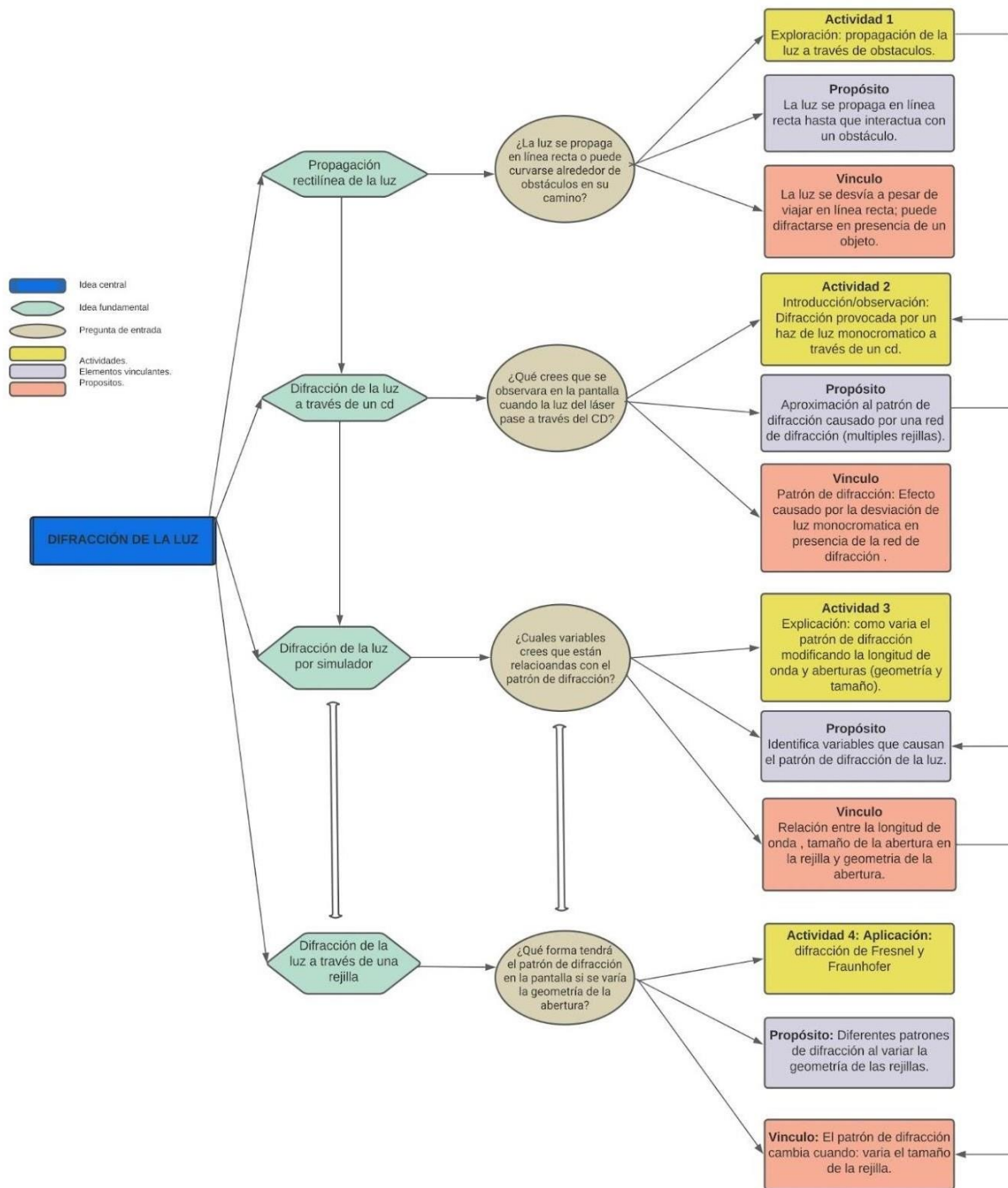


Diagrama 3 – Elaboración propia- Estructura secuencia didáctica de actividades en el aula

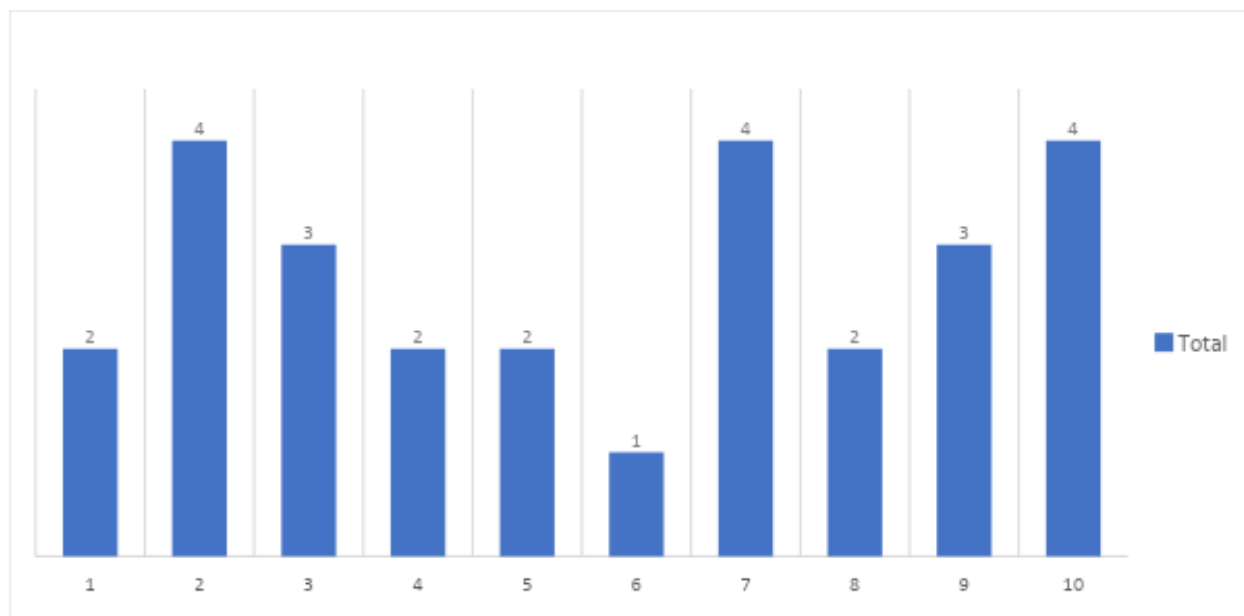
7. ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de datos se recogen fragmentos de respuesta por parte de los grupos (G), junto con estos se asigna un código que permite clasificar y analizar de manera organizada y objetiva los resultados. La transcripción completa de las actividades 1,2,3 y 4 se encuentran en los anexos D, E, F y G respectivamente.

7.1 Procedimiento para el análisis de datos – Actividad 1 “Fase de exploración”

Tabla 3 - Códigos y fragmentos de respuesta - Fase de exploración (Actividad 1)

Actividad 1 – FASE DE EXPLORACIÓN	Código	Fragmentos de respuesta por parte de los grupos (G)
¿De qué crees que está hecha la luz?	G1: Ondas G2, G6: Dualidad onda partícula G4, G9: Campo electromagnético G3, G7, G8: De partículas	G1: “De ondas electromagnéticas” G2, G6: “Es una onda y partícula G4 y G9: “La luz está formada por un campo electromagnético” G3, G7 y G8: “Compuesta por partículas”
¿Cómo describirías la propagación de la luz?	G1, G2, G4: Línea recta G3, G5, G7, G8: Por ondas	G1, G2, G4: “Se propaga en línea recta” G3, G5, G7, G8: “Se propaga a través de ondas”
A partir del montaje experimental con la caja, ¿Cómo se propaga la luz?	G1, G8, G9: Propagación a través del humo. G2, G3, G4, G5: Desviación de la luz G6, G7: La propagación de la luz como rayo de luz.	G1, G8, G9: “La luz se propaga a través del humo”. G2: “La luz no se propaga en línea recta” G3: “La luz busca la manera de pasar por los alrededores o a través de los objetos” G4, G5: “La luz se mueve/ se curva al pasar por un objeto” G6, G7: “Gracias al humo se ven los rayos de luz”



El diseño de la actividad 1 se centró en la idea fundamental de dar cuenta de la propagación rectilínea de la luz; se elaboró un montaje experimental de tipo casero en el cual se genera una recámara contenedora de humo de incienso con el propósito de mostrar que la luz se propaga en línea recta.

La actividad cuenta con dos fases de implementación donde responden la misma pregunta antes y después del montaje experimental. El 55% de la población (G3, G7, G8) antes del montaje experimental manifiesta que la luz se propaga por ondas. El 45% restante difiere en que la luz se propaga en línea recta. Una vez realizado el montaje, los grupos G2, G3, G4 Y G5 expresan que la luz no solo se propaga en línea recta, la luz presenta algunas alteraciones al rodear obstáculos. Los grupos G1, G8 Y G9 registraron mayor dificultad en la descripción de la propagación limitándose a ver la forma de la luz atravesando el humo. Los G6, G7 afirmaron que el humo se propaga con la luz. Por otro lado, una carencia evidente en la población es la falta de abordaje conceptual previo de Óptica, por lo que fue pertinente realizar una presentación corta que condensara y presentara toda la información de manera clara y concisa para que los estudiantes lograran procesarla con mayor facilidad.

La fase exploratoria busca inferencias y relaciones teniendo en cuenta preconceptos e ideas previas de los estudiantes. Se esperaba una desviación alta en el índice de respuestas (teniendo en cuenta la dificultad mencionada anteriormente), sin embargo, los porcentajes obtenidos en la gráfica expresan una regularidad marcada: el estudiante reconoce la naturaleza de la luz como partícula o como onda (de dependiendo del modelo usado) y la propagación rectilínea de la luz estableciendo algunas relaciones importantes (naturaleza de luz, desviación, propagación y medio de propagación de la luz).

Es importante aclarar que el análisis de la actividad 1 da cuenta de elementos interesantes: uno de ellos es la mención en las concepciones previas del modelo corpuscular para dar respuesta a la naturaleza y propagación de la luz por parte de los estudiantes vale la pena resaltar que las respuestas varían según avanza la actividad.

Como segunda mención, las preguntas orientadoras durante la actividad se hace referencia a identificar como se propaga la luz a través del medio (humo), sin embargo, G1, G8, G9 centran la observación a la luz como medio de propagación del humo, reflejando la necesidad del apoyo docente hacia los estudiantes para orientar las observaciones de ellos hacia objetivo de la actividad.

Una idea interesante es que los estudiantes (por el propósito de la guía) construyen explicaciones a partir de preconceptos reflejando una descripción no congruente de definiciones relacionadas con propiedades y propagación de la luz. Las respuestas a partir de observar y analizar el experimento indican que para ellos la propagación de la luz no se da únicamente en línea recta, a pesar de que sus explicaciones previas no se mencionaba la palabra "desviación", en las respuestas posteriores de la actividad mencionan esta característica como una representación nueva de la propagación de la luz.

7.2 Procedimiento para el análisis de datos – Actividad 2 y 3 “Fase de introducción – preguntas de entrada”

Tabla 4 - Códigos y fragmentos de respuesta - Fase de introducción (Actividades 2 y 3)

Actividad 2 – FASE DE INTRODUCCIÓN	Etiqueta	Fragmentos de respuesta
¿Qué esperas observar en la pantalla cuando se proyecta la luz del láser?	G1, G2, G5, G6: El puntero láser G3, G4: Variación de la luz del láser	G1, G2, G5, G6: “La luz del láser debería verse normal” G3, G4: “Se espera observar una luz distinta, se duplica la luz del láser”.
¿Qué esperas observar en la pantalla cuando se proyecta la luz del láser con el CD de por medio?	G5, G6: Difracción de la luz G1, G2: Descomposición de la luz G3, G4: Ninguna propiedad	G5, G6: “Se espera observar que la luz del láser se difracta” G1, G2: “Esperamos observar un arcoíris”. G3, G4: “Se proyecta un punto en la pantalla”.
Explica ¿Cómo se propaga la luz justo antes de chocar con el CD?	G1, G5: Línea recta G3, G6: Comportamiento de la luz	G1, G5: “La luz se propaga en línea recta”. G3, G6: “Se difractará en el CD, la luz irá en otra dirección entre más lejos esté el láser del CD”
Actividad 3 – FASE DE	Etiqueta	Fragmentos de respuesta

INTRODUCCIÓN “¿Qué esperas ver en la pantalla...?”		
Cuando enciendes el láser y atraviesa la rejilla	G3, G4, G5: Varía la proyección del láser G1, G2, G6: Se difracta la luz del láser	G3, G4, G5: “Se ve más grande o más pequeño”, “va cambiando dependiendo de la rejilla”, “la luz se dispersa” G1, G2, G6: “La luz del láser se difracta”, “Se multiplican los puntos del láser”, “se verá doble el láser”
Cuando el color del láser NO VARÍA y cambia el tamaño de rejillas	G1, G5: Se difracta la luz del láser G2, G3: Varía la proyección del láser	G1, G5: “Se difracta entre más pequeña la rejilla” G2, G3: “Si cambia el tamaño de las rejillas, las ondas cambian”.
Cuando el color del láser varía y NO CAMBIA el tamaño de las rejillas.	G3, G4, G5: Cambia el patrón G1, G2, G6: Ningún efecto	G3, G4, G5: “Entre mayor la longitud de onda, mayor es el punto en la pantalla,” cambia la intensidad de luz del láser”, “cambia las ondas de color”. G1, G2, G6: “Sigue igual y no cambia en ningún momento”
Cuando cambia la forma de la rejilla y NO VARIA el color del láser	G1: Geometría de la rejilla	G1: “Se verán distintas formas ya que cambia la forma de la rejilla”



Las actividades 2 y 3 cuentan con un apartado de preguntas de entrada, las cuales tienen el objetivo de introducir puntos de vista reflexivos, considerar diferentes perspectivas, enfocar su atención hacia la comprensión y hacerlo más receptivo y dispuesto al intercambio de ideas en grupo por discusión entre sí.

Antes de entrar en detalles sobre el análisis de la actividad 2 se resalta el hecho de que se evidencia un cambio notorio en cuanto a cómo conciben la luz los grupos de trabajo en su gran mayoría. Se infiere que esto se debe a una contextualización previa por parte de los

docentes la cual recoge aspectos importantes encontrados a partir de la actividad 1 y una breve introducción a diferentes propiedades de la luz.

Para la primera pregunta de entrada en la actividad 2 se hace referencia a lo que espera observar el estudiante cuando el láser pase por el CD, los grupos G3 y G4 manifiestan no esperar ningún cambio en la luz del láser al llegar a la pantalla, mientras que los grupos restantes en su totalidad plantean la hipótesis de que la proyección en la pantalla se verá afectada. Esto puede ser un indicador de que los estudiantes comienzan a notar como la trayectoria de la luz puede verse afectada cuando hay un obstáculo en su camino.

Para la segunda pregunta la cual pide al estudiante describir como creen que se propaga la luz del láser antes de pasar a través del CD los grupos 1, 3, 5 y 6 comparten la afirmación de que lo hace de manera rectilínea, pero los grupos 5 y 6 aclaran además que lo hace en forma de ondas, a partir de todo lo anterior podemos extraer que los grupos de trabajo discuten sus ideas para generar hipótesis a partir de sus preconceptos y de sus experimentos mentales, pero no solo eso, también en su mayoría comienzan a comprender que la luz se propaga en línea recta hasta que interactúa con un obstáculo, el cual puede llegar a afectar la forma en la que esta se propaga.

El 90% de la población menciona la desviación en la dirección del rayo de láser luego de que el rayo del láser choque con un CD alterando la proyección en la pantalla.

Los grupos G1, G2 y G6 expresan que, al cambiar la forma, el tamaño y la longitud de onda la luz del láser se difracta, dando a entender en sus hipótesis, la idea de una proyección en la pantalla variable. Esto supone una apropiación del fenómeno de difracción en los estudiantes asociando el cambio de dirección de la luz al modificar cualquiera de las variables en mención. Mientras que los grupos G3, G4 y G5 no logran identificar del todo la desviación del rayo láser. Esto sugiere según (Aldana Boada y Hernández Sepúlveda 2020) una profundización en algunos términos como: representación directa hacia la propagación de la luz

en términos de propiedades y experiencias relacionadas en un contexto de concepciones básicas para describir la misma.



Con el análisis anterior se ha logrado identificar un patrón en las respuestas de los estudiantes, en el que se demuestra la importancia de precursores para construir conceptos fenomenológicos desde la familiarización: identificar qué función o qué comportamiento presenta cada instrumento manipulado en el montaje, además de la necesidad de generar preguntas durante la actividad para lograr una mejor estructura de respuestas y apropiarse del montaje para dar cuenta del fenómeno de estudio. Con base en esto, el análisis para las preguntas orientadoras de las guías se realizó a partir de describir lo que sucede en la pantalla una vez el láser atraviesa la rejilla alterando variables como: longitud de onda, tamaño y forma de la rejilla. Estas preguntas terminan siendo importante en el proceso de reflexión e interpretación por parte de los estudiantes para dar paso de la acción de ver a observar y enunciar las variables relacionadas que encuentran para obtener un patrón de difracción.

7.3 Procedimiento para el análisis de datos – Actividad 2, 3 y 4 “Fase de estructuración – preguntas orientadoras”

Tabla 5 -- Códigos y fragmentos de respuesta - Fase de estructuración (Actividades 2,3 y 4)

Actividad	Pregunta	Código	Grupo – Fragmento
Actividad 2	¿Cómo describes el trayecto de la luz en el momento que la luz atraviesa el CD y llega a la	Se difracta el rayo láser	Todos: “Se difracta el rayo láser”

	pantalla?		
	¿Cómo justificarías la variación de intensidad en los puntos proyectados en la pantalla?	Por el material del cd	Grupo 1: <i>“Varia la intensidad de luz por el material del disco”</i>
		Por la desviación del láser	Grupos 2, 4, 5 y 6: <i>“Una parte del láser cambia de trayectoria haciendo que su intensidad disminuya”</i>
		Por el cambio de posición del CD	Grupo 3: <i>“Cuando se cambia de posición el CD se ve más lejos”</i>
	Explica los aspectos que dan cuenta de la relación entre distancia del CD con la pantalla.	Mayor distancia del CD más lejos los puntos equidistantes entre sí	Todos: <i>“Entre mayor distancia tiene el CD de la pantalla, más lejos esta un punto de otro”.</i>
	Fíjate en la proyección en la pantalla, ¿Explica por qué la luz del centro tiene mayor intensidad en comparación con los demás puntos?	Por la propiedad del CD	Grupo 5: <i>“Los puntos más intensos son por el material del CD”</i>
		Punto máximo central de intensidad	Grupo 1, 2, 4 y 6: <i>“La luz del centro se lleva toda la intensidad”</i>
Actividad 3	Cuando enciendes el láser y atraviesa la rejilla	Patrón de difracción	Grupo 5 y 6: <i>“Se difracta la onda”</i>
		Patrón de interferencia / punto máximo de intensidad	Grupo 1: <i>“El punto del centro tiene más intensidad y se desvanece hacia los lados”</i>
		Patrones de difracción diferente	Grupo 2, 3 y 4: <i>“El láser pasa a través de la rejilla y se multiplica la luz del láser”</i>
	Cuando el color del láser varía y NO CAMBIA el tamaño de las rejillas.	La longitud de onda varía el patrón de difracción	Grupo 1, 2, 4, 5 y 6: <i>“Entre mayor es la longitud de onda, mayor es el patrón”</i>
		Ningún efecto	Grupo 3: <i>“Solo cambia el color de las ondas”</i>
	Cuando cambia la forma de la rejilla y NO VARIA el color del láser	Interferencia de onda	Grupo 5: <i>“Las ondas se superponen cuando hay dos tipos de rejillas”</i>
		Varia geoméricamente	Grupo 1, 2, 3, 4 y 6: <i>“La forma depende de la figura geométrica que tenga las rejillas”</i>
	Cuando el color del láser NO VARÍA y cambia el tamaño de rejillas	Varia el tamaño	Grupo 1, 2, 3, 5 y 6: <i>“Si es grande la rejilla el patrón se ve pequeño, si es pequeña la rejilla el patrón se ve grande”</i> <i>“Entre más grande la rejilla disminuye el tamaño del patrón”</i>
		Patrón de difracción diferente	Grupo 4: <i>“Se multiplican los círculos”</i>

Actividad 4	¿Qué patrón de difracción observaste en la pantalla	Patrón de difracción en cruz	Grupo 1: <i>“La distancia altera el patrón de difracción”</i>
		Patrón de difracción difuminado	Grupo 2: <i>“Entre más cerca la rejilla a la pantalla el patrón se nota más”</i>
		Intensidad del patrón de difracción	Grupo 3: <i>“Depende de la rejilla, forma e intensidad del láser”</i>
		Patrón de difracción lineal	Grupo 4 y 6: <i>“Dependiendo de la posición, el patrón varía horizontal o vertical”</i>
		Patrón de difracción en estrella	Grupo 5: <i>“Cuando la rejilla es rectangular la proyección del láser es perpendicular”</i>
	¿Qué sucede con el patrón de difracción cuando la distancia entre la rejilla y la pantalla?	Franjas de sombra	Grupo 1 y 5: <i>“Se hace más notable las luces y espacios oscuros donde no hay luz”</i>
		Tamaño del patrón	Grupo 2, 3, 4 y 6: <i>“Cuando la rejilla está cerca a la pantalla la intensidad es más fuerte y cuando está más alejada se ve más difuso”</i> <i>“Cuando están cerca se veía un punto pequeño, y cuando se alejaba se veía un punto más grande”</i> <i>“Se va agrandando mientras más lejos esta”</i> <i>“Al iluminarlo entre más lejos esta se verá más el patrón de difracción”.</i>

Las evidencias presentadas por los estudiantes en la fase de estructuración presentan un avance en la argumentación y construcción conceptual del fenómeno de difracción. Estas últimas respuestas de los estudiantes presentan unanimidad en sus observaciones en cuanto a representaciones, descripciones y explicaciones sobre la relación entre variables que alteran el patrón de difracción. Se puede evidenciar que la mayoría de los estudiantes logra identificar y reconocer dos o más variables directamente relacionadas. Las representaciones gráficas del estudiante presentan un factor común, plasman la propagación de la luz en línea recta después que atraviesa la rejilla y llega a la pantalla. Según (Aldana Boada y Hernández Sepúlveda 2020) las experiencias personales tienen cercanía con las representaciones gráficas que describen la propagación de la luz, es decir, visualmente siguen describiendo que es un rayo que viaja en línea recta. Sin embargo, esto no interfiere en sus explicaciones escritas donde señalan la propagación de la luz en forma de ondas y lo que sucede al chocar con un

obstáculo. En cuanto a sus representaciones sobre la proyección en la pantalla muestran patrones de difracción equivalentes a lo observado; se identifica que los estudiantes tienen una idea más amplia sobre el fenómeno de difracción cuando se trata de explicarlo de forma oral o escrita.

Es importante mencionar que en esta fase el análisis se realiza por medio del proceso que evidencia cada uno de los grupos, con el fin de registrar la comprensión conceptual de forma detallada.

Los grupos 1 y 2 desde la fase de exploración reconocen la desviación en la trayectoria de la luz al interactuar con un obstáculo, y mencionan el término "difracción" por primera vez. A partir de los experimentos en la fase 1 y 2 comentan la relación entre distancia del CD/rejilla a la pantalla y el patrón generado.

La fase de estructuración busca una mejor comprensión del efecto a partir de experimentos estructurados y semiestructurados. A partir de ello, los grupos G1 G2 y G6 logran desarrollar sus interpretaciones fenomenológicas y reflexionan a partir de las observaciones realizadas durante los experimentos, presentan unanimidad en cuanto a sus explicaciones y observan diferencias y similitudes entre los montajes. También realizan inferencias satisfactorias entre las variables relacionadas directamente con el patrón de difracción: tamaño y geometría de las rejillas y longitud de onda del láser.

Para la actividad 2 en la fase de exploración el grupo 5 realiza satisfactoriamente el montaje experimental generando el patrón de difracción, menciona por primera vez el término "difracción" al igual que los grupos 1 y 2, sin embargo, en comparación con los grupos anteriores realizan observaciones y explicaciones menos profundas, por lo tanto, no tienen claridad en las variables que afectan directamente al patrón de difracción para este montaje.

En el desarrollo de la fase de estructuración el grupo 5 realiza un ejercicio experimental más riguroso, realiza explicaciones de los factores que afectan el patrón de difracción y centra sus observaciones en las variables que se relacionan directamente con el patrón generado, lo

que les permite a identificarlas y relacionarlas entre sí. Debido a esto se puede decir que en este punto se presenta un acercamiento entre las explicaciones generadas por los grupos G1, G2, y G6. Es relevante realizar el análisis a las respuestas obtenidas de los grupos G3 y G4. Si bien culminan con satisfacción los montajes experimentales de las etapas iniciales, el registro y explicaciones se centra hacia representar directamente lo que observan con experiencias de su vida cotidiana; implícitamente a través de estas, continúan con una explicación asociada a preconcepciones para describir la propagación de la luz y la proyección del láser en la pantalla, se da por hecho que los estudiantes necesitan un proceso que inicie desde lo más básicos relacionando la experiencia para generar explicaciones sobre el fenómeno. Sin embargo, con la fase de estructuración puede demostrarse todo lo contrario.

Se denota una evolución en la construcción de sus explicaciones. Los estudiantes representan gráficamente la propagación rectilínea de la luz hasta que interactúa con un objeto (relacionando lo observado desde la actividad 1), estos grupos llegan a un nivel de representar directamente lo que se observa con constructos no observables (representaciones que se encuentran en los anexos). En la actividad 1 se hace énfasis en describir lo que sucede a partir de lo observado, a diferencia de las demás actividades donde realizan inferencias al alterar el montaje según indicaciones dadas en las guías.

7.4 Procedimiento para el análisis de datos – Actividad 2, 3 y 4 “Fase de análisis – preguntas de análisis”

Tabla 6 - Códigos y fragmentos de respuesta - Fase de análisis

Actividad 2	Código	Fragmentos de respuesta
¿Qué formas de la luz puedes ver y observar en la pantalla? ¿Con qué lo puedes relacionar/asimilar/comparar?	G1, G6, G3: Figuras G4, G5: Efectos cotidianos G2: Líneas	G1, G6, G3: <i>“Puntos, círculos, destellos, estrellas”</i> G4: <i>“El sol a través de la ventana, pantallas digitales que reflejan la luz, luces led”</i> G5: <i>“Linterna, chorro de agua, fuente de sonido que atraviesa orificios”</i> G2: <i>“Puntos, líneas, asteriscos”</i> .
Realiza una explicación de lo que has aprendido sobre el patrón de difracción	G2, G3, G4, G5 y G6: Desviación de la propagación de la luz	G2, G3, G4, G5 y G6: <i>“La difracción es cuando la onda se desvía al pasar por un orificio o al rodear un</i>

generado	G1: Variación de distancia	<i>obstáculo</i> G1: "El material y la distancia determina como se difracta la luz"
Actividad 3	Código	Fragmentos de respuesta
¿Cómo varía el patrón de difracción cuando utilizas diferentes rejillas con diferente diámetro y geometría?	Todos: Variables	"Entre mayor el diámetro más pequeño el patrón, y entre más pequeño el diámetro más grande el patrón" "La forma depende de la forma geométrica de la rejilla y varía el patrón según el color del láser".
Luego de realizar el experimento virtual y dar cuenta del efecto dado en la pantalla, describe las variables que encuentras para obtener un patrón de difracción	G1, G2, G4, G5: Múltiples variables G3, G6: Dos variables	G1, G2, G4, G5: "Las variables son: color del láser, la forma, tamaño, la distancia entre la rejilla y la pantalla" G3, G6: "Depende de tamaño y forma de la rejilla", "Depende la rejilla y el color"
¿Qué conclusiones extraes de esta actividad?	G1, G5: Reconoce el efecto G2, G3, G4 y G6: Reconoce más variables	"Dependiendo de las variables se puede observar un patrón de difracción distinto y único" "La difracción se puede asociar con varios fenómenos que ocurren cuando una onda atraviesa un obstáculo" "Según su forma, tamaño de rejilla y color de luz las ondas cambian"

Es interesante como el análisis de algunos estudiantes lo realizan desde preconcepciones y saberes previos y otros grupos hacen inferencias con una postura más crítica y centran la observación a la geometría y características del patrón.

Los estudiantes de G1, G2, G3 y G6 logran identificar desde la actividad 2 la difracción como la alteración de la propagación de la luz al interactuar con un obstáculo. Dando a entender que comienzan a asimilar el modelo ondulatorio en sus explicaciones. Además, establecen relaciones y comparaciones del efecto en la pantalla de difracción variando la distancia del CD a la pantalla; afirman que esto determina como se verá el patrón de difracción.

Los estudiantes del G4 y G5 comparan la forma de la luz con efectos cotidianos; como se muestra en el código de la tabla de análisis anterior, relacionan la desviación de la propagación de la luz gracias a la propiedad de los materiales y elementos y no a las

características propias de la luz a partir de los montajes. Explican los efectos que causa el paso de la luz del láser por diferentes rejillas, destacando la variación aparente del patrón en términos de forma e intensidad.

Es importante resaltar que sus explicaciones y representaciones cumplen con el objetivo del experimento estructurado dentro del aula, el cual, tuvo como propósito promover la relación de variables que den cuenta directamente el patrón de difracción. Se identifica que los grupos logran establecer satisfactoriamente múltiples variables al momento de estudiar el fenómeno, como lo son: longitud de onda, forma-tamaño-geometría de la rejilla,

Los G1, G2, G3, G4, G5 luego de realizar el experimento virtual enuncian las variables que encuentran para obtener el patrón de difracción. Sin embargo, en la pregunta "¿Qué conclusiones extraes de esta actividad?" los estudiantes dan una respuesta abierta afirmando que el patrón varía cuando alteran las variables sin especificar que variable afecta alguna característica del patrón.

En la última actividad, las respuestas de los grupos se caracterizan por tener similitudes contundentes. Las respuestas convergen en el sentido de que los estudiantes asocian el término de difracción con la alteración de la propagación de la luz al atravesar un orificio de tamaño pequeño. Además, cada uno con sus propias palabras da cuenta del comportamiento de la luz para este caso, y como el modelo ondulatorio permite explicar el efecto observado en la pantalla a lo largo de los diferentes montajes.

Las definiciones obtenidas en la actividad 4 tienen un mismo hilo conductor a pesar de no contar con la misma facilidad en la construcción de los montajes, más específicamente, la construcción de las rejillas.

Es importante aclarar que los estudiantes identifican factores y conceptos determinantes al enunciar el fenómeno de una misma manera, en sus explicaciones escritas definen la difracción como un fenómeno óptico que ocurre cuando un haz de luz monocromático atraviesa

una abertura notablemente pequeña, proyectando un patrón característico y único que dependerá de la forma, tamaño, geometría y distancia de la rejilla a la pantalla.

8. Evaluación por rúbrica – una herramienta para evaluación continua

La evaluación de un curso es una parte fundamental del proceso de aprendizaje, ya que permite a los estudiantes y a los educadores determinar si se están cumpliendo los objetivos de aprendizaje establecidos. Una herramienta efectiva para la evaluación de un curso es la rúbrica, que es una lista detallada de criterios y estándares que se utilizan para evaluar el desempeño de los estudiantes. Además, la rúbrica proporciona un marco claro para los estudiantes, lo que les permite entender qué se espera de ellos en términos de desempeño y les ayuda a enfocarse en los aspectos más importantes del curso. La retroalimentación completa de los grupos se encuentra en la parte de anexos (Anexo H)⁵. Sin embargo, se deja a continuación adjunto el diagrama 4 en el que se categoriza el proceso de cada grupo.

⁵ Anexo H – Rúbrica de procesos cognitivos por grupo. Se hace uso de esta herramienta para realizar una evaluación continua y progresiva. Se sintetiza en el anexo H los criterios e indicadores de cada proceso cognitivo y en qué nivel se ubica cada grupo.



Diagrama 4 – resumen matriz de evaluación

9. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación hubo una dificultad manifestada a lo largo del proceso en la búsqueda del problema. La labor docente siempre contará con problemas/dificultades en el aula, sin embargo, el planteamiento del problema de una investigación se construye en la medida que se realiza documentación y sistematización en el proceso. La idea de aproximar al estudiante hacia la comprensión del fenómeno de difracción desde la observación y análisis de las estrategias metodológicas en el escenario de práctica y se proponen una serie de actividades experimentales en las que sobresalga el papel de la experimentación en la enseñanza de la Física. Esta idea constituyó un problema de investigación y dio paso a la fase de comprensión del fenómeno de difracción desde los dos modelos clásicos sobre la propagación de la luz articulado con el fenómeno en cuestión. La consulta y lectura de las fuentes de primera mano fue necesaria para dilucidar las ventajas y desventajas en la explicación del fenómeno de difracción desde la postura corpuscular y ondulatoria; esto llevó a entender como la difracción puede considerarse como un fenómeno crucial en la historia de la Física y de qué manera se estructuraron las explicaciones de la misma. Luego de esto y como pilar en el trabajo, definir las variables que dan cuenta un patrón de difracción para diseñar la secuencia didáctica de actividades, generar una propuesta alternativa para cumplir el objetivo general del trabajo fue todo un reto. La propuesta pedagógica buscaba generar descripciones y explicaciones de los estudiantes de forma sencilla y ordenada otorgándole prioridad a las representaciones y constructos enmarcables en los objetivos de cada guía de actividades. Finalmente los resultados de la propuesta mostraron grandes contribuciones en nuestra labor docente, desde la revisión literaria histórica que enriquece la enseñanza de las ciencias, además de los alcances que tienen los experimentos históricos y de ser posible replicarlos en el aula, el diseño e implementación de unas actividades experimentales para generar propuestas alternativas de enseñanza-aprendizaje, y

evaluar los aportes de los estudiantes a lo largo de todo el proceso. Por esta razón la secuencia didáctica de la presente investigación se puede considerar como una estrategia pertinente para la comprensión del fenómeno de difracción y puede enriquecer el papel de la experimentación en la enseñanza de las ciencias; esto termina dando cumplimiento a los objetivos del trabajo y mostrando una herramienta para el logro de los mismos.

La secuencia didáctica permitió hacer inferencias sobre las concepciones que tienen los estudiantes con relación al modelo explicativo del fenómeno en cuestión, como se menciona en el cuerpo del documento, los estudiantes aprenden mejor cuando están involucrados activamente en el proceso de exploración y descubrimiento y se evidencia en las afirmaciones obtenidas por parte de los estudiantes. La organización grupal permitió afianzar y comparar lo observado con sus pares académicos conformando un proceso de construcción de conocimiento a partir de hipótesis y argumentación; de esta forma, se consolida que el rol de la actividad experimental no solo es de corroborar teorías brindando una mejora en la comprensión fenomenológica.

Se denota la evolución en la construcción de las explicaciones e ideas de los estudiantes a través de procesos como experiencia y el experimento, ya que permite la discusión entre pares donde los estudiantes en general identificaron elementos imprescindibles sobre el fenómeno de difracción logrando satisfactoriamente representar y expresar las variables relacionadas que dan cuenta el patrón de difracción; los grupos llegan a un nivel de representar directamente lo que se observa con constructos no observables y relacionaron la difracción con la desviación del rayo de luz al interactuar con un objeto cambiando su forma, tamaño e intensidad.

Para la labor docente, se resalta la importancia de realizar una revisión bibliográfica. En esta investigación fue fundamental hacer esta revisión histórica de las explicaciones alrededor del fenómeno de difracción de la luz desde: fuentes de primera mano hasta artículos en los

últimos años; esto con el fin de interpretar el fenómeno a través de los diferentes modelos trabajados y argumentados por diversos autores.

El ejercicio de retroalimentación realizada en el aula y anteriormente mencionado en el desarrollo de la investigación, estructuran y proponen el uso de elementos que permitan presentar, explicar, recordar y sintetizar aspectos importantes a tener en cuenta antes, durante y después de cada actividad. Lo anterior se realiza con el objetivo de mantener el hilo conductor en la secuencia experimental, evitando el impacto negativo que pudiera generarse debido al número de días transcurridos entre fase y fase. La nota docente surge debido a la necesidad de contextualizar constantemente a los estudiantes y sirve como un apoyo a futuros docentes que quieran aplicar una secuencia de manera similar, las estrategias utilizadas para esto fueron: presentaciones, preguntas elaboradas durante los experimentos realizadas por el docente, clases magistrales, explicaciones generalizadas sobre los montajes utilizados, Etc.

En el estudio sobre el vínculo de la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias desde la perspectiva de Newton, Huygens, Fresnel, y Hodson se propone una postura en este trabajo de investigación. En general, la actividad experimental ha sido fundamental para describir y validar modelos que mejoren la comprensión de la naturaleza y lo enriquecedor que resulta el experimento para promover la capacidad de análisis y pensamiento crítico en los estudiantes en el trabajo de investigación: "*La experimentación en la enseñanza del fenómeno de difracción de la luz para estudiantes de grado undécimo del Colegio Heladia Mejía IED*", el pilar que da sentido al papel de la experimentación tendrá esencia en la observación y construcción de hipótesis como perspectivas al carácter exploratorio y fenomenológico en la construcción de conocimiento; esto es apoyado por los resultados obtenidos por medio de la secuencia didáctica, el papel que juega la experimentación en el aula articula de manera estructurada la práctica, teoría, observación, reflexión, análisis y se da un acercamiento determinante que fundamenta la acción pedagógica de vincular el conocimiento científico con el conocimiento generado en espacios del aula.

Se resalta la importancia de registrar adecuadamente las respuestas de los estudiantes no solo de manera escrita sino incluir herramientas de recolección de datos de forma oral y gráfica; el manejo de diferentes herramientas como lo son: Grupos de discusión, Entrevistas, Trabajos de campo, Etc. permiten obtener un mejor panorama del nivel de interpretación y de cómo están analizando los estudiantes el fenómeno en cuestión. Esto con el fin de entender mejor la forma de aprendizaje de los estudiantes, ya que algunos podrían reflejar mejor su aprendizaje por diferentes herramientas comunicativas y alcanzar una comprensión analítica del fenómeno.

El diseño e implementación de la rúbrica permite tener un panorama general del proceso en los estudiantes mostrando fortalezas y debilidades en su desarrollo conceptual, para este caso, en la comprensión del fenómeno de difracción de la luz. Dando como resultado que la gran parte de los estudiantes conocen aspectos importantes en la acción de establecer relación de variables que alteran un patrón de difracción; al analizar los resultados se corrobora la evolución en la construcción de explicaciones mediante experimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo Díaz, José Antonio. «El estado actual de la naturaleza de las ciencias en la didáctica de las ciencias.» *Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2008: 134-169.
- Aldana Boada , Marlon Camilo, y Lina del Pilar Hernández Sepúlveda . *Algunas explicaciones sobre la reflexión y refracción de la luz desde las experiencias de las estudiantes de grado undécimo*. Tesis de especialización, Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional , 2020.
- Aldana Boada, Maria Camila, y Laura Daniela Hernández Sepúlveda. *Algunas explicaciones sobre la reflexión y refracción de la luz desde las experiencias de las estudiantes de grado undécimo*. Tesis de grado, Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 2020.
- Barquero, L., y Martínez, A.M. «Enseñanza de las Ciencias: un enfoque constructivista.» *Graó*, 2010.
- Carreras Béjar, Carlos, y María Yuste Llandres. *Teoría de la difracción de Fresnel: Dos siglos de esplendor de las ondas luminosas*. 100cias@uned dpto. de Física de los materiales, 2015.
- Christiaan , Huygens. *Treatise Un light In which are explained The causes of that which occurs In reflexión, y in refraction And particularly In the strange refraction Of a Iceland cristal* . 1690.
- Collin, P, y L Viennot. «Using two models in optics: Students' difficulties and suggestions for teaching. .» *Physics Education Research: A Supplement to the American Journal of Physics*, 2001: 36-44.
- Díaz Perdonó, Luis Fernei. *El estudio de fenómenos Ópticos: una reflexión sobre el sentido de la enseñanza de la Física en la educación básica*. Tesis de grado, Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 2017.
- Driver, Rosalind , y Otros. *Young People's images of Science* . Open University Press, 1996.
- Falcón , Nelson, y Otros. «Naturaleza de la luz: Recursos experimentales, didácticos y recreativos .» *Revista educativa Candidus*, 2005: 100-102.
- Ferreirós, José, y Javier Ordóñez. «Hacia una Filosofía de la experimentación.» *Revista hispanoamericana de Filosofía vol 34*, 2002: 47-86.
- Galarza León, Ana Maria. *Modelando ando con los niños de quinto grado: el Arcoíris* . Tesis de grado, Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 2021.
- Galindo , Ángela Marcela, Deicy Paola Murcia, y Johana Katherine Morales . «Método deductivo para el inicio de la tematica: Fenómenos y naturaleza de la luz a partir del fenómeno de difracción.» 2021.
- Grimaldi, Francisco. *La Proposition Physico Mathesis de lumine, coloribus et iride*. 1665.
- Hernández Sampieri , Roberto, Carlos Fernández Callado, y Pilar Baptista Lucio. *Metodología de la investigación Quinta Edición*. Interamericana Editores SA de CV, 2010.
- Hodson, D. «Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio.» *Enseñanza de las ciencias*, 1994: 299-313.

- Lemus Rodríguez, Nubia Dianit. *Propuesta de una estrategia didáctica para la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de interferencia y difracción de la luz, dirigida a estudiantes de grado once del Colegio el Verjón*. Tesis de maestría, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- Malagón Sánchez, José Francisco, María Mercedes Ayala Manrique, y Sandra Sandoval Osorio. *La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formación*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 2013.
- Mantyla, I.T. «Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A Suggestion for Epistemological Reconstruction. .» *Science & Education Department of Physical Sciences*, 2006: cap 15: pp 31-54.
- Marín, Claudia Marcela. *La enseñanza de la difracción a través de la modelación computacional: una apuesta por aprender, sobre ciencia y a hacer ciencia*. Tesis de maestría, Medellín: Universidad de Antioquia, 2020.
- Márquez Bargalló, Conxita, y Monserrat Roca Tort. «Plantear preguntas: un punto de partida para aprender Ciencias.» *Educación*, 2005: 63-69.
- Ministerio de Educación Nacional. *Ministerio de Educación Nacional*. 2004. https://www.mineducacion.gov.co/portal/#menu_principal (último acceso: 2023).
- Mora Vargas, Ana Isabel. «Guía para elaborar una propuesta de investigación. .» *Redalyc*, 2005: 67-97.
- Newton, Sir Isaac. *Óptica o tratado de las reflexiones refracciones inflexiones y colores de la luz Introducción, Traducción, Notas e Índice Analítico*. Madrid: Ediciones Alaguara S.A, 1977.
- . *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*. 1704.
- . *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*. 1687.
- Pérez Lozada, Eliexer, y Nelson Falcón. «Diseño de prototipos experimentales orientados al aprendizaje de la Óptica.» *Redalyc*, 2009: 452-465.
- Pozo Muncio, José Ignacio, y María Ángeles Gómez Crespo. *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Ediciones Morata, S.L, 1998.
- Serway, R. A., & Jewett Jr., J. W. *Física*. 2014.
- Sotres Díaz, Francisco Javier. *La Óptica en la enseñanza secundaria: propuesta didáctica desde una perspectiva histórica*. Tesis doctoral, Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid, 2009.
- Tolosa Díaz, Wanda. *Enseñanza de los fenómenos de difracción e interferencia de la luz a partir de procesos experimentales*. Tesis de grado, Bogotá: Universidad Nacional, 2016.
- Young, Thomas. *Philosophical Transactions*. 1802.

ANEXOS

Anexo A. La Óptica De Sir Isaac Newton: La Teoría Corpuscular De Opticks.

La Óptica De Sir Isaac Newton: La Teoría Corpuscular De Opticks.

A mediados del siglo XVII se llevaron decenas de descubrimientos que influirían en las teorías de grandes científicos sobre la naturaleza de la luz, los experimentos y predicciones daban cuenta de la propagación rectilínea de la luz por medio de: La observación directa. Además, la noción de corpúsculo como modelo apropiado para definir la naturaleza de la luz, fue la más aceptada, y fue Sir Isaac Newton en el siglo XVIII que defendía esta postura en su libro Opticks (a diferencia de los Principia) enuncia las propiedades de la luz por razonamientos y experimentos demostrables, seguido del análisis enfocado en descubrir la relación entre: la observación y el fenómeno. Por último y es quizás el libro más significativo en la investigación: el examen a la difracción. Allí, realiza observaciones relativas de la luz y colores por pequeños agujeros.

¿Cuáles experimentos dan cuenta del comportamiento corpuscular según Newton?

Proposición II. Teorema II “*La luz del Sol consta de rayos de diferente refrangibilidad*” (Experimentos 6,7,8,9 y 10 del Libro I, Parte I)

Isaac Newton menciona o la traducción da cuenta de *refrangibilidad* refiriéndose a la desviación del ángulo de fracción de los rayos. En los inicios de su trabajo con los prismas, Newton intenta dar explicación a un mundo nuevo; en su habitación inició los trabajos de descomposición de la luz a partir de un pequeño agujero aproximadamente de media pulgada, donde dejaba pasar un rayo de sol hasta llegar a los prismas y pantallas ubicadas a cierta distancia.

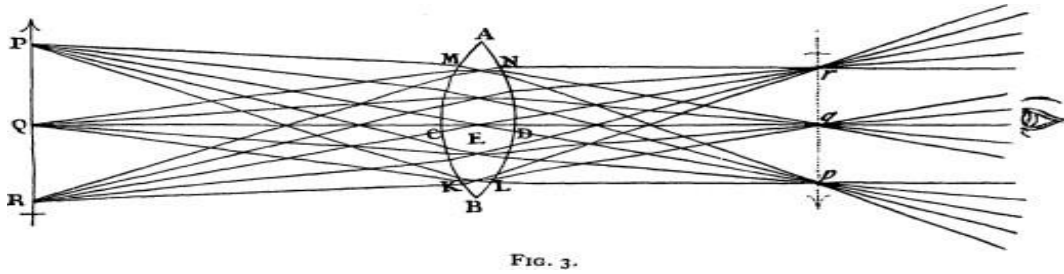
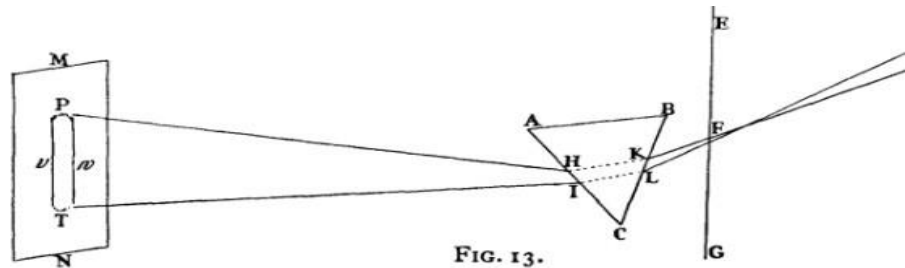


Figura 14 - representación ángulos de reflexión y refracción. Newton figura 3 Opticks

El argumento geométrico de la ley de Snell (1621) daba validez a lo expuesto por Newton, donde los ángulos de reflexión y refracción son iguales en un mismo plano (reflexión) y son desviados si cambian de medio de propagación (refracción).

Exper. 3. En la habitación oscura, sobre un agujero redondo de diámetro extremadamente pequeño (aproximadamente un tercio de pulgada), se permite el paso de un haz de luz solar que atravesaba el agujero y se refracta en la pared



opuesta de la habitación por un prisma de vidrio. Se espera, que el paso de la luz al atravesar del prisma según las leyes clásicas de la óptica proyecte una imagen circular del Sol, sin embargo, se observa una figura y dimensiones que no concuerdan. La proyección de la imagen no era ovalada, sino oblonga (alargada).

Exper. 4. Variaciones al experimento #3: Al sorprenderse del hecho de que la imagen del Sol en la pantalla no era circular, sino aproximadamente 5 veces más alta que ancha, con extremos semicirculares y difusas, indagó sobre las irregularidades de los prismas. A fin de

desechar la hipótesis de que la proyección de la imagen era causada por los prismas, orienta los prismas de manera que el haz de luz incida en un ángulo mínimo de desviación. De forma que, una vez gire el prisma, la imagen fuera ascendiendo o descendiendo según el movimiento. Así, dispuso de un segundo prisma para orientar el rayo incidente sobre una segunda superficie, esta desviación permite orientar un foco extenso hacia una desviación, pero de igual tamaño, y se espera ver una imagen mayor o menor pero circular del Sol en la pantalla.

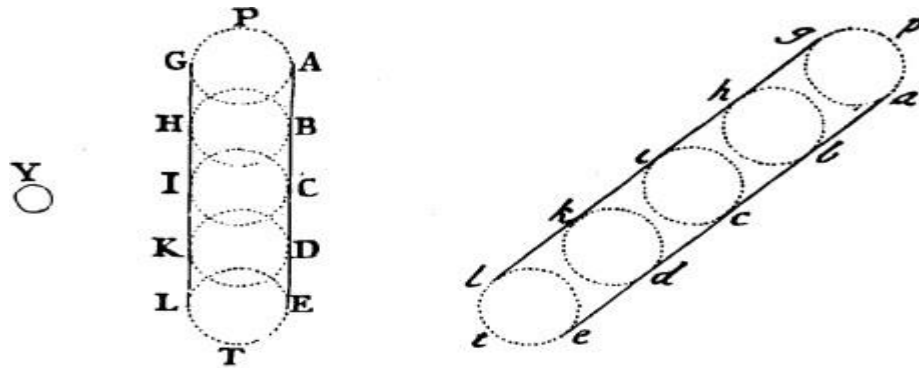


FIG. 15

Figura 16 - Representación de la imagen proyectada para el experimento 4. Refracción de la luz por dos prismas – Tomado de Opticks

Sin embargo, obtuvo un resultado sorprendente: la imagen sigue siendo alargada y contiene imágenes dispersas de rayos divergentes y se nota una desviación respecto al ángulo de la imagen.

Exper. 5 decide ubicar un prisma paralelo pero invertido al primer prisma y observar a través del agujero. Sorprendentemente, la longitud refractada era varias veces mayor, mostrando que para rayos incidentes iguales se proyecta una imagen alargada de colores sobre la pantalla. Presentando un color violeta más refractada en comparación del color rojo, y partes intermedias del color azul, verde y amarillo. **¿Es entonces la luz blanca la combinación de colores y la función del prisma es separarlos y no la de crear colores?**

Se ha señalado con anterioridad a grandes rasgos el trabajo de Newton respecto a la luz a través de la explicación de tres montajes experimentales, sin embargo, un experimento bastante interesante que da punto de partida al análisis en detalle aislando variables significativas corresponde al experimento 6 (Experimentum Crucis)

Exper. 6 un haz de luz incide sobre el agujero proyectando una imagen refractada hacia la pared, fijando una de las pantallas opuestas además de un prisma que atravesaba el rayo de luz. Detrás de la pantalla, fija otro prisma refractando de nuevo la luz que pasaba sobre el

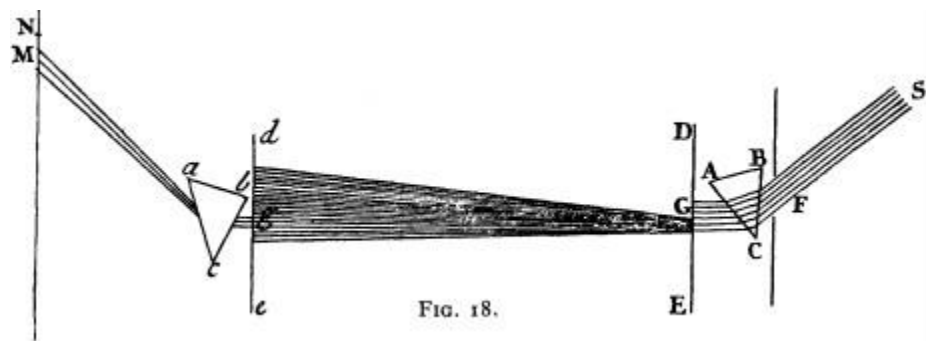


FIG. 18.

agujero, permitiendo así el giro libre del primer prisma (verticalmente) haciendo que sobre el segundo tablero pase sucesivamente el rayo de luz por un segundo prisma, a lo que Newton cuestiona ¿Podría ser que la función de los prismas es separar la luz blanca y no como una causa a la descomposición de la luz?, ¿El espectro de colores proyectados tendrá el mismo grado de refrangibilidad?

En el montaje de su Experimentum Crucis gira lentamente el primer prisma para orientar el rayo de luz sobre un agujero que apunta a una primera pantalla. Esta pantalla tiene un agujero para dirigir de nuevo el rayo de luz a un segundo prisma que puede girar a placer, obteniendo una segunda descomposición de la luz. Curiosamente observó que el rayo que atravesaba nuevamente se refractaba, pero sin cambiar ya el color. La posición fija de los agujeros en los tableros permite deducir que para ambos prismas su función es la de separar colores y no modificarlos. De este modo, la refrangibilidad del rayo de luz por los prismas

obtiene en la pantalla diversos colores a igual incidencia llevando a las siguientes definiciones más relevantes en su trabajo

Def I: "Por los rayos de luz entiendo como partes menores y sucesivas en las mismas líneas, porque es manifiesto que la luz consta de partes".

Def II: "Los rayos de luz son líneas que se extienden desde el cuerpo luminoso hasta el cuerpo iluminado, pero, parece que la luz se propaga en el tiempo y por tanto definir rayos y refracciones en términos generales que convenga, la luz se propaga en un instante".

Los siguientes axiomas son postulados por Sir Isaac Newton para dar cuenta propiedades de la luz sin necesidad de demostración alguna: para Newton son verdades inefables por medio de la lógica y la razón:

Los rayos homogéneos fluyen de varios puntos de cualquier objeto y caen sobre cualquier plano reflector o refractor o superficie esférica".

"Así, los puntos divergirán de tantos otros puntos o serán paralelos a tantas otras líneas o convergerán en otros tantos puntos. Lo mismo sucederá, si los rayos son reflejados o refractados sucesivamente por dos o tres más superficies planas o esféricas"

"Donde quiera que los rayos provienen de todos los puntos de cualquier objeto se reúnen otros tantos puntos después de haber sido hechos converger por reflexión o refracción"

Es claro que las definiciones y axiomas anteriores dan cuenta para Newton la noción de luz como sucesión de puntos para explicar los fenómenos de reflexión y refracción, para distintos casos como un conjunto de puntos emitidos de un mismo punto a otro que se hace divergen o converger por un prisma. La segunda parte del libro se dispone a la búsqueda del "por qué" llegando a la conclusión en la que los corpúsculos difieren en tamaño y velocidad.

Sin embargo, las observaciones de Newton relativas de reflexión y refracción de los cuerpos propuesta en el libro II, parte I, nos lleva a quizás una de las contradicciones más fuertes en comparación con la teoría de Huygens y futura de Fresnel, las cuales dejaron

aisladas las proposiciones y definiciones de Newton para unificar la mecánica y la óptica bajo el modelo corpuscular.

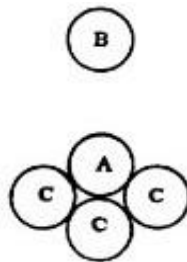
Anexo B - Análisis Histórico Del Comportamiento De La Luz Desde El Modelo

Ondulatorio. Tratado De Huygens

Christiaan Huygens fue un matemático con grandes aportes en diferentes campos de la ciencia, el propone el modelo ondulatorio para la luz que en su momento se oponía al modelo corpuscular de Newton, fue uno de los pioneros en la óptica geométrica y proporcionó explicaciones para diferentes fenómenos relacionados con la luz haciendo uso de este modelo.

El igualmente construye un modelo muy detallado que describe el comportamiento de la luz a partir de las ondas, puede explicar la reflexión, refracción afirmando en su momento no solo que la luz era una onda, sino que además era una onda mecánica, es decir, que necesitaba un medio para propagarse y la compara con las ondas del sonido. Él llega a esta conclusión mediante una serie de montajes experimentales, uno de ellos fue un tubo de vidrio en el cual se generaba un vacío y se hacía pasar la luz a través de este y dice: **La luz utiliza un medio diferente del aire para propagarse, es una sustancia que le permite viajar por el espacio y está presente en todo lugar.**

Las observaciones detalladas sobre la propagación de la luz parten del análisis a la siguiente figura:



*Figura 18 - Representación explicativa de propagación de onda como infinitas fuentes puntuales – extraído de *Traité de la lumière**

Si se desea buscar cualquier forma en la que el movimiento de la luz se comunique sucesivamente no se encontrará ninguna que concuerde mejor, con una progresión uniforme. De acuerdo con la figura 11 si una esfera A que está en reposo y en contacto con esferas iguales CCC, y una esfera B es golpeada en la dirección de la esfera A, el choque transmitirá un movimiento sucesivo que ejerce cierto impulso contra las esferas A y CCC a su vez. Este tipo de propagación da cuenta del movimiento sucesivo de partículas que no se impide transmitir su movimiento hacia adelante

¿Qué sucederá con la propagación de la luz de un cuerpo luminoso?



Figura 19 - Fuente de ondas lumínicas – Extraído de Traité de la lumière

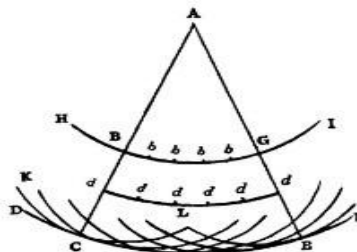
Huygens plantea que cada pequeña región del cuerpo luminoso sea una vela o un carbón encendido, generará sus propias ondas donde cada pequeña región circular será el centro. En la imagen se observa la propagación de la luz que se genera a partir de una vela encendida, donde es importante identificar que, si se supone que sobre cada punto de la superficie y de la parte interior de la llama se generan sucesiones regulares de ondas, se hará una progresión de la misma onda a intervalos iguales de tiempo que representa saliendo de un mismo punto.

En este punto surge una intriga respecto a la propagación corpuscular de la luz que Newton planteaba, ¿Cómo recorre la luz grandes distancias sin desviarse?

"A primera vista puede parecer completamente extraño y hasta inverosímil en que las ondulaciones producidas por tan pequeños movimientos y corpúsculos se extiendan a tan

inmensas distancias; como por ejemplo del Sol o de las Estrellas hacia nosotros. Porque la fuerza de estas ondas debe debilitarse a medida que se alejan de su origen, de modo que la acción de cada una en particular se hará sin duda incapaz de hacerse sentir a nuestra vista. Pero uno dejará de asombrarse al considerar cómo a gran distancia del cuerpo luminoso una infinidad de ondas, y se unen de tal manera que componen sensiblemente una sola onda."

Según esta afirmación, Huygens considera que la acción de propagación de un conjunto de partículas que forman una onda, se propagará únicamente a la siguiente formación de partículas/ondas que estén en la misma línea recta trazada del punto luminoso y necesariamente, alrededor de cada partícula se forma una sola onda concéntrica que emana múltiples ondas secundarias comprendidas a la región que se traza de manera similar a las otras partículas llegando a la conclusión publicada en su tratado para establecer el principio de Huygens:



"Cada punto de un frente de onda puede ser considerado como fuente secundaria de ondas que se expanden en todas direcciones con una velocidad igual a la velocidad de propagación de la onda primaria".

Anexo C. Secuencia de actividades y nota docente en las actividades

Actividad 1

A TODAS ESTAS... ¿QUÉ ES

LA LUZ?

OBJETIVO

Reconocer conceptos básicos sobre el comportamiento y propiedades de la luz desarrollados a lo largo de la historia.

RESPONDE

Pregunta de entrada

A. ¿De qué crees que está hecha la luz y cómo describirías que se propaga?

MATERIALES

- Laser. - Caja de cartón - Colbon o cinta
- Incienso. -Cartulina negra
- Linterna. -Tijeras

PROCEDIMIENTO

1. Toma apuntes de la presentación realizada al inicio de la clase.
2. Corta un recuadro en uno de los lados de la caja.
3. Corta un pedazo de cartulina negra y pégalo en el recuadro realizado en el paso anterior.
4. Haz orificios en la cartulina.
5. Ubica la linterna del celular, apuntando hacia el recuadro con la cartulina.
6. Dentro de la caja ubica el incienso y observa lo que sucede.

ANÁLISIS

B. DESCRIBE: A partir del montaje experimental con la caja, ¿Cómo se propaga la luz?

Actividad 1

ORGANIZACIÓN Y CRITERIOS DEL DOCENTE PARA EL AULA

Esta actividad permite enunciar conceptos básicos al comportamiento de la luz a través de la historia. Además de expresar los principios del fenómeno de difracción.

PREPARACIÓN

La fase de introducción es la más importante en una secuencia de actividades; así, se propone el diseño de una presentación bajo el formato “*Pechakucha*”. Esto permite claridad, síntesis, asombro, apoyo visual y creativa para comunicar una idea de manera clara por medio de: 20 diapositivas en 20 segundos para un total de 6 minutos y 40 segundos. A continuación, se estructura la presentación implementada en el aula:

A TODAS ESTAS... QUÉ ES LA LUZ	7-El maravilloso mundo corpuscular de Isaac Newton (introducción breve)	14- ¿Quién fue Huygens?
1- La luz en la cotidianidad.	8- ¿Quién fue Isaac Newton?	15 - Reseña del tratado de luz de Christiaan Huygens.
2- La luz en un contexto cotidiano.	9- Reseña de Opticks.	16 - Aproximación a las relaciones de la teoría ondulatoria en algunos fenómenos cotidianos.
3- Definición aproximada de luz.	10- Aproximación de la teoría corpuscular en la vida real (contexto científico)	17 - FINAL DE LA DISCUSIÓN - Augustin Fresnel.
4- La luz en la historia "algo que es muy difícil de definir".	11 - Ejemplos de fenómenos que se pueden explicar con teoría corpuscular.	18- Reseña de memorias de la luz.
5- Primeras explicaciones de la luz.	12 - ¿Entonces la luz es partícula?	19- La difracción puso fin a la discusión.
6- Autor destacado en la primera definición de la luz.	13 - Llega la discusión (LA LUZ ES UNA ONDA)	20 – Quizás la difracción no sea el fin de la discusión (la luz es muy compleja de definir),

Realiza previamente una ficha histórica donde la idea central sea: la difracción a través de la historia.

IMPLEMENTACIÓN

- I. Presenta la herramienta visual y entrega la guía de trabajo y materiales (excepto el láser).
- II. Presenta la ficha histórica e incentiva a los estudiantes dar respuestas creativas a las preguntas de entrada.

Actividad 2

DIFRACCIÓN DE LA LUZ A TRAVÉS DE UN CD

La difracción es un fenómeno que ocurre cuando una luz monocromática (un láser: es decir, de un solo color o longitud de onda) pasa rozando los bordes de un objeto y en consecuencia desvía la trayectoria de la luz.

OBJETIVO

Observar el comportamiento de la luz de un láser cuando pasa a través de una red de difracción (Rejillas) para inferir sus causas.

RED DE DIFRACCIÓN

Dispositivo óptico que cuenta con una serie de ranuras muy finas y están separadas por una distancia extremadamente pequeña, del orden de entre 300 y 600 ranuras por milímetro.

MATERIALES

- CD
- Laser rojo
- Plastilina
- Cinta métrica
- Hoja milimetrada
- Regla
- Cinta
- Cartulina negra
- Kit de óptica básico (Riel, pantalla, soportes)

RESPONDE

Preguntas de entrada

- ¿Qué esperas observar en la pantalla cuando se proyecta la luz del láser?
- ¿Qué esperas observar en la pantalla cuando se proyecta la luz del láser con el CD de por medio?
- ¿Explica cómo se propaga la luz justo antes de chocar con el CD?

PROCEDIMIENTO

- 1.) Coloca el papel milimetrado en la pantalla fijándolo con la cinta adhesiva, seguido a esto ubica la pantalla sobre el riel.
- 2.) Con ayuda de la plastilina ubica el CD a 5cm de distancia de la pantalla de tal forma que una de sus caras esté apuntando hacia la misma.

- 3.) Ubica el láser en el riel utilizando un soporte, apuntando hacia la pantalla de tal forma que atraviese el CD.
- 4.) Pon en marcha el montaje y observa detenidamente la proyección del láser en la pantalla al variar la distancia progresivamente del CD en intervalos de 5cm.

Observa el diagrama para guiar la construcción del montaje

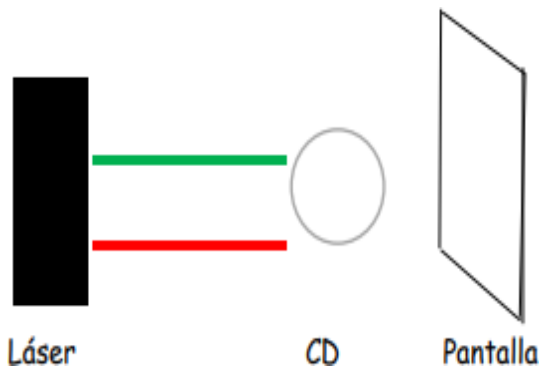


Ilustración 1 Montaje experimental

RESPONDE

Preguntas orientadoras

- A. ¿Cómo describes la trayectoria de la luz en el momento que la luz

atraviesa el CD y llega a la pantalla?

- B. Fíjate en la proyección en la pantalla, ¿Explica por qué la luz del centro tiene mayor intensidad en comparación con los demás puntos?
- C. ¿Cómo justificarías la variación de intensidad en los puntos proyectados en la pantalla?
- D. Explica los aspectos que dan cuenta de la relación entre distancia del CD con la pantalla

Análisis

- A. Luego de realizar el experimento y dar cuenta del efecto dado en la pantalla ¿Qué formas de la luz puedes ver y observar en la pantalla? ¿con qué lo puedes relacionar/asimilar/comparar?
- B. Realiza una explicación de lo que has aprendido sobre patrón de difracción

generado.

Actividad 2

ORGANIZACIÓN Y CRITERIOS DEL DOCENTE PARA EL AULA

Esta actividad permite a los estudiantes generar discusión en búsqueda de nueva información. Para comprender como la luz se desvía causando un patrón de difracción, es necesario dirigir la atención del estudiante a la observación centrándose en las características que se reflejan en el patrón de difracción.

PREPARACIÓN

Reúne los materiales necesarios, se recomienda comenzar el montaje experimental con el láser rojo y posterior láser verde. Esta actividad se trabaja en grupos para discutir las preguntas.

IMPLEMENTACIÓN

- I. Es importante destacar que la actividad #2 es un experimento guiado; por lo que será necesario orientar al estudiante el paso a paso de lo que debe hacer en el aula.
- II. Entrega la guía de trabajo y materiales (excepto el láser).
- III. Puede ser útil realizar la construcción del montaje previamente.
- IV. Menciona brevemente lo que es la difracción a partir de la recontextualización de la actividad #1.

Momento 1	Presentación del fenómeno de difracción.
Momento 2	Orientaciones generales para la construcción del montaje.
Momento 3	Discusión: preguntas de entrada.
Momento 4	Implementación: Actividad experimental #2 junto con las preguntas orientadoras.
Momento 5	Cierre: análisis y aproximación al efecto de difracción.

Actividad 3

EXPERIMENTO VIRTUAL: DIFRACCIÓN DE LA LUZ A PARTIR DE UN SIMULADOR.

OBJETIVO

Establecer las variables que afectan el patrón de difracción teniendo en cuenta las predicciones de lo que sucederá en la pantalla cuando el rayo láser atraviese la rejilla.

PROCEDIMIENTO

- 1) Completa el cuadro de predicciones de manera grupal.
- 2) Abre el simulador y ubica la pestaña “Interferencia de ondas/difracción”.
- 3) Da clic en el láser y varia: la rejilla, longitud de onda, diámetro y excentricidad de las rejillas.

MOMENTO 1

Gráfica en los espacios en blanco lo que esperas observar en la pantalla teniendo en cuenta las conclusiones de la actividad #2.

Láser



Rejilla



Pantalla



Cuando enciendes el láser y atraviesa la rejilla.	
Cuando la longitud de onda del láser NO VARÍA y cambia el diámetro de rejillas.	
Cuando la longitud de onda del láser varía y NO CAMBIA el diámetro de las rejillas.	
Cuando cambia la geometría de la rejilla y NO VARÍA ni la longitud de onda del láser y el diámetro de la rejilla.	

MOMENTO 2

Al realizar la experiencia y observar lo que sucede en la pantalla una vez el láser atraviesa la rejilla, gráfica y describe brevemente lo observado.

Variables	Patrón observado	Descripción (Con qué relaciones lo que estás observando)
Cuando enciendes el láser y atraviesa la rejilla.		
Cuando la longitud de onda del láser NO VARÍA y cambia el diámetro de rejillas.		
Cuando la longitud de onda del láser varía y NO CAMBIA el diámetro de las rejillas.		
Cuando cambia la geometría de la rejilla y NO VARÍA ni la longitud de onda del láser y el diámetro de la rejilla.		

Análisis

- C. Luego de realizar el experimento virtual y dar cuenta del efecto dado en la pantalla, describe las variables que encuentras para obtener un patrón de difracción.
- D. ¿Cómo varía el patrón de difracción cuando utilizas diferentes rejillas con diferente diámetro y geometría?
- E. ¿Qué conclusiones extraes de esta actividad?

Actividad 3

ORGANIZACIÓN Y CRITERIOS DEL DOCENTE PARA EL AULA

Esta actividad permite conocer las predicciones de los estudiantes ante una situación específica: ¿Qué sucederá cuando el rayo del láser atraviese por la rejilla? Esto guiará al estudiante a identificar las variables que alteran el patrón en la pantalla y realizar representaciones por medio de la observación virtual del fenómeno en mención.

La guía está orientada para llevar al estudiante a la definición aproximada de la difracción de la luz por el laboratorio virtual: se recrean experiencias de experimentos reales mediante simulaciones interactivas. Allí el estudiante puede explorar el comportamiento del fenómeno observando e interactuando con las variables de este, dando lugar a al análisis fenomenológico por diversidad de condiciones.

PREPARACIÓN

Reúne los computadores necesarios acordes a la cantidad de estudiantes en el aula. Ten en cuenta que la recomendación es trabajar esta actividad por grupos conformados mínimo 2 personas máximo 4.

Para el momento 1 (predicción) organiza los grupos de manera que sea de grupos de discusión con características heterogéneas (tiempo estimado 10 min).

IMPLEMENTACIÓN

- I. Antes de iniciar la actividad, es recomendable contextualizar al estudiante y dar las conclusiones de la actividad #2 de manera general.
- II. Para el momento 1 (predicción) organiza los grupos de manera que sea de grupos de discusión con características heterogéneas (tiempo estimado 10 min).
- III. Una vez socialicen las predicciones, da el equipo (pc) por grupo para realizar la actividad y el momento 2 de la actividad 3 (tiempo estimado 45 min).

Actividad 4

DIFRACCIÓN DE LA LUZ A TRAVÉS DE UNA REJILLA: MONTAJES CRUCIALES PARA EL PENSAMIENTO DE LA LUZ COMO UNA ONDA.

OBJETIVO:

Observar y analizar el patrón de difracción de la luz a través de la construcción de una rejilla- Describir el fenómeno de difracción de la luz.

MATERIALES:

- Láser de única longitud de onda.
- Rejilla de difracción.
- Pantalla o superficie blanca.
- Regla o cinta métrica.
- Cartulina negra.
- Cinta.
- Tijeras.
- Kit de óptica básico. (Soporte para el láser y la rejilla).

PROCEDIMIENTO

- I. Construye una rejilla de difracción utilizando la cartulina negra y las rejillas del kit de óptica básico.
- II. Coloca el soporte para el láser y la rejilla sobre el riel.
- III. Alinea el láser de modo que se dirija hacia la rejilla.
- IV. Coloca la pantalla blanca detrás de la rejilla, a unos 30 cm de distancia.

- V. Enciende el láser y observa el patrón de difracción de la luz en la pantalla.
- VI. Mueve la pantalla hacia adelante o hacia atrás para enfocar la imagen del patrón de difracción.

RESPONDE

- ¿Qué patrón de difracción observaste en la pantalla?
- ¿Qué sucede con el patrón de difracción cuando cambias la distancia entre la rejilla y la pantalla?
- Elabora una definición de “difracción de la luz” basándote en las conclusiones de las actividades desarrolladas hasta ahora.

Actividad 4

ORGANIZACIÓN Y CRITERIOS DEL DOCENTE PARA EL AULA

Esta actividad permite al estudiante generar preguntas y asociar las variables identificadas en la actividad #3 para comprender el concepto de difracción de la luz.

PREPARACIÓN

PREPARACIÓN

- Prepara rejillas previamente para realizar en clase un experimento demostrativo.

IMPLEMENTACIÓN

IMPLEMENTACIÓN

- Utiliza diferentes haz de luz hasta llegar a un patrón de difracción visible en el aula.
- Realiza la socialización y recontextualización de la actividad #3.

- Menciona las variables que afectan el patrón de difracción.

- Da ejemplos en donde se pueda apreciar la difracción como similitud con la propagación del sonido, el mecanismo de lectura de CD y DVD o redes neuronales.

- Es conveniente que discutan las respuestas de actividades anteriores.

CIERRE - Discusión final

CIERRE - Discusión final

Anexo D. – Transcripción de respuestas actividad 1

Tabla 7 - Transcripción de respuestas actividad 1

Actividad	Pregunta	Grupo	Respuesta		
Actividad 1	¿De qué crees que está hecha la luz y como describirías que se propaga?	Grupo 1	De ondas electromagnéticas / Se propaga en línea recta en forma de ondas		
		Grupo 2	Explicar de que está compuesta la luz es difícil de responder, pero debido a nuestro punto de vista creemos que ambas teorías son correctas, que es una partícula y una onda. La luz puede propagarse extremadamente rápido y puede atravesar sustancias transparentes y se propaga en estas en línea recta en forma de ondas perpendiculares.		
		Grupo 3	Está hecha de partículas que se transmiten por medio de ondas.		
		Grupo 4	Está formada por un campo eléctrico y magnético que varía, se propaga por luz natural, en línea recta en forma de ondas		
		Grupo 5	De partículas llamadas fotones y se propaga a través de ondas.		
		Grupo 6	La luz es una partícula que se propaga como una onda, más en específico una electromagnética, pues se propaga también en el vacío y todo esto siendo una partícula.		
		Grupo 7	La luz no está compuesta de materia, si no está hecha de partículas. Se propaga a través de ondas		
		Grupo 8	La luz está compuesta por partículas que se propagan por ondas, y también depende por donde vaya a pasar la luz.		
		Grupo 9	La luz está formada por un campo magnético y eléctrico.		
		Actividad 1	A partir del montaje experimental con la caja, ¿Cómo se propaga la luz?	Grupo 1	Para nuestro experimento cerramos la caja para que el humo aumentara más y nos dimos cuenta que en la luz se ve mejor el humo, los rayos de luz con el humo hacen que se vean más en la oscuridad se ven menos, el humo cuando se propaga tiende a quedarse en la parte superior de la caja y vimos que el humo sale por los orificios de la caja.
				Grupo 2	La luz hace que el humo se aprecie mejor y hace que se vea de color blanco, según lo que vimos la luz en la caja no se propaga en línea recta ya que vemos el humo y este es en ondas por medio de la rejilla la luz se adapta y da el reflejo de la luz en círculos. Cuando se tapan todas las entradas para acumular el humo cuando la abrimos y la alumbramos con la linterna el humo se ve más opaco.

		Grupo 3	Que vemos: 1.) la luz nos muestra la forma en la que corre el humo. 2.) si se ubica en cierta posición cambia a un color azul claro. 3.) La luz se transfiere y refleja a través del humo. 4.) cuando el humo se mueve pareciera que la luz también cambiara de dirección. ANALISIS: A partir de los orificios de la cartulina que está pegada en la caja que luego se reflejan en el humo. La luz busca la manera de pasar por los alrededores o a través de los objetos.
		Grupo 4	La luz se dirige a cómo va el humo hace formas a conforme va el humo y el humo se dirige como encuentra espacios. El humo nos sirve como una dirección a esto la luz se desplaza de esta manera al lado o a la dirección que va la luz.
		Grupo 5	A través de los orificios y gracias al humo también se puede observar cómo pasa la luz a través de ellos. La luz puede curvar al pasar por un objeto, por ejemplo: el agua, cristales, humo, etc. También pudimos ver que la luz que pasa a través de las rejillas se multiplica. En la actividad pudimos ver que la luz tiene una trayectoria y el humo muestra esa trayectoria.
		Grupo 6	Lo que pudimos observar que gracias al humo del incienso la luz que pasa a través de la rejilla es visible mas fácil, pues se ve como rayos de luz
		Grupo 7	Por cada orificio se observan rayitos de luz, se ve un reflejo, la luz se propaga con el humo.
		Grupo 8	La luz se propaga con el humo y por las rendijas de la caja, también por la linterna del celular. / Es dependiendo el obstáculo por el que vaya a cruzarse la luz enfocada y que cantidad de luz haya, dependiendo de la intensidad de la luz.
		Grupo 9	Nosotros observamos que al poner el incienso dentro de la caja se mantiene el humo y por medio de la cartulina se podía ver la forma del humo.

Anexo E. – Transcripción de respuestas actividad 2

Tabla 8 - Transcripción de respuestas actividad 2

Actividad	Pregunta	Grupo	Respuesta
Actividad 2	¿Qué esperas observar en la pantalla cuando se proyecta la luz del láser?	Grupo 1	El rayo del láser dependiendo la distancia.
		Grupo 2	El punto del láser
		Grupo 3	Un enfoque y una luz distinta.
		Grupo 4	Se duplica la luz del láser al tocar el CD.
		Grupo 5	Esperamos ver como un puntero laser.
		Grupo 6	La luz del láser debería verse normal.
	¿Qué esperas observar en la	Grupo	Los colores del CD tipo arcoíris.

pantalla cuando se proyecta la luz del láser con el CD de por medio?	1	
	Grupo 2	Esperamos observar un arcoíris o que el láser rebote.
	Grupo 3	La luz del láser en forma de una línea o un punto.
	Grupo 4	Se proyecta el punto rojo porque el CD no es del todo transparente.
	Grupo 5	Esperamos que mientras más lejos este el Cd más se difuminara el láser y la luz más grande se verá.
	Grupo 6	Esperamos que la luz se difracte y que sea casi visible la luz del láser en la pantalla.
¿Explica cómo se propaga la luz justo antes de chocar con el CD?	Grupo 1	Se propaga en línea recta.
	Grupo 2	se propaga mediante el botón, y por el medio del agujero y se duplican los puntos.
	Grupo 3	Se propaga en forma directa y en ondas también.
	Grupo 4	Se propaga a través del aire.
	Grupo 5	Antes de chocar con el Cd la luz está concentrada.
	Grupo 6	se difractará en todo el CD y se irá la luz en otra dirección/entre más lejos este el láser del Cd más se difractará y no se ven dos puntos sino tres. y rebota, entre más cerca menos se difracta
¿Cómo describes la trayectoria de la luz en el momento que la luz atraviesa el CD y llega a la pantalla?	Grupo 1	Recta y se divide en 3.
	Grupo 2	Observamos que entre más cerca este el CD a la pantalla se observan más puntos.
	Grupo 3	Al láser chocar con el CD se reflejan dos más.
	Grupo 4	Se multiplica y se dispersa, de acuerdo uno aleje el CD.
	Grupo 5	Se difracta el láser.
	Grupo 6	Mantiene trayectoria recta pero cuando atraviesa el CD se reflejan 4 puntos más, dos a cada costado y uno hacia arriba en el techo y unos cuantos reflejos que se dispersan.
Fíjate en la proyección en la pantalla, ¿Explica por qué la luz del centro tiene mayor intensidad en comparación con los demás puntos?	Grupo 1	La luz del centro se lleva toda la intensidad y las otras solo se llevan una parte.
	Grupo 2	El punto del centro tiene mayor intensidad porque el láser está apuntando en esa dirección.
	Grupo 3	Cuando esta más cerca se refleja solo uno y cuando se aleja rebota la luz y se ven dos puntos más.
	Grupo 4	Porque es la principal, y porque en ella salen las demás.
	Grupo 5	Por el material del CD y por el fenómeno mismo de la difracción, los puntos son generados por el borde del CD.

		Grupo 6	Porque es el punto central, los otros puntos son los que lo reflejan el punto más intenso le da algo de reflejo de los otros puntos.
¿Cómo justificarías la variación de intensidad en los puntos proyectados en la pantalla?		Grupo 1	La luz varía su intensidad porque al reflejarse en el material del disco se refracta y se divide su potencia.
		Grupo 2	Que por cada punto se refleja el láser va disminuyendo la intensidad. El punto del centro es el que tiene más intensidad y el más pequeño el que menos tiene.
		Grupo 3	cuando está lejos el CD se ve lejos y en donde se refleja se ve un poco más grande.
		Grupo 4	De la principal salen las demás y con menos intensidad de luz.
		Grupo 5	Una parte del láser cambia de trayectoria haciendo que en el proceso su intensidad original disminuya.
		Grupo 6	Que el punto central se mantiene con la misma intensidad al igual que los otros puntos pero cuando el CD se coloca contra la pantalla solo permanece el punto central, ya que no hay con que darle un reflejo.
	Explica los aspectos que dan cuenta de la relación entre distancia del CD con la pantalla.		Grupo 1
		Grupo 2	Observamos que entre más cerca el láser más puntos hay y cuando el láser se aleja los puntos se separan.
		Grupo 3	Cuando rebota con el CD se propaga a la pared, es más por el material del CD. Depende de la intensidad del láser y del punto de enfoque. Entre más se aleja el láser del CD se proyectan más puntos.
		Grupo 4	Entre más cerca este el CD del láser los puntos se alejan más de la luz central. Y entre más lejos este el CD del láser se juntan los puntos.
		Grupo 5	Una linterna entre más cerca de la pantalla más intenso y concentrada, pasa algo parecido con el láser aunque el láser y el punto central siga prácticamente igual, los puntos menos intensos se van dispersando más, entre más lejos está el CD con la pantalla.
		Grupo 6	Que entre más lejos este de la pantalla los otros puntos se van alejando del punto central pero cuando el CD se acerca a la pantalla los puntos se van acercando al punto central hasta unirse en el punto.
Luego de realizar el experimento y dar cuenta del efecto dado en la pantalla ¿Qué formas de la luz puedes ver y observar en la pantalla? ¿Con que lo puedes			Grupo 1

	relacionar/asimilar/comparar ?	Grupo 2	Podemos observar líneas verticales y horizontales y puntos, las líneas que aparecen parecen un asterisco y como varias líneas en cámara lenta.
		Grupo 3	En la pantalla se proyectan en varias figuras en unas pueden parecer líneas, estrellas, círculos. Y algunas se van a ver más potentes que otras
		Grupo 4	Como las luces led, bola de disco, el Sol a través de la ventana, pantallas digitales que reflejan la luz.
		Grupo 5	El láser y su punto central en la pantalla que es más intenso que otros puntos alrededor Lo comparamos primero como un chorro de agua que al hacer contacto con una superficie se dispersa, después con una linterna que entre más cerca de la pantalla más intenso y concentrado es, y con el sonido que en su propagación paso por ciertos orificios puede aumentar o disminuir la intensidad.
	Grupo 6	Se ven puntos y destellos como si fueran una estrella y hay puntos que se reflejan con mayor intensidad.	
	Realiza una explicación de lo que has aprendido sobre patrón de difracción generado.	Grupo 1	Aprendimos que el material donde se difracta la luz determina como se verá, la distancia con la pantalla también determina como se ve.
		Grupo 2	Vemos como la difracción hace que la luz se desvíe la trayectoria de dicha luz y el rojo hace que se desvíe mas.
		Grupo 3	La luz rebota en varias direcciones y la luz puede tener diferentes formas e intensidades.
		Grupo 4	Aprendimos sobre cómo se dispersa la luz y conforme uno aleja o acerca el CD aparecen más puntos. Con los materiales que se puede generar difracción y de qué manera se traspasa o divide. Ejemplo: en una hoja blanca cuadriculada no pasa la luz led, en el CD sí.
		Grupo 5	La luz dependiendo de sus obstáculos y de estos a la pantalla pueden generar distintas formas, como lo es el láser, el CD y la pantalla. Teniendo en cuenta las variables, los puntos secundarios van a rotar con respecto al central o se van a dispersar más.
Grupo 6		Que la difracción es cuando una onda se desvía al pasar por un orificio o al rodear un obstáculo para continuar con su propagación, también de que las ondas desviadas interfieren entre sí en algún punto generando una cierta distribución de intensidad.	

Anexo F. – Transcripción y registro gráfico de respuestas actividad 3

Tabla 9 - Transcripción de respuestas actividad 3

Actividad	Pregunta	Grupo	Respuesta
Actividad 3	Cuando enciendes el láser y atraviesa la rejilla	Grupo 1	El láser se verá doble apuntando en la pantalla.
		Grupo 2	Se multiplican los puntos del láser, la luz del láser se difracta.
		Grupo 3	Pasar por la rejilla depende del tamaño, se ve más grande o más pequeño.
		Grupo 4	Cuando la luz del láser atraviesa la rejilla la luz se dispersa de forma uniforme.
		Grupo 5	Cuando el láser atraviesa la rejilla va cambiando dependiendo la rejilla.
		Grupo 6	Se difractará y rebotará la luz del láser y su luz se verá borrosa
	Cuando el color del láser NO VARÍA y cambia el tamaño de rejillas	Grupo 1	Se difracta se divide el láser en más puntos.
		Grupo 2	Si cambia el tamaño de las rejillas, las ondas cambian.
		Grupo 3	Las ondas tendrán diferente tamaño.
		Grupo 4	Cuando se aleja la rejilla se ve más ondas.
		Grupo 5	Se difracta más entre más pequeña es la rejilla.
		Grupo 6	Dependiendo de su distancia se verá muy claro o muy opaco
	Cuando el color del láser varía y NO CAMBIA el tamaño de las rejillas.	Grupo 1	Sigue igual y no cambia en ningún momento la proyección
		Grupo 2	Cuando no cambia el tamaño de la rejilla las ondas son constante y no cambian su forma.
		Grupo 3	Cambia las ondas del color, que depende del láser.
		Grupo 4	Cambia la intensidad de la luz del láser.
		Grupo 5	Entre mayor la longitud de onda (color) mayor es el punto en la pantalla.
		Grupo 6	No varía como se ve ya que depende de la rejilla y no del color del láser.
	Cuando cambia la forma de la rejilla y NO VARIA el color del laser	Grupo 1	En cuanto el orificio sea más grande o más pequeño tendrá relación en la proyección del láser.
		Grupo 2	Cuando el color es muy oscuro ingresa poca luz y viceversa, y si cambia el grosor de la rejilla cambia la forma.
		Grupo 3	Depende de la forma del láser, cambia la forma de la onda.
		Grupo 4	Se divide la luz del láser en múltiples puntos.
		Grupo 5	Cambia el patrón resultante en la pantalla.
		Grupo 6	Se verá de distintas formas ya que cambia la forma de la rejilla más no el color del láser.
Cuando enciendes el láser y no atraviesa la rejilla	Grupo 1	Vemos que el centro tiene más intensidad y luego se dispersa hasta que se desvanece los puntos que están sin color no les llega la luz.	

rejilla

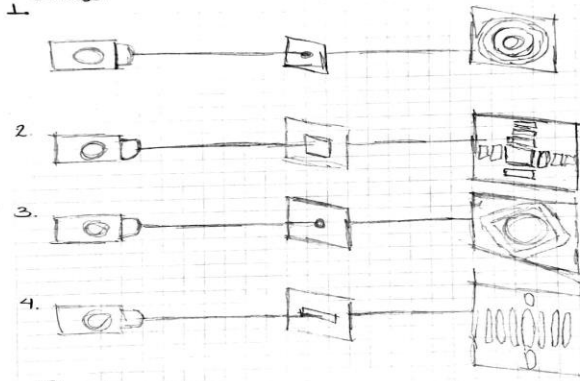
		Grupo 2	Según la forma de la rejilla las ondas muestran distintos patrones.
		Grupo 3	Depende de la rejilla, se ve el tamaño de la onda.
		Grupo 4	El láser pasa a través de la rejilla y se multiplica la luz del láser.
		Grupo 5	Se difracta en ondas.
		Grupo 6	Cuando atraviesa la rejilla se ve el punto más pequeño con varias ondas.
	Cuando el color del láser NO VARÍA y cambia el tamaño de rejillas	Grupo 1	Entre más grande la rejilla disminuye el tamaño de la luz en la pantalla y viceversa. En el caso del círculo entre más pequeño más grande la difracción del patrón.
		Grupo 2	Si cambia el tamaño de las rejillas, el patrón se va a difractar según su forma.
		Grupo 3	Si es grande se ve pequeño, si es pequeño se ve grande.
		Grupo 4	Se multiplicaron los círculos.
		Grupo 5	Entre más grande la rejilla el patrón es más concentrado y pequeño.
		Grupo 6	Entre más pequeño el punto del láser más grande será el reflejo y sus ondas.
	Cuando el color del láser varía y NO CAMBIA el tamaño de las rejillas.	Grupo 1	Cambia el patrón según el color del láser.
		Grupo 2	Según la longitud de onda, cambia el patrón.
		Grupo 3	Solo cambia el color de las ondas.
		Grupo 4	La intensidad de la luz fue mayor y cambia el patrón.
		Grupo 5	Entre mayor es la longitud de onda más grande es el patrón.
		Grupo 6	Depende del color se ven con mayor intensidad las ondas o se ve menor.
	Cuando cambia la forma de la rejilla y NO VARIA el color del laser	Grupo 1	La forma depende de la figura geométrica que tengan las rejillas.
		Grupo 2	Cuando cambia la forma de la rejilla mientras más pequeña la rejilla sus ondas van a ser más grandes y viceversa.
		Grupo 3	Las ondas cambias de figura pero no el color del láser.
		Grupo 4	La luz se dividió en múltiples puntos.
		Grupo 5	Cuando hay dos tipos de rejillas las ondas se superponen.
		Grupo 6	Entre más pequeña es la rejilla, más pequeño es el patrón.
	Luego de realizar el experimento virtual y dar cuenta del efecto dado en la pantalla, describe las	Grupo 1	Las variables para el patrón de difracción son: color del láser, tamaño de la rejilla, geometría.
		Grupo 2	El patrón de difracción cambia según el tamaño, forma y color.
		Grupo 3	La difracción que podemos encontrar es depende del tamaño y forma de la rejilla

variables que encuentras para obtener un patrón de difracción.	Grupo 4	Las variables son: el cambio de color, la forma de la rejilla, el tamaño de la rejilla, la distancia entre la distancia de la rejilla y el láser.
	Grupo 5	Formas de la rejilla, tamaño de la rejilla, longitud de onda, rotación, excentricidad, altura y anchura de la rejilla.
	Grupo 6	Dependiendo de la rejilla y el color del láser se verá más o menos grande el patrón de difracción.
¿Cómo varia el patrón de difracción cuando utilizas diferentes rejillas con diferente diámetro y geometría?	Grupo 1	La forma depende de la figura geométrica de la rejilla, y varía la intensidad del patrón según el color del láser.
	Grupo 2	Cuando cambia las rejillas cambian las ondas.
	Grupo 3	La difracción depende de las figuras de las rejillas que tenemos para jugar con el láser, entonces, las ondas varían según tamaño de la rejilla.
	Grupo 4	Se multiplica los puntos y varia el patrón.
	Grupo 5	Se difracta o más bien se deforma en comparación a la forma de la rejilla.
	Grupo 6	Entre mayor el diámetro más pequeño el patrón y entre más pequeño el diámetro más grande el patrón.
¿Qué conclusiones extraes de esta actividad?	Grupo 1	La difracción se puede asociar a varios fenómenos que ocurren cuando una onda atraviesa un obstáculo.
	Grupo 2	Según lo visto la difracción que podemos analizar es que según su forma, tamaño y color la luz y las ondas cambian.
	Grupo 3	Conocimos las ondas y la forma que están tomas cuando hay rejillas de diferentes forma y de diferente tamaño.
	Grupo 4	¡Es interesante ver el cambio de las rejillas para ver las diferentes formas de los puntos! muy chévere! Se aprenden cosas nuevas y salimos de lo cotidiano.
	Grupo 5	Dependiendo de las variables se puede observar un patrón de difracción distinto y único.
	Grupo 6	En los dos factores varía el patrón y también varía la forma del láser.

Integrantes 1102

- Laura Caro
- Tania Ferrández
- Eiver Fidal
- Luis Felipe Morales
- Nicol Paez

Dibujos:



- Preguntas
- c El patrón de difracción cambia según el tamaño y forma, color
 - d Cuando cambian las rejillas cambian las ondas
 - e Según la visión la difracción que podemos analizar es que según su forma tamaño y color la luz y las ondas cambian

Registro gráfico del G2
- actividad 3 preguntas
1-4 de preguntas
orientadoras

Anexo G. – Transcripción gráfico de respuestas actividad 4

Tabla 10 - Transcripción de respuestas actividad 4

Actividad	Pregunta	Grupo	Respuesta
Actividad 4	¿Qué patrón de difracción observaste en la pantalla?	Grupo 1	Dependiendo de la distancia será más grande o más pequeño, el patrón era una cruz.
		Grupo 2	Cuando el láser se aleja el patrón de difracción disminuye, pero si el láser está cerca de la rejilla el patrón de difracción se nota más
		Grupo 3	Dependiendo de la rejilla y la forma de la rejilla, depende además de la intensidad del láser
		Grupo 4	Cuando se apunta la línea vertical de la rejilla, la luz del láser se vuelve horizontal
		Grupo 5	Cuando la rejilla era un punto salía como una estrella. Cuando la rejilla es rectangular la proyección del láser es perpendicular a esta. Cuando eran varias formas cambia el patrón
		Grupo 6	Cuando lo iluminamos en la rejilla dependiendo de la posición el patrón se verá en forma horizontal o vertical
	¿Qué sucede con el patrón de difracción cuando cambias la distancia entre la rejilla y la pantalla?	Grupo 1	Se hace más notable las luces y espacios oscuros donde no hay luz.
		Grupo 2	Cuando la rejilla está cerca a la pantalla la intensidad es más fuerte (más visible) y cuando está más alejada se ve más opaco (difuso)
		Grupo 3	Cuando están cerca se veía un punto pequeño y cuando se alejaba se veía un punto más grande.
		Grupo 4	Cuando se apunta la línea vertical de la rejilla, la luz del láser se vuelve horizontal
		Grupo 5	Cuando la rejilla está cerca de la pantalla se ve un patrón nítido que cuando la distancia aumenta, pues el patrón se verá difuminado.
		Grupo 6	Cuando lo iluminamos en la rejilla dependiendo de la posición el patrón se verá en forma horizontal o vertical
	Elabora una definición de difracción de la luz basándote en las conclusiones de las actividades desarrolladas hasta ahora	Grupo 1	Es dependiendo de la forma del obstáculo se forma un patrón distinto. Con los distintos láseres como la luz en ambos era distinta en el láser pequeño (rojo) se podría evidenciar la figura de manera más pequeña y con el láser grande (verde) al ser el obstáculo muy pequeño se podía evidenciar más grande a mayor distancia.
		Grupo 2	La difracción es cuando las ondas forman un patrón ya sea una línea vertical, horizontal, una estrella o un punto, etc.
		Grupo 3	La difracción es el patrón que se produce luego de que la luz del láser pasa a través de la rejilla. Esta depende de: el tipo, forma, tamaño y también distancia de la rejilla.
		Grupo 4	La difracción es cuando cambia la forma de las ondas y el patrón de la luz en la pantalla.

		Grupo 5	La difracción es un patrón que depende de por donde pasa la luz y tienen diferentes formas y tamaños. Según la distancia de la pantalla y la rejilla varia la nitidez del láser
		Grupo 6	Es un fenómeno que ocurre cuando las ondas de luz atraviesan una rendija u orificio estrecho o cuando la curvatura de la luz pasa alrededor del borde de un objeto. Dependerá del tamaño de la abertura en relación con el color del láser, cuando es grande la rejilla el patrón de difracción es casi imperceptible, en cambio, cuando la rejilla es pequeña se puede ver con nuestros ojos (apreciable).

Anexo H – Rúbrica de procesos cognitivos por grupo

Niveles de comprensión		Grupo	
Recordar	El estudiante recuerda datos/hechos sin necesidad de entender. A partir del material presentado en clase, el estudiante hará un recuento de términos, conceptos básicos e ideas previas para dar respuesta a una(s) pregunta(s) de entrada.		
Comprender	El estudiante muestra entendimiento a la hora de recoger información. Realiza una interpretación de la información con palabras propias; se demuestra una comprensión básica de hechos e ideas.	Grupo 2 y grupo 4	
Aplicar	El estudiante lleva a cabo o utiliza un procedimiento en una nueva situación. Aplica lo aprendido a la solución de problemas mediante la aplicación de conocimiento, hechos o técnicas previamente adquiridas en una manera diferente.	Grupos 1,3,5 y 6	
Analizar	El estudiante organiza y examina en detalle partes del problema para diferenciarlos y abordarlos. Examina y descompone la información en partes, identificando los motivos o causas, realiza inferencias y encuentra evidencias que apoyen las generalizaciones.		
Rúbrica de evaluación			
Ciclo educativo: educación media	Materia: Física	Tema: difracción de la luz	
Docente: Juan Camilo Castaño Díaz Juan Sebastián Calderón Villalba	Institución: Colegio Heladia Mejía		
<div style="border: 1px solid black; background-color: #e0e0e0; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> Matriz de evaluación de procesos cognitivos </div>			
Criterios	<-----Procesos cognitivos de orden inferior a superior ----->		
	Recordar	Comprender	Aplicar

<p>Identifica propiedades y/o características de la luz en los montajes experimentales .</p>	<p>Reconoce algunos conceptos básicos sobre el comportamiento de la luz.</p> <p>Enuncia algunas propiedades de las ondas para describir la propagación rectilínea de la luz.</p>	<p>Reconoce conceptos básicos sobre el comportamiento de la luz.</p> <p>Identifica la propagación rectilínea de la luz.</p> <p>Enuncia propiedades de las ondas sin establecer relación de estas para describir la propagación rectilínea de la luz.</p>	<p>Reconoce e identifica la difracción en fenómenos naturales o en la vida cotidiana por ilustración gráfica teniendo en cuenta: las propiedades de las ondas y relación para describir la propagación rectilínea de la luz.</p>	<p>Reconoce conceptos básicos sobre el comportamiento de la luz.</p> <p>Enuncia todas las propiedades de las ondas y establece relación de las mismas para describir la propagación la propagación rectilínea de la luz.</p> <p>Identifica la difracción en algunos fenómenos naturales o en la vida cotidiana.</p> <p>Reconoce la difracción como una característica de las ondas y de la luz.</p>
<p>Montajes experimentales</p>	<p>Construye parte de los montajes experimentales con el seguimiento riguroso de la actividad experimental.</p> <p>Recopila datos y los presenta de forma organizada para todas las actividades.</p>	<p>Construye los montajes experimentales con el seguimiento riguroso de la actividad experimental.</p> <p>Propone nuevos pasos para obtener resultados variados en las actividades experimentales.</p> <p>Elabora los montajes experimentales atribuyéndoles una acción aproximada para cada elemento del montaje.</p>	<p>Hace uso, manipula e implementa nuevos pasos en los montajes experimentales.</p> <p>Recopila y organiza los datos de forma ordenada y atribuye una acción para cada elemento del montaje.</p> <p>Observa diferencias y similitudes entre los montajes experimentales; a partir de ello, realiza inferencias para el desarrollo de su propio conocimiento.</p>	<p>Sigue los pasos de la actividad experimental con rigurosidad y propone nuevos pasos experimentales para obtener resultados variados.</p> <p>Elabora y manipula los montajes experimentales; atribuye una acción para cada elemento del montaje.</p> <p>Recopila y organiza los datos de forma ordenada, presenta todas las actividades solicitadas con claridad.</p> <p>Observa diferencias y similitudes entre los montajes experimentales; a partir de ello, realiza inferencias para el desarrollo de su propio conocimiento.</p>

<p>Difracción de la luz a través de una rejilla.</p>	<p>Observa diferentes patrones de difracción al variar el diámetro de las rejillas.</p> <p>El estudiante ve diferentes patrones de difracción al variar el diámetro de las rejillas, y establece algunas relaciones entre las variables para obtener un patrón de difracción.</p>	<p>Explica los diferentes patrones de difracción al variar las rejillas.</p> <p>El estudiante ve diferentes patrones de difracción al variar el diámetro de las rejillas, y establece relaciones entre las variables para obtener un patrón de difracción.</p>	<p>Identifica que, al variar la rejilla, obtiene diferentes patrones de difracción.</p> <p>Identifica y explica los diferentes patrones de difracción al variar las rejillas y distancia de la rejilla respecto a la pantalla.</p> <p>Establece algunas de las variables que caracterizan el patrón de difracción.</p>	<p>Establece las variables que caracterizan el patrón de difracción.</p> <p>Identifica diferentes patrones de difracción.</p> <p>Explica los diferentes patrones de difracción al variar las rejillas.</p> <p>Observa diferentes patrones de difracción al variar el diámetro de las rejillas.</p>
<p>Difracción de la luz por simulador</p>	<p>Reconoce algunas las diferencias entre lo que observa en un experimento de manera real y lo que ocurre en un experimento virtual reconociendo algunas variables que definen un patrón de difracción.</p>	<p>Identifica las diferencias entre lo que observa en un experimento de manera real y lo que ocurre en un experimento virtual, reconociendo las variables que definen un patrón de difracción.</p>	<p>Identifica y explica las similitudes y diferencias entre lo que observa en un experimento de manera real y lo que ocurre en un experimento virtual.</p> <p>Organiza criterios para explicar y argumentar lo que se observa en ambos montajes.</p> <p>Compara lo que observa en la simulación con lo que ocurre en el experimento real.</p>	<p>Compara las similitudes y diferencias entre lo que observa en un experimento de manera real y lo que ocurre en un experimento virtual.</p> <p>Organiza, argumenta y modifica las condiciones para obtener un patrón de difracción.</p> <p>Compara lo que observa en una simulación con lo que ocurre en el experimento real con base en conocimientos previos, lo aprendido en las diferentes actividades y propone nuevas preguntas para elaborar una definición de: la difracción de la luz.</p>