



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

***DE LA INTERFERENCIA A LA
DIFRACCIÓN: ESTRATEGIA DIDÁCTICA
PARA ESTUDIANTES DE SECUNDARIA***

Diana Marcela Zabala Velandia
Licenciada en física

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de ciencias, Departamento de Física
Bogotá D.C, Colombia

2015

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

Diana Marcela Zabala Velandia

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Enseñanza de las ciencias Exactas y Naturales

Director:

PhD. Freddy Alberto Monroy Ramírez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de ciencias, Departamento de Física
Bogotá D.C, Colombia
2015

Dedicatoria

A mi padre, esposo y amado hijo, porque su amor incondicional y su apoyo fueron la fuente de mi inspiración y la fortaleza que necesité en los momentos de angustia y debilidad.

Gracias por hacer parte de mí.

Agradecimientos

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos al profesor Freddy Monroy, por la dedicación con la que orientó este trabajo de grado y por todas las enseñanzas que dejó en mí y que aportaron significativamente a mi desarrollo como profesional y como persona. A mis estimados estudiantes del Colegio Rafael Uribe Uribe I.E.D, porque sin su participación activa, este proyecto de investigación no hubiese sido posible.

A mis compañeros, quienes fueron de gran ayuda cuando me encontraba en dificultad y con quienes compartí momentos maravillosos.

Infinitas gracias a todos.

Resumen

El propósito de la estrategia didáctica presentada en este trabajo fue mejorar el aprendizaje de los fenómenos de la interferencia y difracción de la luz, en los estudiantes de grado undécimo del Colegio Rafael Uribe Uribe I.E.D. Para ello se diseñó e implementó una secuencia de seis actividades, cuyos ejes fueron; la relación fenomenológica entre la interferencia y la difracción de la luz y el uso de la metodología del aprendizaje activo. En cada una de estas actividades, se desarrollaron una serie de prácticas con el ánimo de facilitar el proceso de construcción de conocimiento por parte de los estudiantes, pues de acuerdo a la metodología de aprendizaje activo esto es posible a partir de la observación, análisis y discusión de los resultados obtenidos en las prácticas desarrolladas.

Del análisis cualitativo y cuantitativo realizado a la ejecución de la estrategia didáctica planteada, se concluyó lo siguiente: los estudiantes mejoraron sus niveles de comprensión de los fenómenos de interferencia y difracción de la luz, lo cual se evidenció en el avance de su desempeño a lo largo del desarrollo de las actividades, además en los resultados obtenidos al comparar las pruebas diagnóstico y final por medio de la ganancia normalizada de Hake, se estableció que la estrategia tuvo una efectividad equivalente al 63%, la cual representa una ganancia de aprendizaje media.

Palabras clave: aprendizaje activo, ondas mecánicas, interferencia y difracción de la luz, ganancia normalizada de Hake.

Abstract

The purpose of the teaching strategy presented in this paper was to improve the learning of the phenomena of interference and diffraction of light in eleventh grade students of the public College Rafael Uribe Uribe. For it was designed and implemented a sequence of six activities, the axes were; phenomenological relationship between interference and diffraction's light and the use of active learning methodology. In each of these activities, they developed a series of practices with the aim of facilitating the process of construction of knowledge by students, since according to the methodology of active learning that is possible from observation, analysis and Discussion of results obtained in developed practices.

The qualitative and quantitative analysis of the implementation of the educational strategy proposed, the following was concluded: students improved their understanding of the phenomena of interference and diffraction of light, which was evidenced in the advancement of their performance to Throughout the development of the activities, and the results obtained by comparing the diagnosis and final testing by the standardized gain Hake, it was established that the strategy had an effectiveness equivalent to 63%, which represents a gain medium learning.

Key Words: active learnig, mechanics waves, interference and diffraction's light, standarizaed gain Hake

Contenido

Resumen	V
Introducción	9
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	12
1.1 Antecedentes.....	14
1.2 Objetivos	15
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 Desarrollo histórico y epistemológico.....	16
2.2 De la interferencia a la difracción de la luz.....	20
2.2.1 Características de las ondas mecánicas.....	20
2.2.2 Fenómenos ondulatorios	23
2.2.3 ¿Por qué la luz es una onda electromagnética?	27
2.2.4 Interferencia de la luz: Experimento de los agujeros de Young.....	30
2.2.5 Difracción de la luz	35
2.2.6 Difracción a través de una rendija lineal	36
2.2.7 Difracción a través de una rendija circular	41
2.2.8 Difracción a través de un borde	43
2.3 Metodología de aprendizaje activo	44
2.4 Instrumento de evaluación: Ganancia de Hake.....	46
3. ESTRATEGIA DIDÁCTICA	47
3.1 Descripción general de la estrategia didáctica	47
3.2 Implementación	48
3.2.1 Características de la población	48
3.2.2 Prueba diagnóstico.....	49
3.2.3 Desarrollo de las actividades	53
3.2.4 Prueba final	74
4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	81
4.1 Evaluación de la estrategia usando la ganancia de Hake por estudiante.....	81
5. CONCLUSIONES.....	85

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS	91
ANEXO 1: Encuesta preliminar	91
ANEXO 2: Prueba diagnóstica.....	94
ANEXO 3: Prueba final	99
ANEXO 4: Guía de actividad 1.....	105
ANEXO 5: Ejemplos de dibujos actividad 1	107
ANEXO 6: Guía de actividad 2.....	108
ANEXO 7: Ejemplo hoja de resultados de la actividad 2	112
ANEXO 8: Guía de actividad 3.....	113
ANEXO 9: Ejemplo de mediciones en actividad 3.....	118
ANEXO 10: Guía de actividad 4.....	119
ANEXO 11: Ejemplo de resultados actividad 4	124
ANEXO 12: Guía de actividad 5.....	125
ANEXO 13: Práctica demostrativa: Gráficas de intensidad luminosa	128
ANEXO 14: Guía de actividad 6.....	129

Introducción

La educación tradicional se caracteriza por ser una enseñanza pasiva, donde el docente es el dueño del conocimiento y el estudiante simplemente memoriza conceptos sin establecer relación alguna de estos con su entorno [1], es decir se crea una visión de ciencia como un conjunto de contenidos abstractos que solo tienen lugar en la escuela [2]. Esta educación ha generado que los estudiantes tomen una postura evasiva frente a la ciencia, situación que se ve reflejada en el bajo rendimiento presentado por ellos en actividades de aula y en pruebas estandarizadas. Por otra parte, los diferentes métodos de enseñanza han dejado en diversas generaciones de estudiantes ideas erróneas del trabajo científico, convirtiéndose esto en un obstáculo para lograr una mejor comprensión y aplicación de los conceptos a fines con la ciencia [3]. Debido a estas dificultades, hoy día han surgido múltiples investigaciones que se han encaminado a evaluar la efectividad de los métodos utilizados para la enseñanza de las ciencias, puntualmente de la física.

La óptica ondulatoria, no es ajena a esta realidad, diferentes trabajos desarrollados en la Universidad Nacional de Colombia permiten evidenciar la poca atención de los docentes hacia la enseñanza de los conceptos fundamentales de la óptica física como la interferencia y la difracción de la luz [4]. En estos trabajos, se mencionan las tres dificultades más frecuentes en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la óptica ondulatoria, las cuales son; en primer lugar el poco tiempo que se invierte al trabajo de estas temáticas, segundo la metodología usada por los maestros la cual se caracteriza por ser principalmente expositiva, es decir “clases de tablero”, y el tercero, como consecuencia de los dos anteriores, la omisión del uso de prácticas experimentales que permitan a los estudiantes familiarizarse con los fenómenos a estudiar [5]

En vista de este panorama, surgen las siguientes preguntas; ¿Qué estrategia permite que los estudiantes de grado undécimo comprendan fácilmente los conceptos de interferencia y difracción de la luz?, ¿Cuál puede ser una secuencia didáctica que lleve a los estudiantes de secundaria a la comprensión del concepto de difracción a partir del concepto de interferencia?, ¿Qué herramientas son pertinentes para lograr una mejor comprensión de dichos conceptos en poco tiempo?, ¿Cómo lograr que los estudiantes evidencien la

importancia y la utilidad de aprender dichos conceptos? Y por último ¿Cómo lograr que los conceptos que se imparten en la escuela vayan más allá de las paredes de un salón de clases? Estas incógnitas hacen parte del quehacer diario del docente y responder a ellas significa encontrar una metodología eficaz para la enseñanza de los conceptos de la óptica ondulatoria. El presente trabajo, fue realizado con el fin de proponer una estrategia que aporte a la solución de algunas de estas incógnitas. La estrategia propuesta y posteriormente implementada fue diseñada con base a la metodología de aprendizaje activo, la cual sugiere que el estudiante es el principal protagonista en la construcción de su propio conocimiento, abandonando así la idea del maestro como portador del conocimiento. La estrategia fue implementada en tres etapas:

1. Reconocimiento de ideas previas: Por medio de la aplicación de una prueba diagnóstica, se midió el grado de comprensión de los estudiantes en torno a los conceptos asociados a las ondas mecánicas y a los fenómenos de la difracción e interferencia de la luz.
2. Aplicación de las actividades: En esta etapa se desarrollaron seis actividades, diseñadas y aplicadas siguiendo los pasos indicados en la metodología del aprendizaje activo, los cuales se fueron establecidos en *el manual de entrenamiento para los talleres ALOP (Active Learning in Optics and Photonics)* [6]. Todas las actividades contienen prácticas experimentales, pues se busca que los estudiantes formulen predicciones sobre una situación presentada y luego realicen la práctica para contrastar su hipótesis a partir de la observación y el análisis de los resultados de la práctica.
3. Validación de la estrategia: Al finalizar las actividades, se aplicó la prueba final, la cual contiene las mismas preguntas de la prueba diagnóstica, los resultados obtenidos en esta prueba fueron comparados con los obtenidos en la prueba diagnóstica, usando la ganancia normalizada de Hake.

Los resultados obtenidos en la aplicación de la estrategia didáctica, fueron descritos cualitativa y cuantitativamente. En el capítulo 3 del presente documento, se mencionan los aspectos más importantes del desempeño de los estudiantes en cada actividad y en las pruebas diagnóstica y final. En el capítulo 4 se analiza cuantitativamente los resultados obtenidos en las pruebas, para ello se calculó la ganancia de aprendizaje a partir de los porcentajes de estudiantes que respondieron correctamente cada pregunta de las pruebas

diagnóstico y final. El valor obtenido para esta ganancia fue de 0,63, lo cual implica que la estrategia aplicada contribuyó en un 63% al proceso de enseñanza y aprendizaje de los conceptos de interferencia y difracción de la luz en los estudiantes de grado undécimo del Colegio Rafael Uribe Uribe IED.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto planteado, surge de una serie de problemáticas pedagógicas que sugieren un replanteamiento en la organización de la enseñanza de la óptica física y en la metodología empleada para la misma. Una de estas problemáticas es la redacción y el propósito de los estándares en ciencias naturales propuestos por el ministerio de educación nacional de Colombia [7]. Estos estándares, se diseñaron con el propósito de organizar la enseñanza de acuerdo a las habilidades o competencias que cada estudiante debe desarrollar en cada nivel académico. Según estos estándares, la óptica física debe ser abordada en los siguientes niveles:

GRADOS	ESTÁNDARES BÁSICOS DE COMPETENCIAS EN CIENCIAS NATURALES
1° - 3°	<ul style="list-style-type: none"> • Clasifico luces según color, intensidad y fuente. • Propongo experiencias para comprobar la propagación de la luz y del sonido.
8° - 9°	<ul style="list-style-type: none"> • Reconozco y diferencio modelos para explicar la naturaleza y el comportamiento de la luz.

Tabla 1.1 Estándares básicos relacionados con óptica. [7]

La redacción de los estándares mencionados en la tabla 1.1, son poco ambiciosos en cuanto al desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes, pues no sugieren que estos apliquen los conceptos relacionados con la luz en la descripción y análisis de situaciones con las que interactúan en su contexto real. De esta redacción se interpreta que lo más importante en la enseñanza de la óptica es identificar algunas características de la luz y memorizar teorías en torno a ella, olvidando la importancia de la aplicación de la óptica en el desarrollo científico y tecnológico de nuestra sociedad. Otro aspecto a notar es que el *MEN* no estableció estándares de competencias relacionados con la óptica ondulatoria para el grado undécimo, es decir que sus autores no tuvieron en cuenta el hecho de que los estudiantes de este nivel académico, tienen bases teóricas y conceptuales más sólidas que facilitan la comprensión de estos fenómenos. Los docentes de física, a través de diálogos y entrevistas informales, manifiestan que la óptica ondulatoria es abordada en los grados

que indican los estándares, pero también indican la importancia de enseñar tanto óptica geométrica como ondulatoria a los estudiantes de grado undécimo.

A pesar de la dificultad presentada anteriormente, las instituciones educativas, directivos y docentes, han mostrado su preocupación por el mejoramiento en la calidad de la educación en ciencias que reciben los niños, niñas y adolescentes de la sociedad colombiana, por tal motivo han incluido la óptica geométrica, y algunas veces la óptica ondulatoria, en sus planes de estudios. Mejorar la calidad educativa implica optimizar la comprensión de los conceptos científicos, promoviendo la construcción de los mismos en lugar de su memorización. Para ello se requiere que el estudiante desarrolle un proceso investigativo orientado por el docente, cuyos resultados se ven reflejados en la aplicación y asociación de tales conceptos en la explicación y descripción de los fenómenos naturales de su contexto real. La baja calidad educativa presente en la mayoría de instituciones colombianas, se ve reflejada en de los resultados de las pruebas estandarizadas como las pruebas SABER o las PISA. Allí se observa que la enseñanza de las ciencias no arroja los resultados deseados, es decir que los estudiantes apliquen los conceptos adquiridos en la escuela al momento de resolver problemas y en la interpretación de sistemas naturales reales.

Otra dificultad importante es el poco tiempo que los docentes dedican al trabajo de las temáticas relacionadas con la óptica. En la mayoría de instituciones, los maestros abordan la óptica geométrica pero no la ondulatoria, además la metodología utilizada para ello se limita al uso de explicaciones en el tablero y realización de talleres, lo que evidencia poco uso de prácticas experimentales. Este hecho se justifica a través de los resultados obtenidos al aplicar una encuesta (Anexo 1), a un pequeño grupo de docentes de diferentes instituciones educativas, la mayoría de ellos manifestaron que debido al poco tiempo con el que se cuenta para orientar las temáticas de la óptica geométrica y la ondulatoria, el trabajo de estas temáticas se realiza superficialmente.

La pregunta que orienta la investigación presentada en este documento, surge de las problemáticas descritas anteriormente, pues estas generan la necesidad de pensar en una estrategia didáctica que permita abordar los conceptos relacionados con la óptica física,

específicamente aquellos a los cuales se les dedica poco tiempo o se abordan superficialmente como interferencia y difracción de la luz y la relación existente entre estos dos fenómenos.

Pregunta: ¿Qué estrategia didáctica permitirá a los estudiantes de grado undécimo, comprender fenomenológicamente el concepto de difracción de la luz a partir del concepto de interferencia y del uso de prácticas experimentales?

1.1 Antecedentes

En la maestría en enseñanza de las ciencias exactas y naturales de la Universidad Nacional de Colombia, se han desarrollado investigaciones cuyo objetivo es proponer estrategias didácticas, que aporten al mejoramiento del proceso de enseñanza y aprendizaje de la interferencia y difracción de la luz. Algunos de ellos proponen la enseñanza de estos fenómenos a partir de su aplicación en otras temáticas como la espectroscopia [8] o la holografía digital [4]. Otros trabajos de esta maestría, proponen estrategias únicamente para la enseñanza de la difracción de la luz, en uno de ellos se propuso una estrategia didáctica utilizando prácticas experimentales y la metodología de aprendizaje activo [5]. Así mismo existen otros trabajos que se enfocan en propuestas para la enseñanza de la interferencia de la luz, por ejemplo Tatiana Muñoz diseñó una estrategia para la enseñanza de la interferencia basada en la metodología de aprendizaje activo, el uso de la trigonometría y la ejecución de prácticas experimentales [9]. Como vemos, ninguno de los trabajos realizados propone una estrategia de enseñanza para estos fenómenos a partir de la relación fenomenológica entre ellos.

Del mismo modo, la comunidad científica internacional ha mostrado su preocupación por la enseñanza de las ciencias. Por ejemplo, la UNESCO ha liderado el proceso de diseño e implementación de talleres, relacionados con el uso de la metodología del aprendizaje activo y de prácticas experimentales en la enseñanza de la óptica para la educación secundaria y universitaria [6]. Otras investigaciones, además de proponer estrategias para la enseñanza de la interferencia de la luz, manifiestan que se debe continuar en el proceso de mejorar las prácticas pedagógicas usadas en la enseñanza de las ciencias [10]. Además otras investigaciones se han direccionado hacia el análisis de las problemáticas de la

enseñanza de la óptica y proponen estrategias pedagógicas diseñadas a partir del desarrollo histórico y epistemológico de las teorías de la óptica [2].

1.2 Objetivos

General

Diseñar una estrategia didáctica utilizando prácticas experimentales que permitan a los estudiantes de grado undécimo, la comprensión fenomenológica del concepto de difracción de la luz a partir del concepto de interferencia.

Específicos

1. Construir con materiales de bajo costo y fácil consecución, los dispositivos necesarios para ser utilizados en prácticas experimentales en la enseñanza de las ondas mecánicas y sus fenómenos ondulatorios, así como para los fenómenos de interferencia y difracción de la luz.
2. Diseñar, con los dispositivos construidos, dos prácticas experimentales encaminadas a que los estudiantes identifiquen las características de las ondas mecánicas y los principales fenómenos ondulatorios.
3. Diseñar una práctica experimental encaminada a que los estudiantes evidencien la naturaleza ondulatoria de la luz y describan cualitativamente los principales fenómenos ondulatorios.
4. Diseñar tres prácticas experimentales que permitan a los estudiantes describir cuantitativamente los fenómenos de interferencia y difracción de la luz, establecer la relación fenomenológica entre ellos y evidenciar la aplicación científica y tecnológica de dichos fenómenos.
5. Aplicar con los estudiantes de grado undécimo, todas las prácticas experimentales diseñadas.
6. Validar la eficiencia de la estrategia implementada a través de la cuantificación de los resultados de las pruebas de entrada y salida usando la ganancia normalizada de Hake.

2. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de la estrategia didáctica diseñada y aplicada, se tuvo en cuenta el desarrollo histórico y epistemológico de las principales teorías que explican la naturaleza de la luz, ya que la evolución de estas proporciona herramientas útiles en el planteamiento de estrategias para su enseñanza [2]. Así mismo es necesario tener en cuenta las teorías utilizadas actualmente para explicar los fenómenos de la interferencia y difracción de la luz, los cuales corresponden al eje disciplinar de este trabajo.

El componente pedagógico de esta investigación está regido por la metodología del aprendizaje activo, ya que el diseño y aplicación de las actividades que componen la estrategia didáctica propuesta, se desarrollaron teniendo en cuenta esta metodología.

Para la validación de la estrategia planteada, se utilizó la Ganancia normalizada de Hake la cual permite calcular la eficiencia de la estrategia a partir del análisis de los resultados obtenidos, en las pruebas diagnóstico y final.

2.1 Desarrollo histórico y epistemológico

El interés del ser humano por la naturaleza de la luz nos ha llevado a la construcción de teorías que explican el comportamiento de ésta en diferentes contextos, gracias a esto hoy día podemos explicar fenómenos como la formación de imágenes a través de espejos y lentes, los patrones de difracción e interferencia generados por la luz cuando atraviesa agujeros, rendijas y bordes muy finos, o la transformación de energía luminosa en energía eléctrica. Llegar a una teoría que permita explicar de manera general los fenómenos presentados por la luz, no fue una tarea sencilla y mucho menos realizada por una sola persona.

Desde la antigüedad, la humanidad ha tenido contacto con aparatos ópticos como lentes y espejos, lo cual estimuló la curiosidad de grandes genios quienes mostraron inicialmente su inquietud por dar explicación al cómo y porqué vemos las cosas surgiendo así las primeras teorías en torno a la naturaleza de la luz [11]. Sin embargo, así como se

planteaban teorías que permitieran explicar los fenómenos relacionados con la luz, aparecían evidencias de otros comportamientos los cuales no podían ser explicados con las teorías planteadas hasta el momento. De esta manera, cada dificultad o inconsistencia de una teoría se convirtió en el punto de partida de otra, lo cual ha permitido que evolucione nuestra concepción acerca de la luz y su comportamiento en diferentes contextos [2].

Los primeros cuestionamientos acerca de la luz fueron formulados por los filósofos griegos, quienes más que preocuparse por lo que es la luz, estaban interesados en explicar ¿cómo vemos? Demócrito y los filósofos atomistas, intentan resolver esta incógnita argumentando que de los objetos debía emitirse una capa de átomos que al hacer contacto con los ojos estimulaban el sentido de la vista, lo que permitía que se formara una imagen de los objetos observados. Platón continúa con esta idea y añade que así como de los objetos salía algo que al hacer contacto con nuestros ojos facilitaba el proceso de la visión, también de los ojos debía emitirse “algo” para completar este proceso [11]. Para Aristóteles y otros filósofos, no era tan evidente el hecho de que podemos observar los objetos gracias al desprendimiento de una capa sutil de sus átomos, ya que si esto fuese así ¿cómo era posible que solo los ojos pudieran formar imágenes si los átomos emanados desde los objetos tenían contacto con otras partes del cuerpo?, ¿cómo era posible que la imagen de los objetos grandes pudieran caber en nuestros ojos?, si las imágenes están en el aire ¿Qué ocurre cuando estas se cruzan? Debido a estas inconsistencias presentadas por las teorías mencionadas anteriormente, Aristóteles argumenta que la luz no puede ser algo que sale ni de los ojos y mucho menos de los objetos, más bien la concebía como un ente independiente a ellos pero que hacía posible la visión [12]. Posteriormente, Euclides utiliza la idea de rayos luminosos para explicar la visión y propone la ley de la reflexión, sin embargo en su teoría estos rayos eran emitidos por los ojos y no por los objetos. La idea de rayo luminoso, hoy día corresponde a la representación de la trayectoria rectilínea de la luz y aunque fue empleada de manera errada por Euclides, fue fundamental en la construcción de modelos matemáticos que permiten explicar fenómenos relacionados con la luz, como la reflexión y la refracción. Aunque los filósofos griegos inician la discusión sobre ¿cómo vemos? No aportan ideas fundamentales para resolver el misterio de la visión y mucho menos sobre lo que es la luz [12].

En el siglo XI, Alhazen analiza de nuevo las inconsistencias presentadas por las teorías que había en torno a ¿cómo vemos? Y argumenta que la visión es posible gracias a la luz, una postura muy similar a la de Aristóteles, ya que consideraba la luz como una entidad independiente del ojo y del objeto [12]. Alhazen, realizó varios trabajos acerca de la formación de imágenes con la cámara oscura, esto lo llevó a proponer la idea de que el ojo humano funcionaba de esta manera. Básicamente su idea consistía en que la luz era como una especie de portador de la imagen de cada parte de los objetos, es decir que la luz provenía de los objetos, los cuales reflejan la luz hacia nuestros ojos, permitiendo verlos directa o indirectamente. Alhazen es quien enuncia que los objetos son fuentes secundarias de luz y además que la luz se puede representar a través de rayos ya que todas las fuentes principales de luz la emiten en todas las direcciones y su trayectoria corresponde a una línea recta [12]. Kepler por su parte, propone ideas muy parecidas a las de Alhazen y es Kepler quien modela el proceso de la visión directa e indirecta (a través de espejos y lentes) utilizando la representación geométrica de rayos luminosos [12].

El siglo XVII es una época muy importante para la óptica geométrica, ya que en esta época esta es usada en la construcción de aparatos sofisticados [13]. Un ejemplo de ello son las diferentes versiones del telescopio construidos en este siglo, como el realizado por Zacharías Jansen, Johanes Kepler, Galileo Galilei y otros, siendo el de Galileo uno de los más importantes y reconocidos por la comunidad científica. Otra aplicación importante de la óptica geométrica la hace Willebrord Snell, quien descubre experimentalmente el cambio de dirección de la luz cuando esta cambia de medio. Este descubrimiento abre paso a nuevas aplicaciones de la óptica geométrica [13]. Hasta este momento, los estudios relacionados con la luz se limitan al uso de su propagación rectilínea, es decir de la luz vista como rayo. Sin embargo, aún no había una preocupación sobre su naturaleza y mucho menos sobre su interacción con la materia [13].

La preocupación por lo que es la luz, comienza en 1660, con el trabajo experimental de Francesco Grimaldi y Robert Hooke ya que encuentran pruebas experimentales de la difracción de la luz, esto hace que se contemple la idea de pensar la luz como una onda, de hecho Robert Hooke parte de estas observaciones y afirma que la luz es una vibración de un medio llamado éter [14]. En ese momento las ondas estudiadas eran las ondas de sonido, de manera que la explicación de la luz como una onda surgía de la comparación

entre el comportamiento de las ondas mecánicas con el comportamiento de la luz en condiciones específicas.

Isaac Newton quien descubre que la luz blanca está compuesta por un espectro de colores, y explica que este efecto es el producto de las diferentes frecuencias de vibración de los corpúsculos de los cuales está hecha la luz. Esta explicación de Newton concibe la luz como onda y partícula a la vez, sin embargo Newton abandona esta idea ya que no puede explicar la propagación rectilínea de la luz cuando es vista como onda, de tal manera que se aferra y defiende una teoría corpuscular para explicar la naturaleza de la luz y los fenómenos de la reflexión y la refracción [13].

Paralelo al trabajo de Newton, en 1678 Christian Huygens usó la teoría ondulatoria de la luz para explicar los fenómenos de la reflexión y la refracción, sin embargo su idea fue rechazada ya que no explica la propagación de la luz en el vacío y las ondas conocidas hasta ese momento, como el sonido requerían un medio para propagarse [13]. Además si la luz fuera una onda, debería bordear los obstáculos y hasta ese momento no había pruebas experimentales de ello [14]. Las incógnitas sin resolver de la teoría de Huygens y la popularidad de Newton en la comunidad científica de la época, hicieron que la naturaleza ondulatoria de la luz no fuese aceptada, convirtiéndose la teoría corpuscular en la idea predominante acerca de la naturaleza de la luz. Las teorías corpuscular y ondulatoria de la luz tenían en común que su velocidad debía ser muy grande. Christensen Römer logra calcular experimentalmente la velocidad de la luz analizando un eclipse de la luna de Júpiter, de lo cual deduce que la velocidad de la luz es un valor muy grande pero no infinito [13].

Es hasta 1801 que la teoría ondulatoria de la luz vuelve a llamar la atención de la comunidad científica, Thomas Young mostró pruebas claras del comportamiento ondulatorio de la luz ya que encontró las condiciones apropiadas para que la luz generara un patrón de interferencia, es decir logró observar que cuando la luz atraviesa un par de agujeros muy pequeños y muy cercanos, esta se anula o se combina, lo cual no podía ser explicado por una teoría corpuscular [15]. El desarrollo del electromagnetismo también contribuyó a la construcción de una teoría acerca de la naturaleza de la luz pues en 1865 James Clerk Maxwell, enuncia en su teoría electromagnética que la luz es una forma de onda

electromagnética de alta frecuencia ya que se genera a partir de campos eléctricos y magnéticos oscilantes los cuales se crean mutuamente, con esta teoría se calculó la velocidad de la luz (3×10^8 m/s²) [14]. Heinrich Hertz fue el primero en generar experimentalmente ondas electromagnéticas, además descubre el efecto fotoeléctrico ya que observó que una placa metálica emite carga cuando se expone a luz ultravioleta. Este efecto no podía ser explicado con la teoría ondulatoria de la luz [14]. La teoría electromagnética también arrojaba una dualidad en el comportamiento de la luz y aunque los aportes de Maxwell y Hertz son cruciales es Albert Einstein quien a través de la publicación del artículo "*the electrodynamic's motion bodies*" en 1905, propone la idea de los cuantos de luz y de esta manera explicaba el efecto fotoeléctrico. Básicamente Einstein une la teoría corpuscular con la teoría ondulatoria a través de la siguiente expresión $E = hf$, la cual indica que la energía de un fotón es proporcional a la frecuencia de la onda electromagnética. Para explicar el efecto fotoeléctrico, Einstein afirmó que este efecto es el resultado de la transferencia de energía de un fotón a un electrón [14].

2.2 De la interferencia a la difracción de la luz

Antes de abordar el tema central de este proyecto, se hará una introducción acerca de las ondas mecánicas y los fenómenos ondulatorios. Seguido a esto se tratará la interferencia y difracción de la luz y la relación entre ellas.

2.2.1 Características de las ondas mecánicas

Una onda se define como la perturbación de un medio o del espacio en el caso de las ondas electromagnéticas. Las ondas como el sonido, la luz, las generadas en una cuerda, o las formadas en la superficie del agua tienen la propiedad de transmitir energía a través del medio en el que sean generadas, a esto se le conocen como movimiento ondulatorio. Supongamos un gotero ubicado sobre un pequeño estanque de agua, en el cual se encuentra una pequeña pelota de plástico flotando. Cuando al estanque caen gotas de agua que provienen del gotero, se genera una perturbación en la superficie del agua del estanque, a esto se le llama movimiento ondulatorio. Este movimiento se genera ya que las

partículas del agua del estanque ubicadas justo debajo del gotero son empujadas hacia abajo por las gotas, debido a la elasticidad del medio, las moléculas de agua se mueven de nuevo hacia arriba hasta lograr su posición de equilibrio, describiendo un movimiento armónico simple. Este movimiento es realizado por todas las partículas del agua del estanque, es decir se transmite energía al medio, este efecto se puede observar a través de la pelota que flota en el agua del estanque, la cual se mueve hacia arriba y hacia abajo sin desplazarse hacia las orillas del recipiente [15].

Existen diferentes tipos de ondas las cuales se clasifican de acuerdo al medio en el que se propagan y su dirección de propagación. El mapa conceptual de la figura 2.1 muestra los criterios de clasificación de las ondas y sus respectivas características.

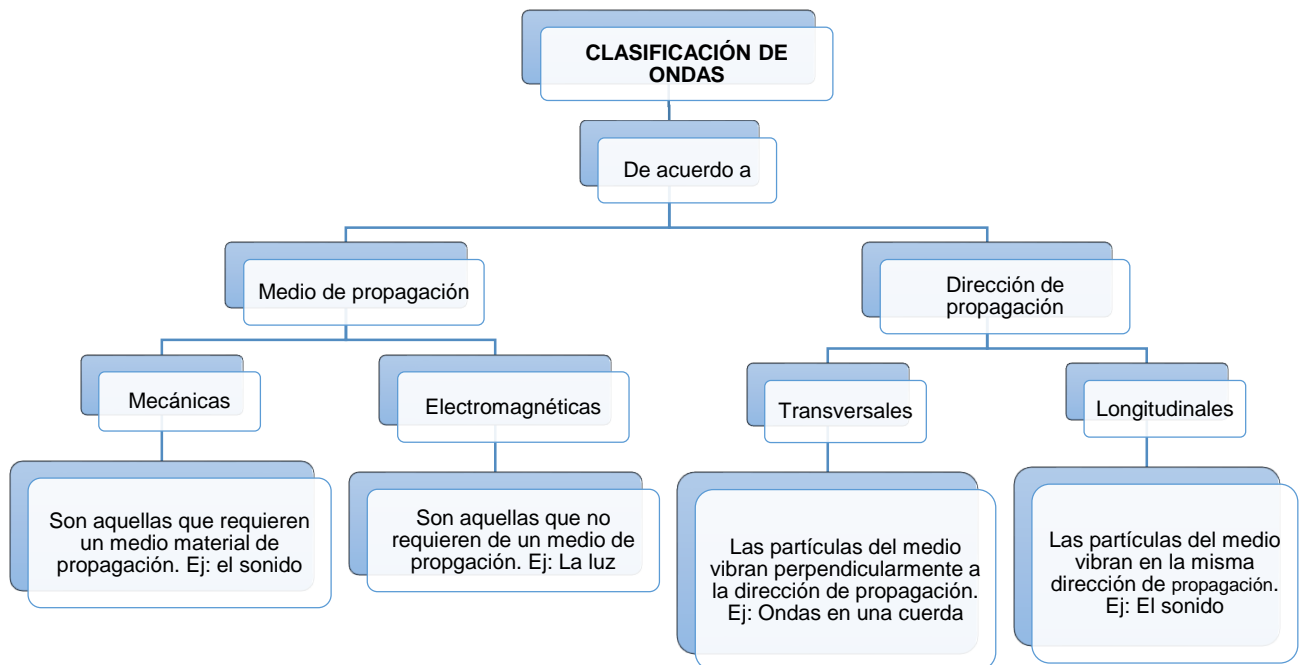


Figura 2. 1 Clasificación de ondas [15]

En la figura 2.2 se muestran las partes de una onda cuya descripción se hará a continuación:

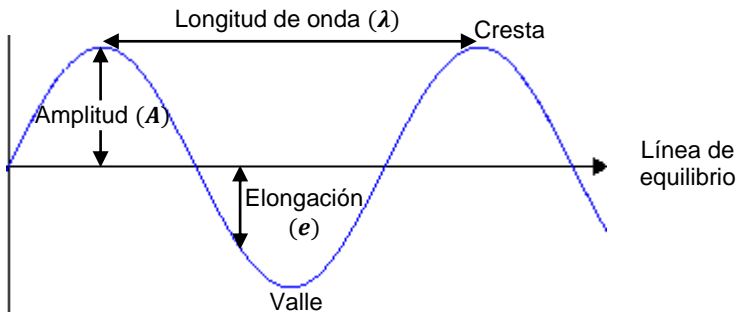


Figura 2. 2 Partes de una onda [14]

Línea de equilibrio:

Corresponde a la posición que ocupan las partículas de un medio cuando se encuentran en reposo, es decir cuando no se genera una onda en él [21].

Elongación (e):

Es la distancia entre la posición de cualquier partícula del

medio y el punto de equilibrio [21].

Amplitud (A): Corresponde a la máxima separación entre la posición de cualquier partícula del medio y su posición de equilibrio [21].

Longitud de Onda: En diferentes textos definen la longitud de onda como la distancia entre cresta y cresta o valle y valle, sin embargo la longitud de onda puede entenderse como el espacio en el que se desarrolla una oscilación completa. En la figura 2.2 se observa una línea roja que señala este espacio [21].

Cuando se describe el movimiento ondulatorio, se utilizan las siguientes magnitudes:

Periodo (T): Es el tiempo en el que se efectúa una oscilación. El periodo puede calcularse a través de la siguiente ecuación [21].

$$T = \frac{t}{n} \quad 2.1$$

Donde t es un intervalo de tiempo y n es el número de oscilaciones realizadas en el intervalo de tiempo medido.

Frecuencia (f): Corresponde al número de oscilaciones realizadas en una unidad de tiempo. La frecuencia se puede calcular a través de la siguiente ecuación. La frecuencia es el valor inverso del periodo [21].

$$f = \frac{n}{t} = \frac{1}{T} \quad 2.2$$

Velocidad (v): Una onda se propaga con velocidad constante siempre y cuando las condiciones del medio no varíen. En la ecuación 2.3 se puede observar que la velocidad no depende de la amplitud de la onda, la frecuencia y la longitud de onda [21].

$$v = \lambda f \quad 2.3$$

2.2.2 Fenómenos ondulatorios

Cuando una onda se propaga en un medio o en el espacio puede presentar cambios en su dirección de propagación, en su velocidad y en general en cualquiera de sus características, si interactúa con obstáculos, bordes, etc. [14]. A continuación se presentarán los principales fenómenos ondulatorios usando como ejemplo prácticas de laboratorio desarrolladas usando cubetas de ondas.

➤ REFLEXIÓN

Sí en una cubeta de ondas se generan ondas planas, estas comenzarán a desplazarse a través de la superficie del agua, al llegar a un obstáculo ocurren dos fenómenos, difracción, el cual trataremos más adelante, y reflexión. Como se observa en la fotografía de la derecha de la figura 2.3, al interactuar con el obstáculo las ondas cambian su dirección de propagación conservando el frente de onda, amplitud, velocidad y por lo tanto frecuencia y longitud de onda [14].



Figura 2. 3 Imágenes tomadas del video: <https://www.youtube.com/watch?v=nklnOdBaQpE> (fecha: 29 de marzo del 2016). En la imagen de la izquierda se observa el desplazamiento de la onda antes de chocar con un obstáculo y en la derecha se puede observar la onda reflejada.

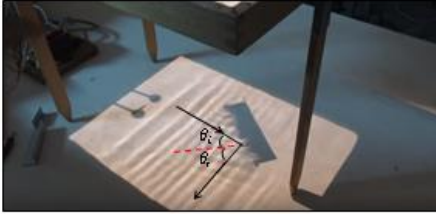


Figura 2. 4 Ley de la reflexión en cubeta de ondas. $\theta_i = \theta_r$ [14]

El cambio en la dirección de propagación de la onda se rige por la ley de la reflexión la cual fue enunciada por primera vez en el libro *Catoptrics*, escrito por Euclides [2]. Esta ley propone que se represente a través de rayos la dirección de propagación de la luz, en nuestro caso la dirección de propagación de

una onda en el agua, de tal manera que el ángulo θ_i , ángulo incidente formado entre el rayo incidente y la normal de la superficie reflectora, es igual al ángulo θ_r que es el ángulo de reflexión formado entre el rayo reflejado y la normal de la superficie reflectora. En la figura 2.4 se representan los rayos incidente y reflejado, los cuales indican la dirección de la onda incidente y la reflejada, además se puede observar los ángulos de incidencia.

➤ REFRACCIÓN

Para describir este fenómeno, generaremos de nuevo ondas planas en una cubeta de ondas, en la figura 2.5 se puede observar que las ondas planas iniciales se desvían ya que a cierta distancia de la fuente de estas ondas, se sumerge un objeto plano de vidrio lo cual implica que un cambio de medio de propagación y esto genera que las ondas que se propagan en la superficie del agua cambien la dirección y la magnitud de su velocidad, esto se puede evidenciar ya que las ondas que se propagan sobre el obstáculo se retrasan con respecto a las que se propagan fuera del mismo [15].

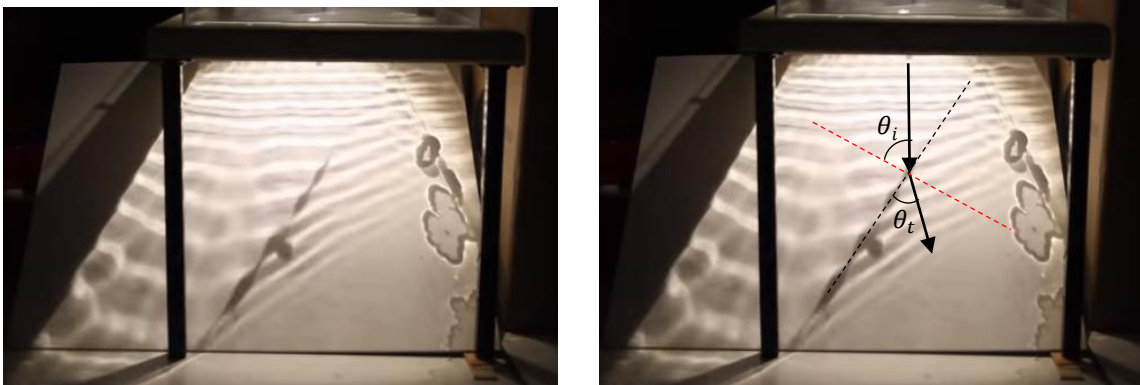


Figura 2. 5 En la fotografía se observa un cambio de velocidad (magnitud y dirección) de la onda cuando cambia el medio de propagación Imagen tomada del video:
https://www.youtube.com/watch?v=G_BlbMMubSU (fecha: 29 de marzo del 2016)

En la imagen de la derecha de la figura 2.5, se representa a través de rayos la desviación de la propagación de las ondas en el agua, generada por un cambio de medio. Los ángulos de incidencia y refracción, dependen de los medios, incidente y refractor, la ley propuesta por Willebrord Snell, la cual corresponde a la primera parte de la ley de la refracción permite relacionar los ángulos con los índices de refracción los cuales dependen del medio [13].

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad 2.4$$

Donde n_i es el índice de refracción del medio inicial, θ_i corresponde al ángulo de incidencia formado entre la dirección de la onda en el medio inicial y la normal a la frontera entre los dos medios, n_t es el índice de refracción del medio refractor y θ_t corresponde al ángulo de refracción debida al cambio de medio.

➤ INTERFERENCIA

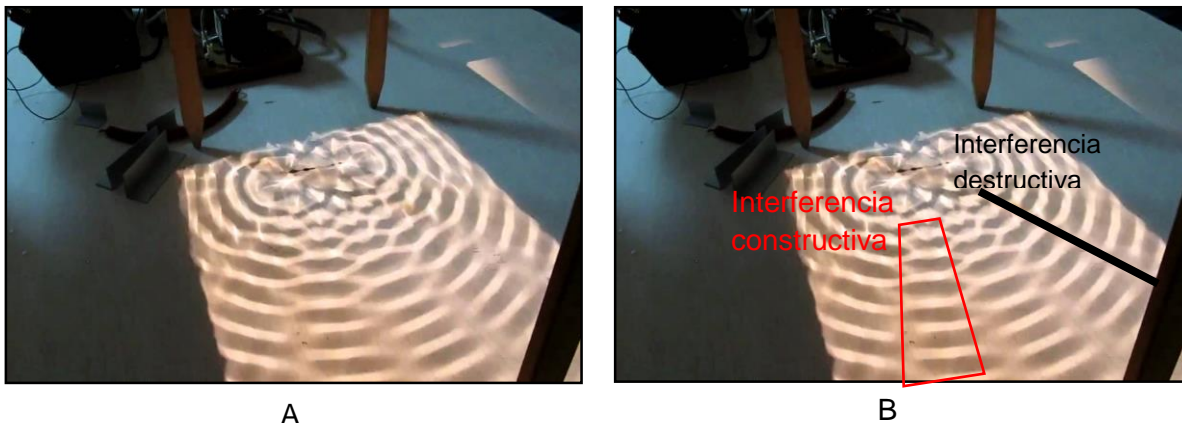


Figura 2.6 A. patrón de interferencia de dos ondas esféricas. B. Regiones del espacio donde hay interferencia constructiva e interferencia destructiva. Imágenes tomadas del video: https://www.youtube.com/watch?v=G_BlbMMubSU (fecha: 29 de marzo del 2016)

La interferencia entre dos o más ondas se produce debido a la superposición de ondas de la misma naturaleza en una misma región del espacio. La fotografía A de la figura 2.6 muestra el patrón de interferencia formado cuando dos ondas esféricas son generadas en la cubeta de ondas el cual tiene dos características que se pueden observar a simple vista, en primer lugar se encuentran unas franjas blancas, radiales al punto en donde se generan estas ondas, en estos espacios en blanco no hay onda, es decir hay interferencia destructiva mientras que en el resto del espacio delimitado por la cubeta, se pueden observar ondas propagándose radialmente desde el punto en donde se originan dichas ondas hasta el borde de la cubeta, estas ondas dan cuenta de la interferencia constructiva.

La interferencia constructiva se genera cuando las ondas que interactúan se encuentran en fase en el mismo punto del espacio, estar en fase significa que coincide la misma parte de la onda. Esta interferencia se puede representar gráficamente como se muestra en la figura 2.7 A, las crestas de las ondas que se originan en los focos 1 y 2 coinciden en el mismo punto del espacio. En general la interferencia constructiva es generada cuando coinciden las crestas o los valles de las ondas iniciales formando una onda de mayor amplitud [14]. Por otra parte, la interferencia destructiva es generada cuando las ondas iniciales coinciden en un punto del espacio pero no están en fase, es decir que en la misma región del espacio se encuentran partes diferentes de las ondas. Gráficamente se puede representar la interferencia destructiva como indica la figura 2.7 B, en la cual se observa que dos ondas son generadas en un mismo medio desde los focos 1 y 2 respectivamente y en un punto del espacio estas dos ondas coinciden, sin embargo en este punto se encuentra la cresta de la onda enviada desde el foco 1 con el valle de la onda emitida por el foco 2.

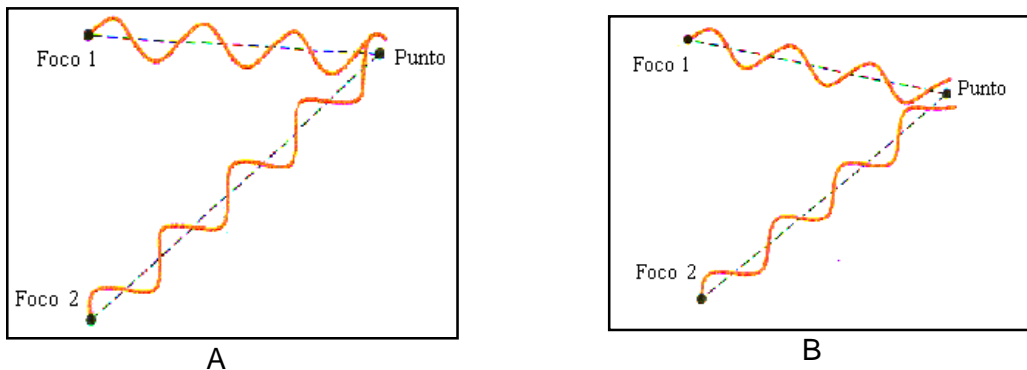


Figura 2.7 A. Interferencia constructiva: ondas en fase, en el mismo punto coinciden sus crestas <http://html.rincondelvago.com/000580804.png> (fecha: 29 de marzo de 2016). B. Interferencia destructiva: ondas en desfase, en el mismo punto coincide la cresta de una onda con el valle de la otra onda. <http://www.sociedadelainformacion.com/departfqto barra/ondas/interferencia/Grafico5.gif> (fecha: 29 de marzo de 2016)

➤ DIFRACCIÓN

Una onda se difracta cuando atraviesa un agujero de dimensiones similares a las de su longitud de onda o cuando interactúa con un borde [14]. En la figura 2.8 A, se puede observar que las ondas planas generadas inicialmente, llegan a un obstáculo en cuyos bordes se observa que estas ondas se curvan, es decir cambian su frente de onda. De acuerdo al principio de Huygens, cada borde actúa como una fuente de onda independiente y debido a esto se genera una especie de interferencia entre las ondas esféricas generadas

por cada borde, sin embargo, esta interferencia tiene características muy diferentes a la interferencia generada por dos ondas esféricas como las mencionadas en el caso anterior, por lo tanto a este patrón se le conoce como difracción [13]. En la fotografía B de la figura 2.8 se observa el cambio de frente de onda debido a la interacción con un agujero.

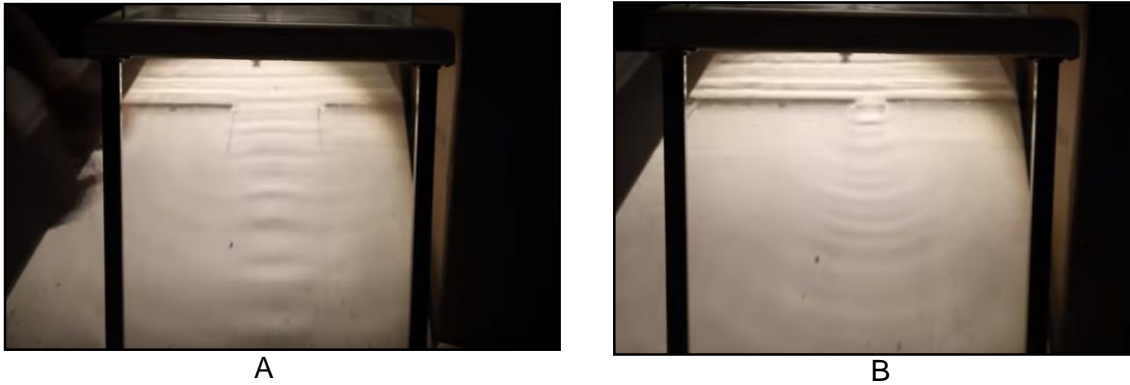
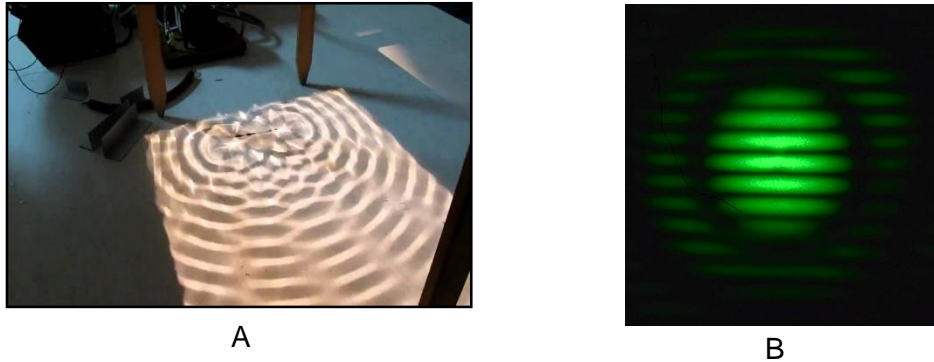


Figura 2.8 A. Patrón de difracción debido a las ondas generadas en dos bordes. B. Cambio de frente de onda. Imágenes tomadas del video: https://www.youtube.com/watch?v=G_BlbMMubSU (fecha: 29 de marzo de 2016)

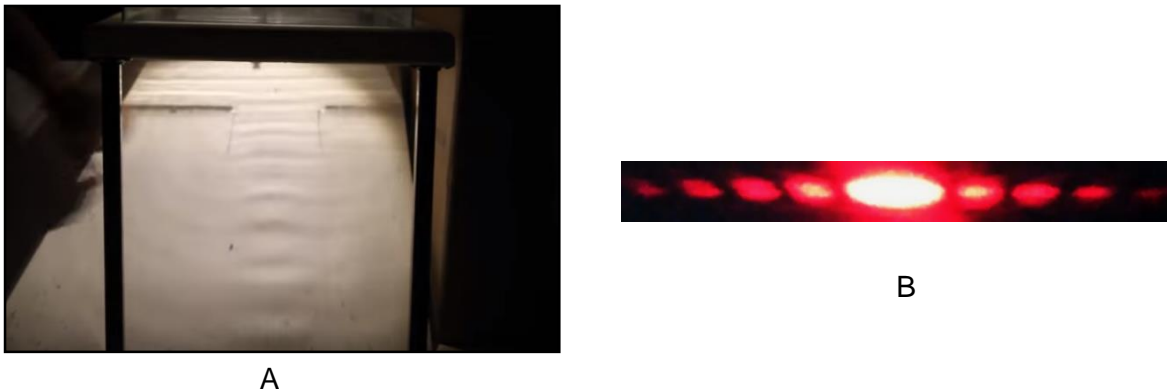
2.2.3 ¿Por qué la luz es una onda electromagnética?

Existen dos argumentos para explicar el comportamiento ondulatorio de la luz, el primero es desde el punto de vista experimental, ya que el bajo ciertas condiciones especiales la luz presenta fenómenos similares a los que caracterizan las ondas mecánicas por ejemplo, el experimento de los agujeros de Young mostró claramente que la luz podía generar patrones de interferencia de la misma manera que las ondas mecánicas [14]. En la figura 2.9 se observa el patrón de interferencia generado por ondas en el agua, el cual se caracteriza por franjas de interferencia constructiva y franjas de interferencia destructiva, y una fotografía tomada de un patrón de interferencia de la luz cuando se ilumina con un apuntador láser un par de agujeros muy pequeños y muy cercanos [13]. Al comparar estas dos fotografías, se puede concluir que la luz además de la reflexión y la refracción, también puede generar patrones de interferencia por lo tanto puede considerarse como una onda.



A B
Figura 2.9 A. Patrón de interferencia de ondas en el agua (ondas mecánicas) https://www.youtube.com/watch?v=G_BlbMMubSU (fecha: 29 de marzo del 2016). B. Patrón de interferencia de la luz (fotografía de laboratorio).

Del mismo modo sucede con la difracción, la figura 2.10 B corresponde a una fotografía tomada del patrón generado cuando se ilumina una rendija lineal cuyo ancho es lo más próximo posible a la longitud de onda de la luz utilizada ($\lambda = 632 \text{ nm}$), si comparamos esta fotografía con la imagen 2.8 A, también podemos evidenciar un comportamiento ondulatorio de la luz ya que los patrones generados por la luz y por las ondas en el agua son similares.



A B
Figura 2.10 A. Patrón de difracción de ondas en el agua (ondas mecánicas) https://www.youtube.com/watch?v=G_BlbMMubSU (fecha: 29 de marzo de 2016). B. Patrón de difracción de la luz (fotografía de laboratorio).

Tanto en la fotografía del patrón de difracción del agua como en la del patrón de difracción de la luz se puede observar una franja de mayor intensidad en el centro de dicho patrón y a los lados de este centro, franjas de menor intensidad.

El segundo argumento que permite aceptar la idea de la luz como onda es de tipo teórico. El desarrollo del electromagnetismo permitió establecer la relación existente entre los fenómenos eléctricos y magnéticos, para ser más concretos, la teoría de los campos permitió explicar fenómenos en donde la electricidad y el magnetismo coexisten [13]. Hoy día sabemos que una carga eléctrica genera un campo eléctrico, pero si esta carga se encuentra en movimiento, además de campo eléctrico produce un campo magnético. También sabemos que la variación del campo magnético en un circuito cerrado genera una corriente eléctrica en dicho circuito y al haber cargas en movimiento, se produce campo magnético [14]. Todas estas ideas fueron postuladas por diferentes autores, sin embargo en 1865 James Clerck Maxwell las unifica en su teoría electromagnética. A partir de esta teoría, Maxwell logró explicar que la luz es una onda que se propaga en el vacío argumentando que la luz es una vibración de un campo magnético y un campo eléctrico, perpendiculares entre sí, por lo tanto no necesitaban un medio de propagación y por este motivo podemos percibir la luz que viene del espacio. Este hecho fue comprobado experimentalmente por Heinrich Hertz en 1885, quien comprobó que las ondas de radio, la luz y la radiación térmica son de la misma naturaleza y aunque son de distinta frecuencia, viajan a la misma velocidad [15].

Finalmente Maxwell usando las ecuaciones que permiten describir los fenómenos electromagnéticos, y asumiendo la luz como una onda, logra calcular la velocidad de la luz. Maxwell mostró que la velocidad de cualquier onda electromagnética depende de la permeabilidad y permisividad del medio de propagación [14].

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad 2.5$$

Para el espacio vacío se ha encontrado que la permeabilidad es $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{Ns}^2/\text{C}^2$ y la permisividad es $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{Nm}^2$. Haciendo la sustitución de estos valores en la ecuación 2.5, se encuentra que la velocidad de la luz y de cualquier onda electromagnética es $c = 2,997924 \times 10^8$, el cual corresponde al valor de la velocidad de la luz medido experimentalmente por Römer, Hertz y Michelson [13].

2.2.4 Interferencia de la luz: Experimento de los agujeros de Young

Para analizar la interferencia de la luz, tomaremos como base una práctica de laboratorio similar a la realizada por Thomas Young en 1801 en donde se observó un patrón de interferencia [15]. Esta práctica consiste en iluminar con un apuntador láser verde ($\lambda = 532 \text{ nm}$) una lámina que contiene dos agujeros redondos de $0,1 \pm 0,01 \text{ mm}$ de diámetro y la distancia entre sus centros es de $0,2 \pm 0,01 \text{ mm}$. Al realizar esta práctica se observa el patrón

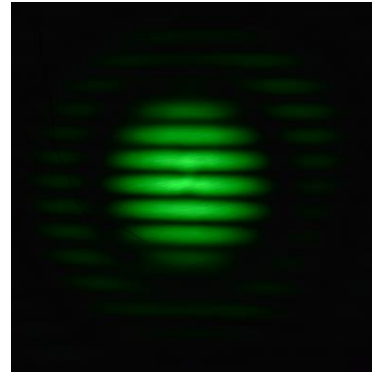


Figura 2.11 Patrón de interferencia de la luz generado al iluminar un par de agujeros circulares. (Fotografía de laboratorio).

mostrado en la figura 2.11 el cual tiene dos características importantes, la primera es la formación de un círculo central muy brillante y alrededor de este, anillos concéntricos claros y oscuros. La segunda característica son las franjas horizontales claras y oscuras que se forman tanto en el círculo central como en los anillos concéntricos.

Al iluminar la lámina que contiene los agujeros, se está enviando ondas electromagnéticas que viajan en una misma dirección y que tienen la misma longitud de onda (esta longitud de onda depende del color de la luz emitida por el láser) [13]. De acuerdo al principio de Huygens cuando la luz emitida por el láser interactúa con la lámina, cada agujero se convierte en una nueva fuente de ondas, este fenómeno es el que permite generar un patrón de difracción e interferencia. La difracción es causada por la luz que interactúa con los bordes de los agujeros, esto permite la formación del círculo central y los anillos concéntricos, mientras que la interferencia se debe a la luz que pasa a través del centro de los agujeros lo cual se manifiesta en el patrón de franjas claras y oscuras dentro del círculo central y los anillos [13].

En este ítem concentraremos nuestra atención en las franjas claras y oscuras formadas en el círculo central de la figura 2.11. Sabemos que estas franjas son características de un patrón de interferencia ya que su intensidad luminosa es la misma. Recordemos que cada agujero se convierte en una fuente de luz generando esta interferencia. En la figura 2.12 podemos observar que una franja brillante, interferencia constructiva, se obtiene cuando en

el mismo punto de la pantalla en donde se forma el patrón coinciden las crestas o los valles de las ondas luminosas provenientes de cada agujero, esto se puede observar en el punto c ubicado sobre la pantalla. Las franjas oscuras, interferencia destructiva, se originan ya que en el mismo punto de la pantalla coincide la cresta de la onda emitida por el primer agujero con el valle de la onda emitida por el segundo agujero, esto se ilustra en el punto b ubicado sobre la pantalla [13].

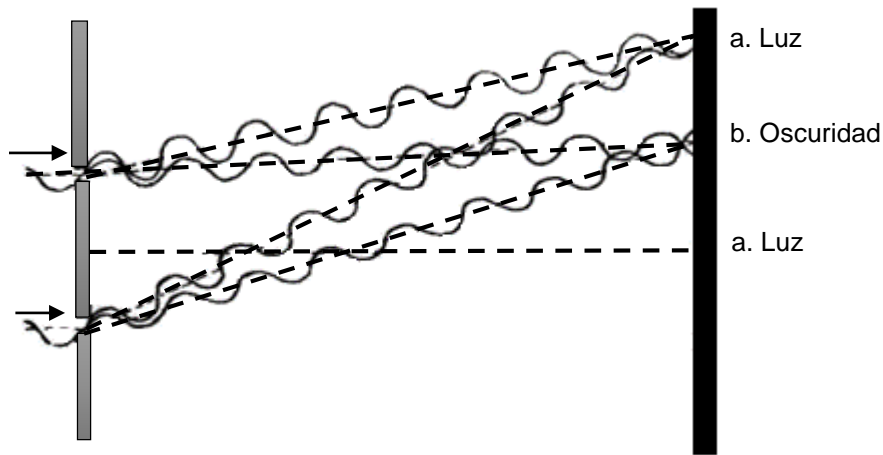


Figura 2.12 Formación de franjas brillantes y oscuras en un patrón de interferencia <http://www.librosmaravillosos.com/biografiadela fisica/imagenes/019.jpg> (fecha: 29 de marzo del 2016)

La figura 2.13 corresponde a la representación del montaje experimental de los agujeros de Young. Al lado izquierdo de la imagen se encuentra ubicada la lámina que contiene los

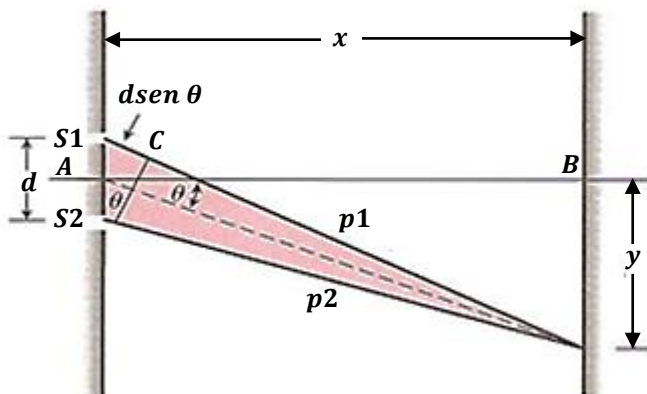


Figura 2.13 Ubicación de franjas claras y oscuras del patrón de interferencia [15]

agujeros, ubicados en las posiciones S_1 y S_2 . Al lado derecho se representa la pantalla sobre la cual se proyecta el patrón de interferencia, esta pantalla se encuentra ubicada a una distancia x de la lámina que contiene los agujeros.

Para analizar este experimento consideraremos que d es la separación entre los agujeros, ubicados en las posiciones S_1 y S_2 , p_1 y p_2 corresponden a las distancias recorridas por las ondas provenientes de S_1 y S_2 , y es la distancia entre la franja y el eje del sistema [21].

En el punto B se obtiene una franja central, clara, debido a que las dos ondas provenientes de los agujeros S_1 y S_2 recorren la misma distancia, es decir que $\Delta p = 0$. Ahora si tomamos un punto cualquiera de la pantalla, D por ejemplo, la onda que proviene del agujero S_1 recorre una distancia mayor que la onda que sale del agujero S_2 [15]. La diferencia entre estas trayectorias puede expresarse como

$$\Delta p = p_1 - p_2 = d \operatorname{sen} \theta \quad 2.6$$

Para que en D se formen franjas claras, interferencia constructiva, debe cumplirse que la diferencia entre las trayectorias sea múltiplo de la longitud de onda de la luz, es decir $0\lambda, 1\lambda, 2\lambda, \dots, n\lambda$ [15].

De este modo la ecuación 2.6 se puede escribir como sigue [15]

$$\Delta p = d \operatorname{sen} \theta = n\lambda \quad 2.7$$

Para que en D se formen franjas oscuras, debe cumplirse que [15]:

$$\Delta p = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \dots \quad 2.8$$

Entonces para la interferencia destructiva, la ecuación 2.6 puede reescribirse de la siguiente manera teniendo en cuenta que n es impar [15]

$$\Delta p = d \operatorname{sen} \theta = \frac{n}{2} \lambda \quad 2.9$$

Teniendo en cuenta que $\tan \theta = y/x$ y que para ángulos muy pequeños, como en este caso se cumple que $\tan \theta \approx \operatorname{sen} \theta$, las dos condiciones para que haya franjas claras u oscuras

en el punto D pueden expresarse en términos de la distancia entre los agujeros y la pantalla (x) y la distancia entre la franja y el eje del sistema (y) [15].

En el caso de las franjas claras, reescribimos la ecuación 2.7 así [15].

$$\Delta p = \frac{yd}{x} = n\lambda \quad 2.10$$

Y para las franjas oscuras la ecuación 2.9 en termino de x y y quedaría así

$$\Delta p = \frac{yd}{x} = \frac{n}{2}\lambda \quad 2.11$$

Las ecuaciones 2.10 y 2.11, permiten localizar las franjas claras y oscuras de un patrón de interferencia conociendo la distancia de los agujeros a la pantalla x , la longitud de onda λ y la separación entre los agujeros d [15].

La irradiancia de un patrón de interferencia analíticamente se representa como sigue [13].

$$I = 2I_0(1 + \cos \delta) = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\delta}{2} \right) \quad 2.12$$

La diferencia de fase entre las ondas incidentes sobre la pantalla es

$$\delta = k(p_1 - p_2) \quad 2.13$$

Teniendo en cuenta esto, podemos reescribir la ecuación 2.12 de la siguiente manera [13]

$$I = 4I_0 \cos^2 \left[\frac{k(p_1 - p_2)}{2} \right] \quad 2.14$$

Finalmente, reemplazando la ecuación 2.10 y la ecuación del número de onda $k = 2\pi/\lambda$ en la ecuación 2.14 obtenemos [13]

$$I = 4I_0 \cos^2 \left[\frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{yd}{x} \right) \right] \quad 2.15$$

$$I = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{yd\pi}{x\lambda} \right)$$

Esta expresión permite calcular la irradiancia de las franjas de un patrón de interferencia, como el obtenido con la práctica realizada, conociendo la posición de la franja en la pantalla (y), la separación de los agujeros (d), la longitud de onda de la luz emitida (λ) y la distancia entre la lámina que contiene los agujeros y la pantalla (x). La figura 2.14 es la representación gráfica de esta función [13].

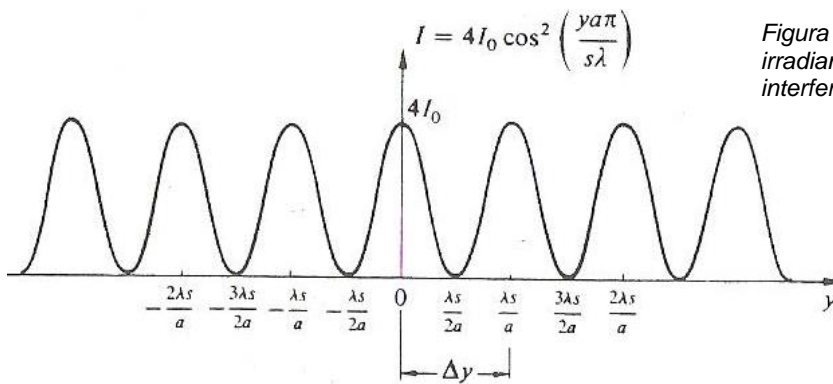


Figura 2.14. Gráfica de la irradiancia de un patrón de interferencia [13].

Retomando la práctica planteada inicialmente, analizaremos lo que ocurre cuando se varía la distancia entre los agujeros. La figura 2.15 muestra cuatro fotografías del patrón de interferencia obtenido cuando se deja constante la distancia a la pantalla (2 m aproximadamente) pero se varía la separación entre los agujeros. En la fotografía A los agujeros están lo más separados posible, pero que puedan seguir siendo iluminados por el apuntador láser, las fotografías B y C corresponde al patrón de interferencia cuando se disminuye la separación entre los agujeros y la fotografía D corresponde al patrón obtenido cuando se ilumina un par de agujeros que se encuentran a la menor distancia posible uno del otro [13].

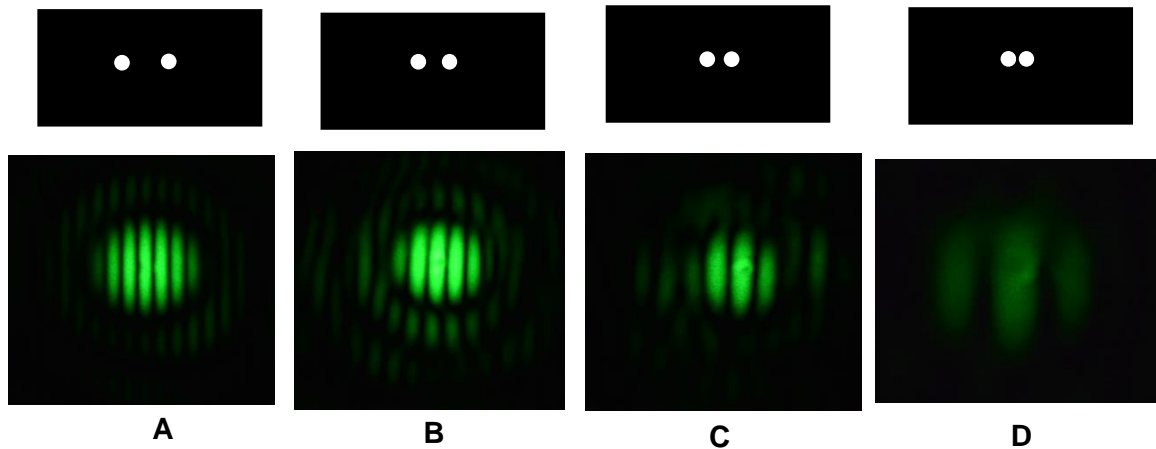


Figura 2.15. Variación en la separación de las franjas de un patrón de interferencia debido a la reducción de la distancia entre los agujeros. (Fotografías de laboratorio)

Obsérvese que entre más próximos estén los agujeros iluminados, mayor será la separación entre las franjas del patrón de interferencia, esto se hace evidente en la variación del número de franjas que se forman en el círculo central. Si ahora se unen mucho más los agujeros de tal manera que esté uno sobre el otro, entonces se observará un patrón como el mostrado en la figura 2.16 en el cual ya no se observan franjas de interferencia, únicamente se pueden observar anillos de difracción [13].

2.2.5 Difracción de la luz

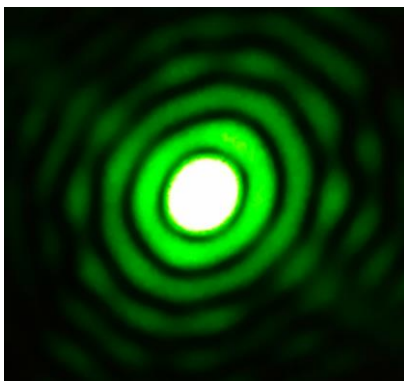


Figura 2.16. Patrón de difracción formado por una rendija circular. (Fotografía de laboratorio)

En la figura 2.16, se puede observar un círculo central muy brillante y a su alrededor anillos concéntricos que van disminuyendo su intensidad luminosa, el patrón mostrado es debido al fenómeno de difracción, como se mencionó anteriormente, este patrón se obtiene al iluminar un agujero redondo cuyo diámetro es de $0,3 \pm 0,01 \text{ mm}$, con un apuntador láser verde $\lambda = 532 \text{ nm}$. En el numeral anterior se indicó que cuando se ilumina un par de agujeros con un apuntador láser se genera un patrón de interferencia, como el mostrado en la figura 2.11, y este se debe a la interferencia de la luz que pasa por el centro de los agujeros, este patrón se caracteriza

por que sus franjas brillantes tienen igual intensidad (figura 2.14), además del patrón de interferencia, alrededor del círculo central brillante se generan unos anillos, los cuales van disminuyendo su intensidad, este patrón es generado por la difracción la cual corresponde a la interferencia de la luz que pasa por los bordes de los agujeros [13].

En otras palabras, cada vez que la luz interactúe con un borde como el de una cuchilla o con orificios muy pequeños, de dimensiones similares a la longitud de onda de la luz utilizada, su trayectoria rectilínea se desviará y posteriormente interferirá formando un patrón de franjas brillantes y oscuras pero de diferente intensidad luminosa. Este fenómeno se puede explicar a través del principio de Huygens, el cual indica que cada punto del borde iluminado se convierte en una fuente de ondas secundarias, las cuales interfieren posteriormente y forman el patrón mostrado en la fotografía de la figura 2.16. En el siglo XVII Francesco Grimaldi logra explicar la desviación de ondas mecánicas y luminosas debido a la interacción de estas con obstáculos o bordes colocados en medio de su trayectoria, este es uno de los primeros estudios que permite evidenciar el comportamiento ondulatorio de la luz [13].

2.2.6 Difracción a través de una rendija lineal

La fotografía mostrada en la figura 2.17 corresponde al patrón de difracción formado al iluminar con un apuntador láser rojo ($\lambda = 632 \text{ nm}$) una rendija lineal de $0,3 \pm 0,01 \text{ mm}$ de ancho. Obsérvese que este patrón tiene características similares al patrón de interferencia, sin embargo estos difieren en la intensidad luminosa y el ancho de las franjas y su separación. Nótese que en este patrón se encuentra un máximo central, orden cero de difracción, y a los costados de él se observan franjas brillantes que van disminuyendo su intensidad luminosa, del mismo modo ocurre con la separación entre las franjas consecutivas ya que la distancia entre si también disminuye. Para entender este patrón analizaremos varios principios y consideraciones generales postuladas por diferentes autores que permiten explicar la naturaleza de este fenómeno.



Figura 2.17. Patrón de difracción formado por un agujero.
(Fotografía de laboratorio)

El principio de Huygens enuncia que cada punto del frente de una onda es a su vez una fuente de ondas esféricas (figura 2.18) [15], de tal manera que la envolvente de estas ondas esféricas secundarias determina la forma de la onda (frente de onda). En el caso de la difracción de la luz, este principio se aplica para explicar la interacción de la luz con los bordes, es decir que cuando la luz llega a un borde, se desvía porque cada punto de ese borde actúa como una fuente secundaria de luz, la luz emitida por cada punto del borde, posteriormente interfiere formando el patrón como el mostrado en la figura 2.17. [13].

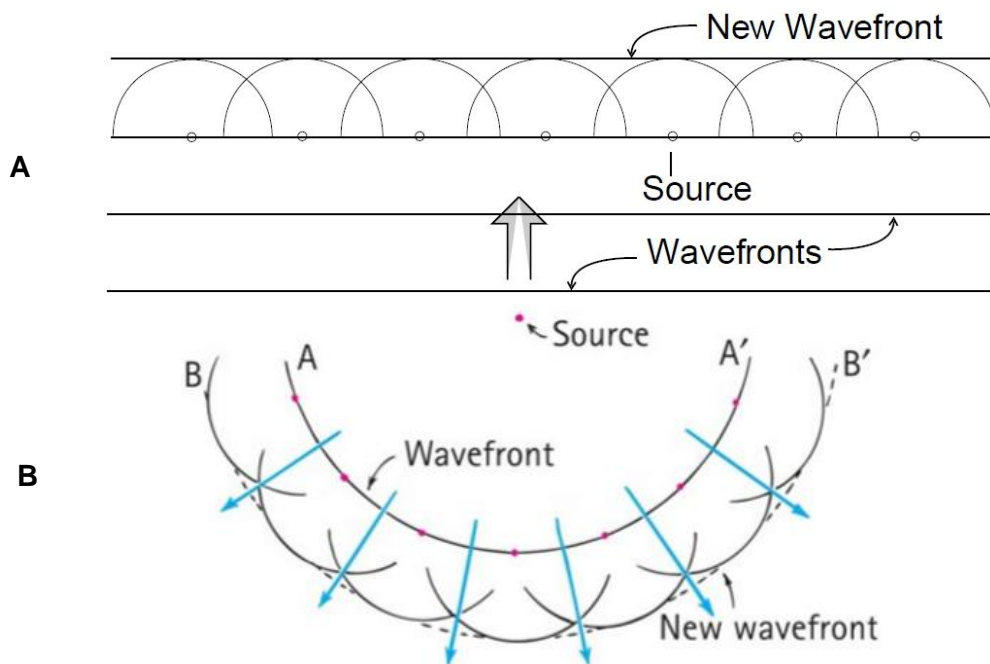


Figura 2.18. Principio de Huygens para ondas planas Fig A https://www.google.com.co/search?q=huygens+principle+animation&biw=1366&bih=643&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjQ65Kng_XLAhUDlpoKHfHsA-oQsAQIGQ#tbn=isch&q=huygens+principle+&imgsrc=gyzbJ5ypzTclIM%3A (4 de abril del 2016) y ondas esféricas Fig B <http://slideplayer.com/slide/677049/> (4 de abril del 2016)

Fresnel complementa el principio de Huygens incluyendo la frecuencia y la longitud de onda de la luz como variables que influyen en la formación del patrón de difracción. El principio de Huygens-Fresnel indica que “Cada punto sin obstrucción de un frente de onda, en un instante de tiempo determinado, sirve como fuente de trenes de onda secundarios esféricos (de la misma frecuencia que la onda primaria) [13]. La amplitud del campo óptico en cualquier punto más allá es la superposición de todos estos trenes de onda (considerando

sus amplitudes y fases relativas)” [13]. Este principio se ve reflejado en la variación del ancho de las franjas de un patrón de difracción cuando se varía la longitud de onda o la abertura de la rendija.

Un ejemplo del principio de Huygens – Fresnel se puede evidenciar a través de la siguiente práctica. Se tienen cuatro rendijas rectangulares cuyos anchos son $0,01 \pm 0,01 \text{ mm}$ (figura 2.19 A), $0,2 \pm 0,01 \text{ mm}$ (figura 2.19 B), $0,3 \pm 0,01 \text{ mm}$ (figura 2.19 C) y $1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ (figura 2.19 D). Cada rendija es iluminada con un apuntador láser rojo ($\lambda = 632 \text{ nm}$) y se obtiene en una pared blanca, ubicada aproximadamente a 3 metros de la rendija, los patrones mostrados en las fotografías ubicadas frente a cada rendija en la figura 2.19, en esta práctica el objetivo es observar el cambio de un patrón de difracción cuando se varía el ancho de la rendija manteniendo constante la longitud de onda. En las fotografías se puede evidenciar una variación en el ancho del orden cero de difracción, la fotografía A, muestra el patrón obtenido cuando la abertura es muy pequeña, es decir cuando el orificio es de dimensiones cercanas a la longitud de onda de la luz emitida por el láser rojo, la fotografía B corresponde al patrón de difracción formado por una abertura un poco más grande que la anterior y las fotografías C y D muestran el patrón formado por una abertura de longitud mucho mayor que la longitud de onda de la luz emitida por el láser. La amplitud del campo óptico, ancho del orden cero de difracción, varía inversamente al ancho de la rendija [13].

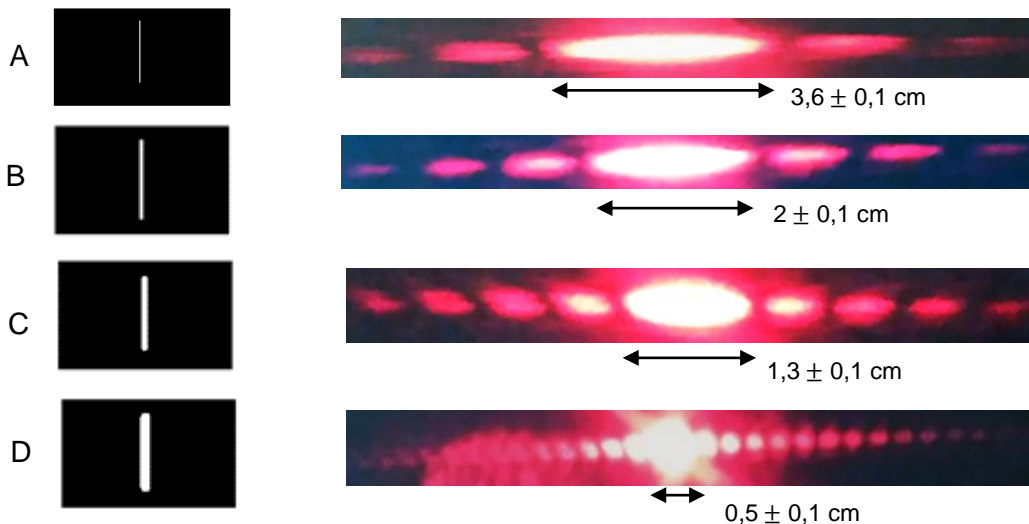


Figura 2.19. Fotografías de la variación del orden cero de difracción con respecto a la variación del ancho de la rendija (fotografías de laboratorio).

Los dos principios anteriores enuncian que al cambiar la longitud de onda de la fuente o el ancho de la rendija rectangular varía el ancho del orden cero de difracción, sin embargo estas no son las únicas condiciones que varían el patrón de difracción obtenido. Consideremos ahora la distancia entre la lámina que contiene la rendija y la pantalla, para ello analicemos la siguiente situación. Si tomamos una de las rendijas rectangulares de la figura 2.19, por ejemplo la C (ancho: $0,3 \pm 0,01 \text{ mm}$) y variamos la distancia de esta a la pantalla, el patrón de difracción cambiará. En la figura 2.20 A se observa la imagen obtenida cuando se emite un haz de luz rojo con un apuntador láser ubicado en S y la distancia entre la lámina que contiene la rendija rectangular Σ y la pantalla σ es de $0,3 \pm 0,01 \text{ m}$, en la fotografía se puede observar que cuando Σ y σ está muy cerca la imagen formada en la pantalla es similar a la forma de la rendija, es decir no se observa claramente un patrón de difracción como los mostrados en la figura 2.19. En la figura 2.20 B podemos observar claramente un patrón de difracción obtenido al iluminar la misma rendija del caso anterior con el apuntador láser rojo, pero esta vez la distancia entre la lámina que contiene la rendija y la pantalla es mucho mayor. Fraunhofer y Fresnel indican que el patrón de difracción formado, además de depender de la relación entre la longitud de onda y el ancho de la rendija, también depende de la distancia entre Σ y σ . Cuando están muy cercanas Σ y σ se observará la imagen de la abertura pero si Σ se va alejando de σ , se observarán las franjas características del patrón de difracción, si Σ continua alejándose el patrón generado no cambiará tan solo se verá más grande [13].

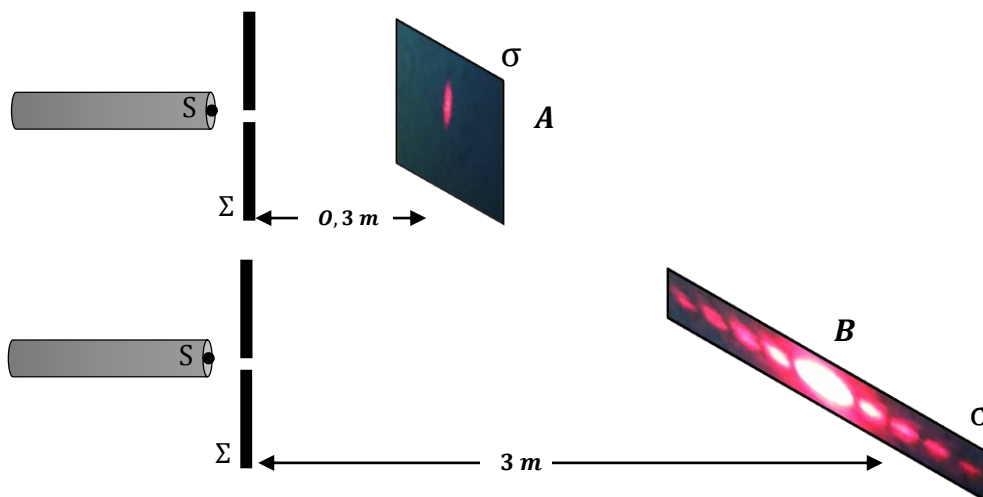
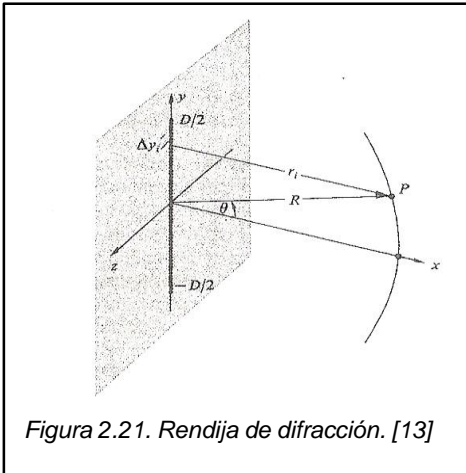


Figura 2.20 Variación del patrón de difracción con respecto a la separación entre la lámina que contiene una rendija rectangular de $0,3 \pm 0,1 \text{ mm}$ de ancho, ubicada en Σ y la pantalla σ .

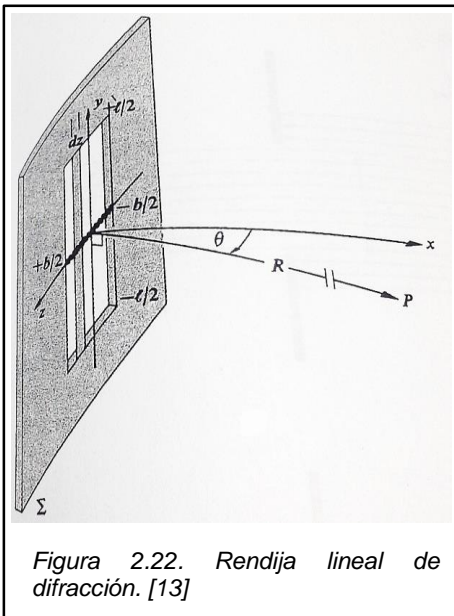
Analíticamente Fraunhofer describe la irradiancia de un patrón de difracción generado por una rendija a través de la ecuación 2.16 [13].

$$I(\theta) = I(0) \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \quad 2.16$$



Con $\beta = (kD/2) \sin \theta = (\pi D/\lambda) \sin \theta$ en la figura 2.21 podemos observar que D es la longitud de la rendija, que interpretada con base en el principio de Huygens corresponde a un conjunto de puntos los cuales son fuentes de onda y $k = 2\pi/\lambda$. Cuando la longitud de la rendija es mucho mayor que la longitud de onda, la irradiancia disminuirá notablemente y en el caso contrario, cuando la longitud de onda sea mucho mayor que la rendija, la irradiancia no varía ya que el término $\frac{\sin \beta}{\beta}$ es igual a 1, lo que ocurre para ángulos

del campo óptico muy pequeños [13].



Si ahora este análisis se hace para el ancho de la rendija, en la ecuación 2.16 $\beta = (kb/2) \sin \theta = (\pi b/\lambda) \sin \theta$, donde b es el ancho de la rendija, tal como se muestra en la figura 2.22, y θ es un ángulo medido en el plano xy . Si el ancho de la rendija es mucho mayor que la longitud de onda, la irradiancia disminuirá pero no tan rápidamente como en el caso anterior, en lugar de eso, se formarán unos máximos y mínimos característicos del patrón de difracción. Por otro lado cuando el ancho de la rendija sea muy grande, los máximos se encontrarán a una menor distancia del máximo central, si el ancho de la rendija disminuye, el ángulo del campo óptico será más

grande y así mismo la separación de las franjas [13].

La interferencia destructiva se da cuando $\beta = \pm n\pi$ con $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm n$. Teniendo en cuenta esto y que $\beta = (\pi b/\lambda) \sin \theta$, encontramos una expresión (ecuación 2.17) que permite relacionar el ancho de la rendija, con la longitud de onda de la luz emitida y con el ángulo que determina la posición del orden de difracción en la pantalla [13].

$$\begin{aligned}\beta &= n\pi \\ n\pi &= (\pi b/\lambda) \sin \theta \\ \frac{n}{\sin \theta} &= \frac{b}{\lambda}\end{aligned}$$

$$n\lambda = b \sin \theta$$

2.17

La gráfica 2.23, muestra la variación de la intensidad luminosa o irradiancia en un patrón de difracción con respecto a β que indica la posición de una franja brillante u oscura en la pantalla [13].

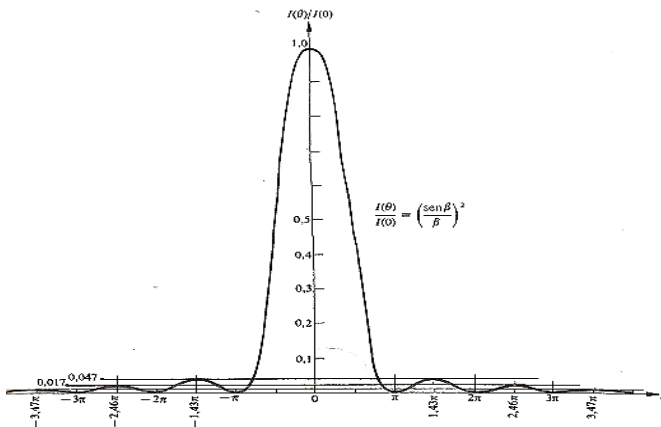


Figura 2.23 Gráfica de la irradiancia de un patrón de difracción de una rendija lineal. [13]

2.2.7 Difracción a través de una rendija circular

Cuando se ilumina con un apuntador láser un orificio circular muy pequeño cuyo diámetro es lo más cercano posible a la longitud de onda de la luz emitida por el láser, se obtiene un patrón de difracción como el mostrado en la figura 2.24. La luz que pasa por el centro del orificio son ondas que llegan en fase a la pantalla de observación σ , de tal modo que se observa un círculo central de mayor intensidad luminosa (orden cero de difracción), comparada con los anillos que se forman a su alrededor. Con respecto a los anillos, estos se generan debido a la interferencia constructiva y destructiva de la luz que proviene del borde del orificio. Recordemos que de acuerdo al principio de Huygens, cada punto del

borde se convierte en una fuente ondas luminosas que llegan en fase o en desfase a la pantalla de observación [13].

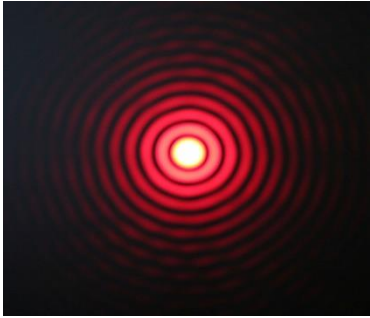


Figura 2.24. Patrón de difracción generado por un orificio circular <http://www.heurema.com/PDF/PDF55-Difracorificio/PDF55-Fig1.jpg> (fecha: 31 de marzo del 2016).

Aunque varios personajes como Isaac Newton habían observado experimentalmente los anillos de difracción, fue Sir George Biddell Airy (1801 - 1892) quien dedujo por primera vez la ecuación 2.18, la cual define la irradiancia del patrón de difracción generada por un orificio circular en términos del ángulo θ , el cual es muy pequeño de tal manera que puede definirse como $\theta = q/R$. La figura 2.25 muestra la geometría utilizada para el análisis de la difracción debida a un orificio circular y la gráfica de la función que relaciona la irradiancia con el ángulo θ [13].

$$I(\theta) = I(0) \left[\frac{2J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \right]^2 \quad 2.18$$

Donde $J_1(ka \sin \theta)$ es la aplicación de la función de Bessel a la expresión 2.19 la cual corresponde al efecto óptico generado en P debido a una abertura arbitraria cuando Σ y σ están muy lejanas de tal manera que θ sea un ángulo muy pequeño.

$$\tilde{\mathbf{E}} = \frac{\epsilon_A e^{i(\omega t - kR)}}{R} \int_{\rho=0}^a \int_{\phi=0}^{2\pi} e^{i(k\rho q/R)\cos(\phi - \Phi)} \rho \, d\rho \, d\phi \quad 2.19$$

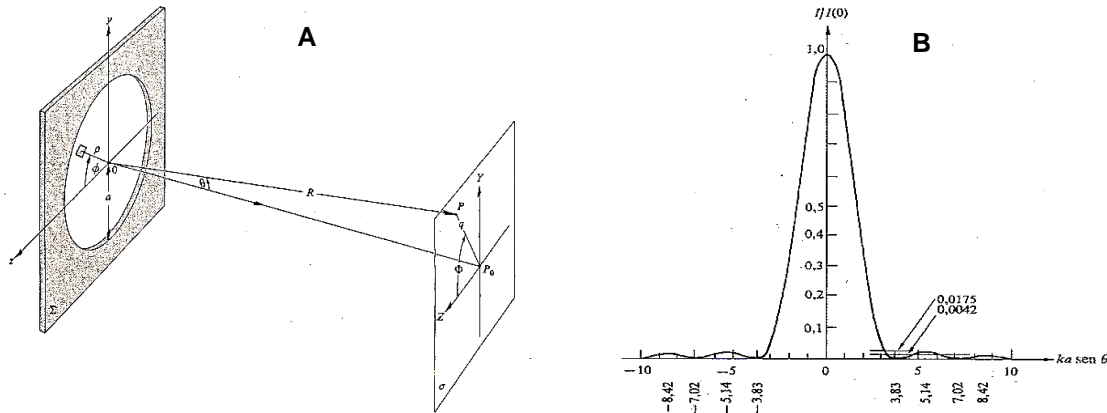


Figura 2.25 A. Representación geométrica de abertura circular. B. Gráfica de la intensidad luminosa de un patrón de difracción debida a un agujero circular [13]

2.2.8 Difracción a través de un borde

Al iluminar con un apuntador láser el borde de una cuchilla, como se realizó en una de las prácticas propuestas en la estrategia didáctica, de tal manera que solo una parte del haz emitido interactúe con el borde, se obtiene un patrón de difracción, como el mostrado en la figura 2.26 A. Este patrón es debido a dos factores, el primero es la interacción del haz de luz con el borde, de acuerdo con el principio de Huygens - Fresnel, un frente de onda es formado por la envolvente de ondas secundarias esféricas emitidas por puntos del anterior frente de onda (figura 2.18) [13]. Así mismo, cuando las ondas de luz interactúan con un borde, este se puede interpretar como una fuente de ondas secundarias de tal manera que cada punto del borde será un emisor de ondas esféricas, el segundo factor que influye en la formación del patrón de difracción, es la interferencia constructiva y destructiva entre las ondas secundarias emitidas por el borde y las ondas de luz que provienen del apuntador láser pero no interactúan con el bordo, es por eso que se forma una primera franja muy brillante y por debajo de ella franjas de menor intensidad luminosa, recordemos que a medida que crece el ángulo del campo óptico, disminuye la intensidad de las franjas. La figura 2.26B, muestra la distribución de la intensidad luminosa del patrón de difracción generado por la interacción de la luz con un borde muy fino, como el de una cuchilla de afeitar [13].

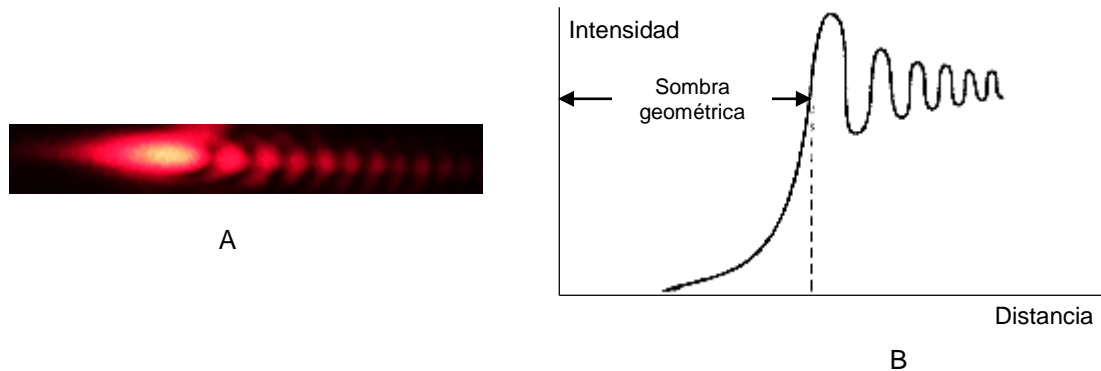


Figura 2.26. A. Patrón de difracción generado por el borde de una cuchilla de afeitar. B. Gráfica de intensidad luminosa de un patrón de difracción generado por el borde de una cuchilla de afeitar.

<http://image.slidesharecdn.com/of3diapofija-100211100352-phpapp02/95/optica-fisica-leccin-3-15-728.jpg?cb=1265882690> (fecha: 31 de marzo del 2016)

2.3 Metodología de aprendizaje activo

Hoy día existe una preocupación por el mejoramiento en las prácticas de aula de tal manera que se han generado diversas estrategias con el ánimo de que los estudiantes aumenten sus niveles de comprensión de los conceptos científicos. Un ejemplo de ello son los talleres *ALOP (Active Learning in optics and Photonics)*, dirigidos por UNESCO, estos talleres buscan planificar la enseñanza de la óptica y la fotónica haciendo uso de prácticas de laboratorio sencillas y de la metodología de aprendizaje activo [6].

La metodología de aprendizaje activo tiene como propósito que los estudiantes construyan su conocimiento a través de prácticas experimentales que les permita recrear y analizar fenómenos naturales de su contexto real. Básicamente las actividades que se diseñan e implementan tomando como referencia esta metodología, promueven un mayor interés por las ciencias ya que los estudiantes deben ser los principales autores en el desarrollo de las mismas [6].

En el aprendizaje activo, el laboratorio es visto como la principal herramienta para la construcción de conocimiento, allí se desarrollan los procesos de observación, discusión y socialización de ideas, permitiendo a los estudiantes plantear teorías y posteriormente contrastarlas con los resultados obtenidos en las prácticas. En esta metodología el maestro lidera el proceso de construcción de conocimiento, dando a los estudiantes los elementos

necesarios. Si contrastamos esta filosofía con la del aprendizaje pasivo, observamos que el laboratorio es considerado como un espacio para la confirmación de conceptos y teorías dadas por el maestro, sin permitir a los estudiantes proponer, argumentar y corroborar sus ideas entorno a su comprensión de los fenómenos naturales que ocurren en su entorno [6]. La UNESCO y su grupo de investigación construyeron *el manual de entrenamiento de aprendizaje activo de óptica y fotónica*, en este material se encuentran ocho pasos a seguir para lograr un desarrollo óptimo de actividades y estrategias que usan la metodología de aprendizaje activo [11]. A continuación se indican los ocho pasos y la descripción de cada uno de ellos que se encuentra en el manual de entrenamiento [6].

1. *El docente describe el experimento y, si fuera necesario, lo realiza sin proyectar el resultado del experimento.*
2. *Los estudiantes deben anotar su predicción individual en la Hoja de predicciones, la cual será recogida al final de la clase, y donde el estudiante debe poner su nombre. (se debe asegurar a los estudiantes que estas predicciones no serán evaluadas, aunque una parte de la nota final del curso puede ser asignada por la simple asistencia a las CID (Clases Interactivas Demostrativas)).*
3. *Los estudiantes discuten sus predicciones en un pequeño grupo de discusión con los 2 o 3 compañeros más cercanos.*
4. *El docente obtiene las predicciones más comunes de toda la clase.*
5. *Los estudiantes registran la predicción final en la Hoja de predicciones.*
6. *El docente realiza la demostración mostrando claramente los resultados.*
7. *Se pide a algunos estudiantes que describan los resultados y que los discutan en el contexto de la demostración. Los estudiantes anotan estos resultados en la Hoja de resultados, la cual llevan para estudiar.*
8. *Los estudiantes (o el docente) discuten situaciones físicas análogas con diferentes características superficiales (o, sea diferentes situaciones físicas), pero que responden al mismo concepto(s) físico.*

En el capítulo 3 (sección 3.1) de este documento se describió cómo se aplicaron los ocho pasos, propuestos en el manual de entrenamiento, en el diseño e implementación de la estrategia didáctica propuesta.

2.4 Instrumento de evaluación: Ganancia de Hake

La ganancia normalizada de Hake [16], es un instrumento que permite medir el progreso en el aprendizaje de los estudiantes, luego del desarrollo de un curso o como en este caso, la aplicación de una estrategia didáctica. El propósito es comparar los resultados obtenidos en un pretest y un postest. La ecuación 2.20 permite calcular el valor de esta ganancia.

$$\langle g \rangle = \frac{\langle \%pos \rangle - \langle \%pre \rangle}{100 - \langle \%pre \rangle} \quad 2.20$$

Donde $\langle \%pos \rangle$ corresponde al porcentaje de respuestas correctas dadas en el postest y $\langle \%pre \rangle$ es el porcentaje de respuestas correctas en el pretest. La ganancia g , es el valor que representa el progreso de los estudiantes. Hake establece unas zonas de ganancia para categorizar el avance en el aprendizaje, de esta manera se puede determinar la efectividad de una estrategia didáctica [16].

Ganancia baja cuando: $0 < g < 0,3$

Ganancia media cuando: $0,3 \leq g < 0,7$

Ganancia alta cuando: $g \geq 0,7$

En el capítulo 4 de este documento se indica cómo se aplicó esta ganancia para el análisis cuantitativo de los resultados obtenidos.

3. ESTRATEGIA DIDÁCTICA

El objetivo principal del proyecto presentado, fue diseñar e implementar una estrategia didáctica que permitiera a los estudiantes de grado undécimo comprender fenomenológicamente la interferencia y la difracción de la luz, de tal manera que puedan reconocer sus principales características, las condiciones en las que cada uno de ellos se forma y establecer la relación entre estos dos fenómenos. La estrategia planteada tiene como principal característica el uso de la metodología de aprendizaje activo, en el diseño de las guías de trabajo, proporcionadas a los estudiantes, no se evidencia en detalle el desarrollo de los pasos característicos de la metodología del aprendizaje activo, sin embargo en la implementación se procura el desarrollo de estos pasos, a pesar del corto tiempo con el que se dispone. En este capítulo se realizará una descripción del diseño general de la estrategia y el análisis de la implementación de las actividades que la componen.

3.1 Descripción general de la estrategia didáctica

La estrategia didáctica planteada está compuesta por una prueba diagnóstica, seis actividades y una prueba final. A continuación se hará una descripción general de estos tres componentes:

1. **Prueba diagnóstica:** Esta prueba consta de 15 preguntas, a través de las cuales, se buscó medir el grado de comprensión y aplicación de algunos conceptos relacionadas con las ondas mecánicas, los fenómenos ondulatorios y la óptica ondulatoria. Tales conceptos fueron abordados en el salón de clase, con la orientación de un docente distinto al autor de este trabajo de grado, durante el primer semestre del año 2015.
2. **Actividades:** Posterior a la prueba diagnóstica, se aplicó una secuencia de seis actividades, las cuales fueron diseñadas y aplicadas con base a la metodología de aprendizaje activo. Las actividades 1 y 2, se direccionaron al refuerzo de los conceptos relacionados con las ondas mecánicas, la actividad 3 se diseñó de tal manera que los estudiantes comprendieran el comportamiento ondulatorio de la luz, las actividades 4 y 5 tuvieron como propósito lograr que los estudiantes identificaran

las principales características de los fenómenos de interferencia y difracción de la luz y la relación fenomenológica entre estos fenómenos, y la actividad 6 se propuso con el fin de observar algunas aplicaciones de la interferencia y difracción de la luz.

- 3. Prueba final:** Está compuesta por las mismas 15 preguntas de la prueba diagnóstico, adicionalmente contiene 5 preguntas de profundización. La aplicación de esta prueba fue posterior al desarrollo de la secuencia de actividades, el propósito fue comparar los resultados de esta prueba con los de la prueba diagnóstico y así evidenciar la efectividad de la estrategia planteada.

3.2 Implementación

En esta sección, se hará una descripción de la población con la cual se aplicó esta estrategia, el análisis cualitativo de las respuestas obtenidas en la prueba diagnóstico, los aspectos más importantes de la aplicación de las actividades propuestas y el análisis cualitativo de las respuestas dadas por los estudiantes en la prueba final.

3.2.1 Características de la población

La institución educativa distrital Rafael Uribe Uribe, está ubicada en la localidad Ciudad Bolívar de la ciudad de Bogotá. Esta institución labora en dos jornadas, mañana y tarde, en cada una existen dos grupos por cada nivel y cada grupo está compuesto, en promedio, por 35 estudiantes. La aplicación de la estrategia diseñada, se realizó con los estudiantes del grupo 11 A, el cual está compuesto por 28 estudiantes. Los estudiantes de esta institución presentan las siguientes características:

- ✓ El contexto social de estos estudiantes es bastante violento, es un sector afectado por problemáticas sociales como pandillismo, microtráfico de sustancias psicoactivas, barras bravas, entre otros, además es un sector de la ciudad donde hay gran afluencia de familias desplazadas por el conflicto armado en Colombia, lo que implica que un gran número de estudiantes de esta institución provienen de familias desplazadas.
- ✓ Las familias que viven en esta localidad pertenecen a los estratos 0 y 1 de tal manera que los recursos económicos son limitados.

- ✓ Un porcentaje significativo de los estudiantes de esta institución consumen sustancias psicoactivas, son sometidos a trabajo infantil, son víctimas de abuso sexual y/o violencia intrafamiliar.
- ✓ El embarazo adolescente es una problemática que agobia a esta comunidad, en los grados décimo y once, el 20% de las señoritas está embarazada o ya ha sido madre.
- ✓ La institución se caracteriza por tener un alto grado de exigencia en el componente académico y el disciplinario, de tal manera que a pesar de las múltiples problemáticas del contexto de los estudiantes, la mayoría de ellos presenta un buen desempeño académico con el ánimo de construir un futuro mejor para ellos y sus familias.

La institución educativa presenta las siguientes características:

- ✓ Es una institución que se esmera por proporcionar los recursos, a estudiantes y maestros, para el óptimo desarrollo de las actividades escolares.
- ✓ De acuerdo al plan de estudios, los estudiantes deben abordar las ondas mecánicas y fenómenos ondulatorios en los grados sexto y undécimo
- ✓ De acuerdo al plan de estudios, los estudiantes deben abordar la óptica ondulatoria en el grado undécimo
- ✓ La intensidad horaria semanal para la asignatura, física, corresponde a tres horas cátedra de 55 minutos cada una. Esta intensidad horaria solo aplica para los grados décimo y undécimo, del grado preescolar a noveno los estudiantes trabajan temáticas de física en la clase de ciencias naturales dirigida generalmente por docentes de biología.

3.2.2 Prueba diagnóstica

La prueba diagnóstica (Anexo 2) aplicada al grado 11 A, conformado por un total de 28 estudiantes, está compuesta por 15 preguntas, en las cuales se indaga sobre situaciones entorno a las ondas mecánicas y la óptica ondulatoria. En la tabla 3.1, se indica el grupo de preguntas que indagan sobre las temáticas evaluadas en esta prueba. Como el eje disciplinar de la estrategia propuesta son los fenómenos de interferencia y difracción, el mayor número de preguntas indagan conceptos relacionados con dichos fenómenos.

Temáticas	Características generales de las ondas mecánicas	Fenómenos ondulatorios (ondas mecánicas)	Interferencia y difracción de la luz
Preguntas relacionadas	1, 2, 3, 5	4, 6	De la 7 a la 15

Tabla 3. 1 Agrupación de preguntas por temática.

En la tabla 3.2 se relaciona el número de pregunta y el porcentaje de estudiantes que eligió la respuesta correcta en ella (%ERCD), y un breve análisis de las respuestas dadas por el curso.

Número de pregunta	% ERCD	Análisis
1	21.42 %	El objetivo de esta pregunta fue que los estudiantes reconocieran la relación entre la fuente de un tren de ondas y la forma de las ondas generadas, aunque la mayoría de estudiantes relacionó la forma de la onda con la fuente, solo el 21,42 % consideró que las ondas generadas por la regla conservan la forma de la misma, es decir que en la cubeta se forman líneas rectas similares a la fuente.
2	21.42 %	La mayoría de estudiantes consideró que al aumentar la frecuencia de la fuente, también aumenta la frecuencia de las ondas generadas, sin embargo los estudiantes no comprenden que la forma de las ondas producidas está determinada por la forma de la fuente.
3	46.42 %	Este resultado evidenció que los estudiantes asociaron la frecuencia de la fuente con la frecuencia de las ondas generadas, es decir que la fuente determina la frecuencia del movimiento ondulatorio presentado en un medio.
4	32.14 %	En esta pregunta se esperó que los estudiantes identificaran el cambio de frente de onda, en ondas mecánicas, producido por el fenómeno de difracción. El bajo porcentaje obtenido, muestra que los estudiantes no reconocen las características de este fenómeno.
5	82.14 %	La mayoría de estudiantes mostró un alto índice de comprensión, en torno a que las ondas esféricas se generan a partir de una fuente puntual.
6	67.85 %	Este porcentaje permitió evidenciar que los estudiantes comprenden el fenómeno de interferencia, pues la mayoría escogió la gráfica en donde se observa la interacción entre dos ondas, generadas por dos fuentes puntuales, que se propagan en el mismo espacio.

Número de pregunta	% ERCD	Análisis
7	7.14 %	Los estudiantes no reconocieron las condiciones necesarias para obtener un patrón de difracción, como el mostrado en la figura de esta pregunta. La mayoría de estudiantes contestaron que este patrón, corresponde a la sombra de una lámina que tiene anillos concéntricos.
8	17.85 %	De igual manera que en la pregunta anterior, los estudiantes consideraron que la lámina que forma el patrón de difracción, mostrado en la figura de esta pregunta, contenía una imagen de forma similar al patrón obtenido.
9	17.85 %	El propósito de esta pregunta fue que los estudiantes reconozcan un patrón de difracción, a simple vista. Observemos que muy pocos estudiantes identificaron las principales características de este patrón.
10	7.14 %	A esta pregunta, la mayoría de estudiantes indicó que las franjas características de un patrón de interferencia, se obtienen al iluminar una lámina que contiene una especie de rejilla. Esto hace evidente que desconocen las condiciones necesarias para que la luz genere este patrón.
11	21.42 %	A través de este porcentaje, se evidencia que los estudiantes desconocen las características del fenómeno de la difracción de la luz y por tal motivo, no reconocieron este patrón observándolo a simple vista.
12	46.42 %	Un alto porcentaje de estudiantes, relacionó la longitud de onda de la fuente de iluminación con la separación de las franjas de un patrón de interferencia.
13	10.71 %	Este porcentaje muestra que pocos estudiantes identificaron las condiciones en las cuales se genera un patrón de interferencia. La mayoría de estudiantes indicó que al iluminar un par de puntos muy juntos y muy pequeños, se obtiene uno o dos puntos brillantes.
14	35.71 %	Un grupo significativo de estudiantes relacionó el número de franjas de un patrón de interferencia, con la separación de los agujeros que lo generan. Este porcentaje de estudiantes indicó que al separar más los puntos, se obtienen más franjas brillantes.
15	42.85	Este porcentaje refleja que un número significativo de estudiantes, reconoció el comportamiento ondulatorio de la luz ya que, bajo condiciones especiales, esta genera patrones de interferencia y difracción.

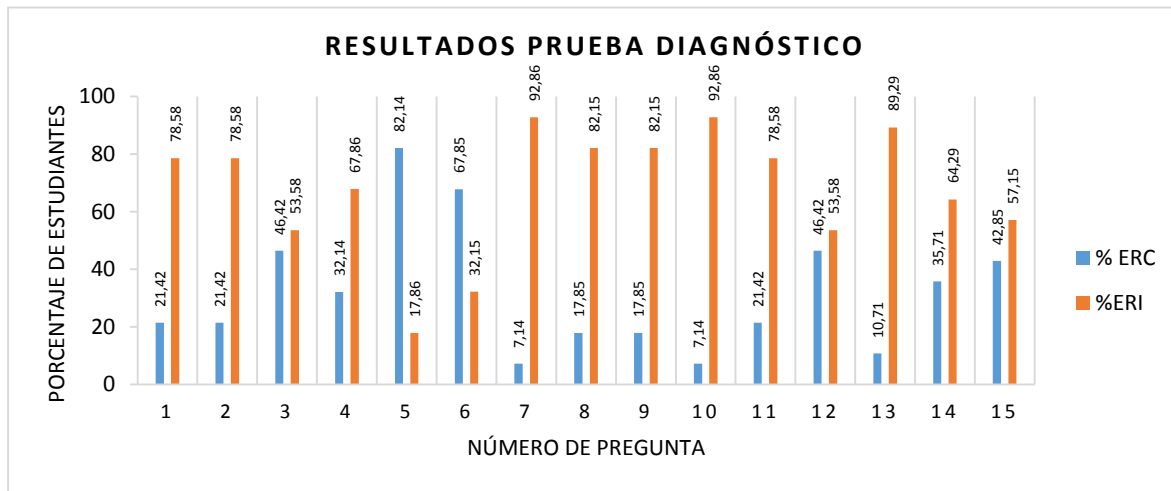
Tabla 3. 2 Análisis de las respuestas de cada pregunta en la prueba diagnóstico.

La tabla 3.3, relaciona el número de pregunta (N) con el porcentaje de estudiantes que contestó correctamente cada pregunta (%ERC) y con el porcentaje de estudiantes que

eligieron una respuesta incorrecta (%ERI), tales datos se representan gráficamente en el diagrama de barras de la figura 3.1

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
% ERCD	21,42	21,42	46,42	32,14	82,14	67,85	7,14	17,85	17,85	7,14	21,42	46,42	10,71	35,71	42,85
%ERID	78,58	78,58	53,58	67,86	17,86	32,15	92,86	82,15	82,15	92,86	78,58	53,58	89,29	64,29	57,1

Tabla 3. 3 Porcentajes de estudiantes que respondieron correcta e incorrectamente cada pregunta de la prueba diagnóstico.



Gráfica 3. 1 Porcentaje de estudiantes que respondieron correcta e incorrectamente cada pregunta de la prueba diagnóstico.

En la prueba diagnóstica se obtuvo un rendimiento satisfactorio únicamente en las preguntas 5 y 6 las cuales indagaron sobre la relación entre la fuente y el frente de onda (en ondas circulares en el agua) y la interferencia de ondas circulares en una cubeta de ondas. De la pregunta 1 a la 6 se evaluó el grado de comprensión de las características de las ondas mecánicas (en el agua) y los fenómenos ondulatorios de las mismas como se puede observar en la gráfica 3.1, la mayoría de estas preguntas fueron contestadas incorrectamente. Por otro lado observemos que de la pregunta 7 a la 15 el porcentaje de estudiantes que respondió correctamente siempre fue mucho menor que los que contestaron incorrectamente, recordemos que este grupo de preguntas corresponde a los fenómenos de interferencia y difracción de la luz. Al analizar las respuestas dadas por los estudiantes, se observa que desconocen el fenómeno de difracción de la luz y las condiciones para que este se origine (preguntas 7,8 y 9), del mismo modo ocurre con el fenómeno de interferencia (preguntas 10, 11 y 13). La pregunta 12 fue una de las preguntas de este grupo con mayor porcentaje de estudiantes que contestaron correctamente, esto

indica que los estudiantes relacionan la longitud de la onda de la luz con la separación de las franjas obtenidas al iluminar dos agujeros muy pequeños y muy cercanos. Otra pregunta importante en esta prueba es la 14, en la cual se indagó sobre el cambio en la imagen obtenida en una pantalla cuando se varía la separación entre dos agujeros muy pequeños. Las respuestas dadas por los estudiantes muestran que no reconocen las condiciones que permiten la formación de interferencia por lo tanto desconocen la relación entre la distancia de los agujeros iluminados y la distancia de las franjas obtenidas.

3.2.3 Desarrollo de las actividades

Las seis actividades propuestas dentro de la estrategia didáctica, tienen la estructura que se muestra en la tabla 3.4, en la cual se relaciona las secciones que contiene cada actividad, excepto la 1 y la 6, y los pasos de la metodología de aprendizaje activo que se siguen en cada una de ellas.

Sección de la actividad	Objetivo	Pasos de la metodología de aprendizaje activo involucradas
Antes de la práctica	El propósito de esta sección es que cada estudiante analice la o las situaciones presentadas y formule una predicción acerca de las mismas, posteriormente discute sus ideas con su grupo de trabajo de manera que construyan una predicción común, la cual será registrada en la guía de la actividad y posteriormente socializada con los demás estudiantes del curso.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planteamiento de la situación problemas a través de una práctica experimental 2. Predicciones individuales y registro 3. Discusión de predicciones en grupo 4. Registro de predicciones grupales
Compartamos ideas	La guía que se entregó a los estudiantes indica que en esta sección se debe escoger un integrante del grupo que explique y/o dibuje en el tablero la respuesta del grupo frente a las preguntas o situaciones planteadas en la sección anterior.	<ol style="list-style-type: none"> 5. Socialización y discusión de ideas.
Manos a la práctica	De la misma manera que lo indica la metodología del aprendizaje activo, esta sección pretende que los estudiantes realicen la práctica (práctica interactiva) o la observen (práctica demostrativa) y posteriormente contrasten lo observado con las predicciones propuestas por los grupos de trabajo. Los resultados obtenidos en la o las prácticas deben ser registrados en la guía de la actividad correspondiente.	<ol style="list-style-type: none"> 6. Desarrollo de la práctica usada para el planteamiento del problema. 7. Socialización, discusión y registro de resultados.

Concluycamos	Cada actividad tiene en esta sección una serie de preguntas orientadoras, las cuales pretenden hacer énfasis en los aspectos más importantes de la práctica realizada, establecer relaciones entre las variables involucradas, y a partir de esto llevar a los estudiantes a la construcción de los conceptos necesarios para dar explicación a los fenómenos observados en la práctica.	8. Uso de conceptos previos y situaciones análogas a la presentada en el problema inicial para construir una explicación del fenómeno observado.
---------------------	--	--

Tabla 3. 4 Estructura general de las actividades de la estrategia didáctica propuesta

Las secuencia de actividades se ejecutaron en 10 sesiones de aproximadamente 75 minutos cada una. Por cuestión de tiempo, las actividades siempre se desarrollaron con 7 grupos de trabajo, cada uno conformado por 4 estudiantes. A continuación se describirá cada actividad, algunas características generales y el análisis de los aportes realizados por los estudiantes en cada una de ellas.

ACTIVIDAD 1: RECONOCIENDO LAS ONDAS MECÁNICAS

- ✓ **Objetivo:** Realizar dos prácticas experimentales que permitan visualizar las ondas mecánicas e identificar sus características.
- ✓ **Descripción:** con esta actividad se pretendía reforzar algunos conceptos importantes sobre las ondas mecánicas, para ello únicamente se realizaron prácticas experimentales que permitieran describir diferentes situaciones que involucran dichas ondas. A continuación se indica las secciones que estructuran esta actividad y su respectivo contenido:
 - **Manos a la práctica 1:** en esta sección se desarrollaron 4 prácticas experimentales que permitieron observar ondas mecánicas en diferentes medios.
 - **Manos a la práctica 2:** en esta sección se realizó una práctica experimental encaminada a la comprensión de los conceptos periodo y frecuencia y la relación entre ellos.
- ✓ **Tiempo estimado de aplicación:** 1 sesión
- ✓ **Tiempo real de aplicación:** 2 sesiones

Desarrollo de las secciones manos a la práctica y concluyamos

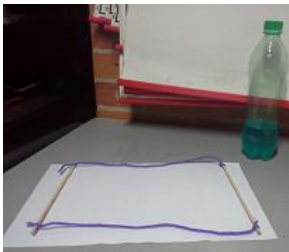
Manos a la práctica 1

Esta práctica tuvo como objeto observar ondas mecánicas formadas en diferentes medios, para ello se solicitó a cada grupo de trabajo formar ondas con los materiales proporcionados por la docente. Los materiales dados a cada grupo fueron los siguientes:

ONDA JABONOSA	MÁQUINA DE ONDAS	CUBETA DE ONDAS	GENERADOR ONDAS ESTACIONARIAS
<ul style="list-style-type: none"> • Lana • Solución jabonosa • Recipiente plano • 2 palos para pinchos 	<ul style="list-style-type: none"> • Cinta transparente • 100 palos de pinchos 	<ul style="list-style-type: none"> • Kit cubeta de ondas 	<ul style="list-style-type: none"> • Timbre antiguo (chicharra) • Hilo de caucho

Tabla 3. 5 Kit de materiales para cada práctica de la actividad 1, sección: manos a la práctica 1

Onda jabonosa



Fotografías práctica: máquina de ondas

Esta práctica fue desarrollada por dos de los siete grupos de trabajo. Los estudiantes sumergieron el dispositivo armado con los palos de pincho y la lana, en un recipiente que contenía la solución jabonosa, luego se retiró este dispositivo de tal manera que se formara una película jabonosa, la cual al moverla hacia arriba y hacia abajo, a través de los palos de pincho formó una onda.

Máquina de ondas

La máquina de ondas fue realizada por dos de los siete grupos de trabajo, la construcción de esta máquina consistió en pegar sobre la cinta transparente extendida los palos de pincho, separados entre sí aproximadamente 2 centímetros, luego se extendió el dispositivo armado y se golpeó uno de los palitos ubicados en los extremos, al hacer este procedimiento se observó una onda desplazándose por toda la máquina.



Fotografías: práctica máquina de ondas

Cubeta de ondas

A dos de los siete grupos de trabajo conformados anteriormente, se le entregó una cubeta de ondas, la cual hace parte del material con el que la institución cuenta para el desarrollo de las clases. Este grupo armó la cubeta de ondas, de acuerdo a las instrucciones dadas y posteriormente generaron ondas planas y esféricas sin variar la frecuencia del generador eléctrico de ondas, adicionalmente generaron ondas esféricas y observaron la interacción entre ellas.

Generador ondas estacionarias



A



B

Fotografías práctica ondas estacionarias: A. Timbre e hilo de caucho B. Ondas estacionarias

Un grupo de trabajo realizó esta práctica con un generador de ondas estacionarias casero entregado por la docente, para este generador se utilizó una chicharra o timbre eléctrico e hilo de caucho. Los estudiantes ataron el hilo al palito metálico que vibra en la chicharra, conectaron la chicharra y luego estiraron el caucho, al hacer este procedimiento los estudiantes observaron ondas que no se desplazaban por el hilo pero que presentaban características similares a las ondas obtenidas con las anteriores prácticas.

Socialización de las preguntas práctica 1

Cada grupo debía mostrar al curso la práctica que había desarrollado, luego responder las preguntas, ¿Qué es una onda? Y ¿Qué genera una onda?, teniendo en cuenta lo observado en la práctica realizada. Para responder estas preguntas los estudiantes se limitaron a transcribir la definición de onda que les había dado el docente de física anterior, es decir que en el momento de la socialización repitieron esta definición sin hacer ningún tipo de conexión entre ella y las prácticas observadas.

En esta práctica cada grupo debía realizar el dibujo de las ondas observadas en su práctica correspondiente e indicar las partes de la onda, en el anexo 5 se encuentran algunos de estos dibujos.

Conclusiones de los estudiantes en la práctica 1

Las respuestas registradas por los estudiantes en la guía de trabajo mostraron poca apropiación de los conceptos adquiridos anteriormente, sin embargo a través de preguntas orientadoras se logró que los estudiantes relacionaran tales conceptos con las prácticas observadas. Para lograr esto, cada grupo respondió de nuevo, verbalmente, las preguntas ¿qué es una onda? Y ¿qué genera una onda?, describiendo la práctica realizada, llegando a la concepción de una onda como la energía que se propaga a través de los palillos, del agua, del hilo de caucho o la película jabonosa y que estas ondas se generan a partir de “algo” que hace un movimiento repetitivo.

Manos a la práctica 2

Esta práctica se propuso con el fin de reforzar los conceptos de frecuencia y periodo de una onda, evidenciándolos experimentalmente y estableciendo la relación matemática entre ellos. Para ello se entregó a cada grupo de trabajo una cubeta de ondas, en la cual los estudiantes generaron ondas planas de diferente frecuencia, contaron las ondas que llegaban al extremo de la cubeta, en un tiempo determinado por ellos, y con base a esa medición se debía completar la tabla que se encuentra en la guía de trabajo (Anexo 4), finalmente respondieron las preguntas formuladas en torno a esta práctica. En la figura 3.6 se muestra una de las tablas completada por un grupo de trabajo.

CANTIDAD DE ONDAS	TIEMPO	PERIODO	FRECUENCIA
27	20.5	0.74	Baja
40	20.5	0.5	media
90	20.5	0.22	alta

Figura 3.1 Ejemplo de registro de datos práctica 2 de la actividad 1

Todos los grupos de trabajo registraron datos parecidos a los que se encuentran en la figura 3.1, es decir que el periodo es mayor para una frecuencia baja, la cual se controla en la fuente, y menor cuando la frecuencia es alta.

Conclusiones de los estudiantes en la práctica 2

Para finalizar la práctica se realizó el cierre socializando los datos registrados en las tablas, las respuestas dadas a las preguntas posteriores a la recolección de datos y observaciones de la práctica.

A la primera pregunta, todos los estudiantes contestaron que el periodo disminuye cuando la frecuencia aumenta, es decir lograron establecer la relación matemática entre estas dos variables a partir de los datos experimentales obtenidos. La segunda pregunta indagaba sobre la relación entre la velocidad y la frecuencia de las ondas en el agua, todos los estudiantes indicaron que la velocidad de la onda aumentaba al aumentar la frecuencia, es decir que relacionaron el número de ondas observadas con la velocidad de la misma. Para complementar esta pregunta, se les indagó sobre ¿qué pasaba con la distancia entre las ondas al aumentar la frecuencia? A lo cual los estudiantes respondieron que si la frecuencia es alta, la separación entre las líneas oscuras (crestas) es menor, usando estas respuestas la docente explicó que en esta práctica la velocidad no varía al aumentar la frecuencia, lo que realmente ocurre es que al aumentar la frecuencia, la longitud de onda disminuye.

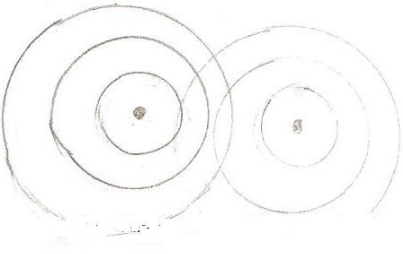
ACTIVIDAD 2: FENÓMENOS ONDULATORIOS

- ✓ **Objetivo:** Reconocer las características de los fenómenos de reflexión, refracción, interferencia y difracción en ondas mecánicas.
- ✓ **Descripción:** Esta actividad contiene las 4 secciones de la estructura general mostrada en la tabla 3.3, las cuales se describen a continuación:

- **Antes de la práctica:** esta sección contiene 4 situaciones las cuales indagaron sobre lo que se observaría al hacer una serie de prácticas, descritas en la guía de trabajo (Anexo 6) con la cubeta de ondas.
 - **Compartamos ideas:** recordemos que en esta sección se socializó las predicciones propuestas por cada grupo en la sección anterior.
 - **Manos a la práctica:** cada grupo realizó las prácticas indicadas en las situaciones descritas en la sección *antes de la práctica* y registró los resultados obtenidos en la guía de trabajo.
 - **Concluamos:** esta sección contiene 4 preguntas orientadores cuyo propósito fue direccionar la discusión de resultados hacia la construcción de los conceptos asociados a las prácticas desarrolladas.
- ✓ **Tiempo estimado de aplicación:** 1 sesión
- ✓ **Tiempo real de aplicación:** 1 sesión

Predicciones más relevantes en la sección *antes de la práctica*

En tabla 3.6, se muestran los dibujos más representativos que los estudiantes realizaron en las predicciones de las situaciones propuestas en la guía de trabajo entregada.

situación	Dibujo más común	Descripción de predicciones
a		5 de los 7 grupos realizaron esta predicción, los otros dos dibujos mostraban un movimiento desorganizado

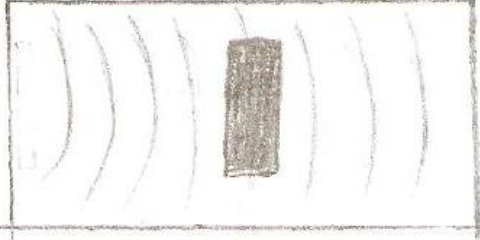
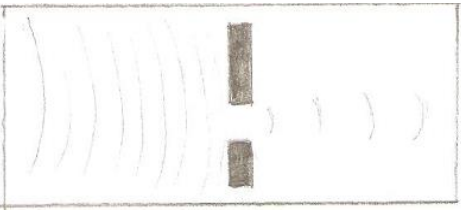
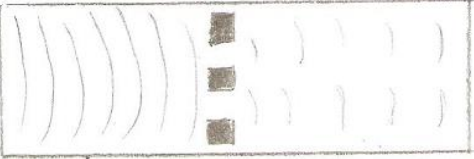
b		Los 7 grupos realizaron esta predicción en la cual se observa que el objeto sumergido no afecta ni la propagación, ni el frente de las ondas.
c		5 de los 7 grupos realizaron esta predicción donde se evidencia que la onda pasa a través del orificio cambiando su frente de onda y posteriormente se propaga únicamente frente al orificio.
d		6 grupos realizaron este dibujo, en el cual se evidencia que las ondas pasan a través de los agujeros cambian su frente de onda pero no se observa una interacción entre estas ondas.

Tabla 3. 6 Predicciones más comunes de los estudiantes en la sección: antes de la práctica de la actividad 2

Desarrollo de las secciones manos a la práctica y concluyamos

Con el material proporcionado los estudiantes realizaron las prácticas enunciadas en cada situación de la sección *antes de la práctica* y posteriormente registraron los resultados en la sección *manos a la práctica*. La tabla que se encuentra en el anexo 7, muestra un ejemplo de los resultados registrados por uno de los 7 grupos en la guía de la actividad 2. En este ejemplo, se evidencia que los estudiantes lograron caracterizar los fenómenos ondulatorios relacionados con cada situación. En la situación **a**, los estudiantes lograron observar un patrón de interferencia debido a la superposición de ondas esféricas, este fenómeno ellos lo describen como ondas que se entrelazan, con la particularidad de que hay zonas donde no se observa onda y otras donde sí. En la situación **b**, los estudiantes observaron el

“retraso de la onda” cuando pasa sobre la lámina de acrílico sumergida en la cubeta de ondas, reconociendo el fenómeno de refracción. En la situación **c**, los estudiantes coincidieron en el cambio de frente de onda que se genera cuando esta se propaga a través del orificio del obstáculo, sin embargo ningún grupo mencionó la curvatura de la onda en los bordes del agujero y en la situación **d**, los grupos observaron que se genera un patrón muy parecido al de la situación **a**, ellos lo describieron como un cruce de ondas esféricas, haciendo alusión a la interferencia entre las ondas difractadas por los orificios del obstáculo.

Con el ánimo de reforzar los resultados de las prácticas realizadas y de dar un nombre a cada fenómeno observado, se mostró a los estudiantes videos de la red social YOUTUBE, donde se desarrollaron prácticas de fenómenos ondulatorios en cubetas de ondas, de mejor calidad y condiciones de iluminación más apropiadas, para evidenciar las características de cada fenómeno.

Conclusiones de los estudiantes

El cierre de esta práctica se realizó a través de la discusión de las preguntas orientadoras que se encuentran en la sección *concluycamos*, cuyos propósitos son destacar los resultados más importantes de la práctica realizada y hacer énfasis en los conceptos que se necesitarán para el desarrollo de las actividades posteriores. Las ideas más relevantes que los estudiantes construyeron fueron:

- Cuando hay dos o más ondas en un mismo espacio, hay lugares donde hay onda y otros donde no, este fenómeno es interferencia.
- Cuando una onda pasa a través de un pequeño agujero, cambia su forma (frente de onda), además como se observó en los videos se dobla en los bordes del agujero. Este fenómeno se llama difracción.
- Se puede generar otras ondas a partir de una sola, por ejemplo en el experimento que hicimos (situación **d**) se observó que se producía una onda plana y luego esta se convertía en dos esféricas de tal manera que se veía un efecto parecido al del primer ejercicio (situación **a**).

ACTIVIDAD 3: ¿QUÉ ES LA LUZ?

- ✓ **Objetivo:** Evidenciar experimentalmente el comportamiento ondulatorio de la luz a través de prácticas experimentales donde la luz, bajo condiciones especiales, genera patrones de interferencia y difracción.
- ✓ **Descripción:** Esta actividad contiene las 4 secciones de la estructura general mostrada en la tabla 3.3, las cuales se describen a continuación:
 - **Antes de la práctica:** esta sección contiene 5 situaciones, las cuales indagaron sobre lo que se observaría al iluminar con una linterna y con un apuntador láser unas láminas, cuyo contenido fue descrito en la guía de trabajo 3 (Anexo 8)
 - **Compartamos ideas:** recordemos que en esta sección se socializó las predicciones propuestas por cada grupo en la sección anterior.
 - **Manos a la práctica 1:** cada grupo realizó las prácticas indicadas en las situaciones descritas en la sección *antes de la práctica* y registró los resultados obtenidos en la guía de trabajo 3.
 - **Manos a la práctica 2:** en esta sección cada grupo realizó un ejercicio para recrear el modelo usado por Thomas Young para explicar la formación de franjas brillantes y oscuras de un patrón de difracción.
 - **Concluamos:** esta sección contiene 3 preguntas orientadores cuyo propósito fue direccionar la discusión de resultados hacia la construcción de los conceptos asociados a las prácticas desarrolladas.
- ✓ **Tiempo estimado de aplicación:** 2 sesiones
- ✓ **Tiempo real de aplicación:** 2 sesiones

Predicciones más relevantes en la sección *antes de la práctica*

Las predicciones más comunes dadas por los grupos de trabajo se relacionan en la tabla 3.7.



Situación	Dibujos		Descripción de predicciones
	Sombra obtenida con linterna	Sombra obtenida con apuntador láser	
a	 Dibujo de 4 grupos.	 Dibujo de todos los grupos.	Estas predicciones permiten evidenciar respuestas provenientes de la suposición sin tener en cuenta los conocimientos previos sobre los fenómenos ondulatorios.
b	4 grupos dibujaron 2 puntos Y 3 grupos un punto.	5 grupos dibujaron un punto y 2 dibujaron 2 puntos.	
c	5 grupos indicaron que no se observan puntos, solo la sombra de la lámina.	Todos los grupos dibujaron un punto.	Ninguna de las predicciones de los grupos, sugiere que la luz pueda realizar los mismos patrones, de interferencia y difracción, que las ondas mecánicas trabajadas en la actividad anterior.
d	Todos los grupos dibujaron dos líneas.	Todos los grupos dibujaron dos líneas, pero 3 grupos indicaron que estas líneas están más unidas que cuando se iluminan con la linterna.	
e	Todos los grupos dibujaron una línea	Todos los grupos dibujaron un punto	

Tabla 3. 7 Predicciones más comunes de los estudiantes en las situaciones planteadas en la sección: antes de la práctica de la actividad 3

Desarrollo de las secciones manos a la práctica y concluyamos

Manos a la práctica 1

Cada grupo desarrolló las prácticas propuestas en las situaciones a, b, c, d y e, descritas en la sección *antes de la práctica*, para ello a cada grupo de trabajo se le entregó el siguiente kit de materiales:

- ✓ Un apuntador láser y linterna
- ✓ Una cuchilla de afeitar minora
- ✓ Una lámina metálica que contiene dos agujeros redondos muy pequeños



- ✓ Una lámina metálica que contiene un agujero redondo muy pequeño
- ✓ Una lámina con una ranura muy delgada
- ✓ Una lámina de acetato con dos ranuras muy juntas y muy delgadas

En la práctica de la **situación a**, los estudiantes observaron que al iluminar el borde de una cuchilla con la linterna, se formaba un borde doble, figura 3.2 A, y al iluminarla con un láser se observó un patrón particular compuesto por puntos brillantes, de intensidad luminosa variable, y oscuros, figura 3.2 B.



Figura 3.2 A Patrón de difracción generado cuando se ilumina el borde de una cuchilla con una linterna.
B. Patrón de difracción generado cuando se ilumina el borde de una cuchilla con u apuntador láser.

En la práctica de la **situación b**, los estudiantes iluminaron con la linterna la lámina que contenía dos agujeros de $0,1 \pm 0,01 \text{ mm}$ de diámetro, separados $0,2 \pm 0,01 \text{ mm}$, pero no obtuvieron una imagen significativa, simplemente observaron la sombra de la lámina, sin embargo al iluminar el par de agujeros con el apuntador láser verde ($\lambda = 532 \text{ nm}$), los estudiantes observaron un patrón de interferencia el cual caracterizaron como una secuencia de franjas brillantes y oscuras que se encontraban al interior de un círculo central muy brillante y en los anillos que rodeaban este círculo (figura 3.3). En la **situación c**: Del mismo modo que en el ejercicio anterior, cuando se iluminó con la linterna la lámina que contenía un agujero de $0,3 \pm 0,01 \text{ mm}$, los estudiantes no lograron ver ningún efecto particular, pero al iluminar el agujero con el apuntador láser, observaron un círculo central muy brillante el cual estaba rodeado por anillos de menor intensidad. (figura 3.4)

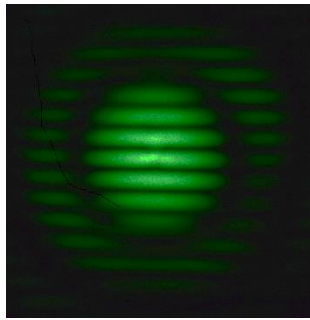


Figura 3.3 Patrón de interferencia de la luz generado al iluminar un par de agujeros circulares

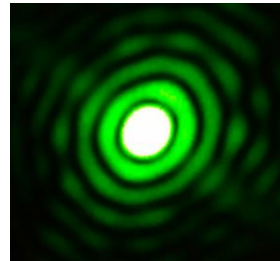


Figura 3.4 Patrón de difracción de la luz generado al iluminar un agujero circular

Las **situaciones d y e**, solo fueron desarrolladas con el apuntados láser, ya que el tiempo de la práctica fue muy reducido. En estas situaciones los estudiantes obtuvieron los patrones que se encuentran en la figura 3.5. La fotografía de la figura 3.5 A muestra un patrón de interferencia dentro del orden cero de un patrón de difracción, obtenido al iluminar con un apuntador láser rojo ($\lambda = 632 \text{ nm}$) una lámina que contenía dos rendijas lineales cuyo ancho fue de $0,2 \pm 0,01 \text{ mm}$ y que se encontraban separadas $0,01 \pm 0,001 \text{ mm}$. En la figura 3.5 B se observa un patrón de difracción el cual fue obtenido al iluminar una rendija de ancho $1 \pm 0,1 \text{ mm}$.



A



B

Figura 3.5 A patrón obtenido al iluminar 2 ranuras muy delgadas. B patrón obtenido al iluminar una ranura.

Manos a la práctica 2

Para facilitar la comprensión de la formación de franjas en las situaciones propuestas al comienzo de la actividad 3, específicamente en la situación b, cada grupo realizó el procedimiento indicado en la sección *manos a la práctica 2* de la guía de trabajo (Anexo 8). Esta práctica se usó para explicar a los estudiantes que la luz, en las condiciones descritas en las situaciones a, b, c, d y e, se comporta como una onda. En el ejercicio realizado, representamos la luz proveniente de cada agujero como una onda, de manera que las

ondas que provienen de cada agujero interfirieron, constructiva y destructivamente, en diferentes puntos ubicados en una pantalla blanca de observación. La formación de franjas brillantes se representó, cuando sobre la pantalla coincidieron las crestas o valles de las dos ondas, ubicadas inicialmente en los agujeros A y B, y la formación de franjas oscuras se representó, cuando sobre la pantalla coincidió el valle de una de las ondas con la cresta de la otra. En la figura 3.5 A, se muestra el dispositivo entregado a cada grupo de estudiantes para realizar la práctica, en figura la 3.5 B, se representa la ubicación de una franja brillante sobre la pantalla y en la figura 3.4 C se representa la ubicación de una franja oscura sobre la pantalla de observación.

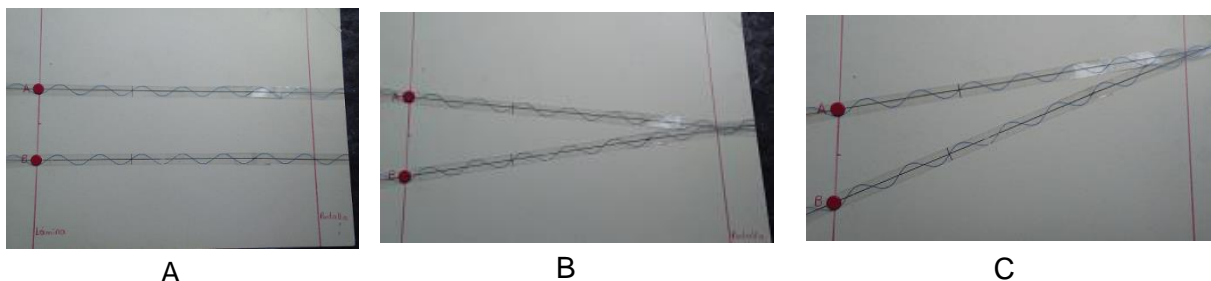


Figura 3.5 A. Dispositivo para ubicación de franjas. B. Ubicación de una franja brillante en la pantalla de observación. C. ubicación de una franja oscura en la pantalla de observación.

En el anexo 9 se encuentra un ejemplo de los datos obtenidos en esta práctica por uno de los grupos de trabajo. En esta hoja de trabajo se puede observar que los estudiantes marcaron con color rojo una franja de interferencia constructiva (lugar donde coincidieron dos crestas) y con una X dos franjas de interferencia destructiva (lugares donde coincidió el valle de una onda con la cresta de la otra), adicionalmente se observa que midieron la distancias entre las franjas obteniendo el mismo valor de separación.

Conclusiones de los estudiantes

De acuerdo a la estructura de las actividades planeadas, la sección *concluyamos* se desarrolla con una discusión de tres preguntas orientadores con las cuales se pretende retomar los aspectos más importantes de los resultados obtenidos en esta actividad.

La conclusión general del curso para la pregunta a, ¿Encuentran algún parecido entre lo observado en las prácticas con la cubeta de ondas y las realizadas con las láminas de acetato y el láser?, fue:

Tanto en las ondas de agua como en la luz se puede ver interferencia constructiva.

La conclusión general del curso para la pregunta b, ¿Tiene sentido afirmar que la luz es una onda? ¿Por qué?, fue: Sí porque en la práctica de ondas esféricas en la cubeta de ondas hubo lugares donde había ondas y otros donde no, en las prácticas de esta actividad se observaron patrones en los cuales hay franjas con luz y franjas sin luz. Uno de los grupos puntualmente manifestó que con las ondas de agua y con la luz se pueden generar patrones de interferencia y por lo tanto la luz se comporta igual que las ondas de agua.

La conclusión general del curso para la pregunta d, ¿Cuál es la diferencia entre la sombra obtenida al iluminar un solo agujero con el apuntador láser y la sombra obtenida al iluminar dos agujeros?, fue:

Que con el láser apuntando a un solo agujero se veían anillos hacia afuera de un círculo muy bien iluminado y cuando apuntamos el láser hacia los dos puntos se veía un círculo con muchas líneas brillantes y oscuras.

A través de estas conclusiones se evidencia que, los estudiantes lograron comprender, experimentalmente, el comportamiento ondulatorio de la luz comparando patrones de interferencia y difracción de la misma con la interferencia de ondas mecánicas, vista en la cubeta de ondas. Adicionalmente observaron los patrones de interferencia y difracción los cuales serán estudiados en las siguientes actividades.

ACTIVIDAD 4: INTERFERENCIA Y DIFRACCIÓN

- ✓ **Objetivo:** Identificar las diferencias y semejanzas entre un patrón de interferencia y uno de difracción, reconociendo las principales características de cada uno.
- ✓ **Descripción:** Esta actividad contiene las 4 secciones de la estructura general mostrada en la tabla 3.3, las cuales se describen a continuación:
 - **Antes de la práctica:** esta sección contiene 4 preguntas, las cuales indagaron sobre las principales características de los fenómenos de interferencia y difracción.

- **Compartamos ideas:** recordemos que en esta sección se socializó las predicciones propuestas por cada grupo en la sección anterior. En esta oportunidad, los grupos justificaron sus predicciones usando las observaciones de las prácticas anteriores.
 - **Manos a la práctica 1:** los grupos de trabajo realizaron la práctica descrita en la guía de la actividad 4 (Anexo 10), en la cual se generó un patrón de interferencia y se describieron sus principales características.
 - **Manos a la práctica 2:** los grupos de trabajo realizaron la práctica descrita en la guía de la actividad 4, en la cual se generó un patrón de difracción y se describieron sus principales características.
 - **Concluamos:** La discusión de esta sección se desarrolló con base a 4 preguntas orientadoras, a través de las cuales se concretaron los resultados obtenidos en las prácticas que permiten caracterizar y diferenciar los fenómenos de la interferencia y difracción de la luz.
- ✓ **Tiempo estimado de aplicación:** 1 sesión
- ✓ **Tiempo real de aplicación:** 2 sesiones

Predicciones más relevantes en la sección *antes de la práctica*

En la tabla 3.8 se encuentran registradas las predicciones propuestas por los diferentes grupos de trabajo.

Pregunta	Predicción más común	Explicación
1	Lámina 1: 5 grupos indicaron que la lámina contiene 2 ranuras.	Ya que hay 3 puntos brillantes en el centro del patrón
	Lámina 2: 3 grupos indicaron que la lámina contiene 1 ranura y 3 grupos indicaron que la lámina debía contener un orificio	Los puntos de este patrón tienen intensidad luminosa variable
	Lamina 3: 3 grupos indicaron que la lámina contiene dos orificios y 3 grupos indicaron que la lámina debe contener un orificio.	Por la forma circular y por las franjas
2	2 grupos indicaron que en la imagen 3 hay un patrón de interferencia, 2 grupos indicaron que este patrón se observa en las fotografías 2 y 3, y 3 grupos reconocieron un patrón de interferencia en las imágenes 1 y 3.	La mayoría de grupos explicó su elección con base en la intensidad constante luminosa de las franjas.

3	4 grupos indicaron que en la imagen 2 se muestra un patrón de difracción.	La mayoría de grupos, incluyendo a los que escogieron la imagen equivocada, argumentaron que en un patrón de difracción las franjas o puntos varían de intensidad.
4	6 grupos indicaron que en las fotografías 1 y 3 se forma, simultáneamente, un patrón de interferencia y uno de difracción.	La mayoría de grupos identificó franjas o puntos de igual intensidad luminosa en las fotografías 1 y 3.

Tabla 3. 8 Predicciones más comunes obtenidas en la sección: antes de la práctica, de la actividad 4

A grandes rasgos se puede evidenciar que la mayoría de grupos diferencia un patrón de interferencia de uno de difracción por la intensidad luminosa de las franjas, en el caso de iluminar dos agujeros, o de los puntos, cuando se ilumina una o dos ranuras. Estas predicciones fueron socializadas y discutidas por todo el curso.

Desarrollo de las secciones manos a la práctica y concluyamos:

Posterior a la socialización de las predicciones, cada grupo realizó la práctica indicada en las preguntas iniciales, para ello se entregó un kit con los siguientes materiales:

- ✓ 1 apuntador láser
- ✓ 1 lámina con dos agujeros muy pequeños y muy cercanos
- ✓ 1 lámina con una ranura muy delgada
- ✓ 1 lámina con dos ranuras muy delgadas

Manos a la práctica 1

Los diferentes grupos iluminaron con un apuntador láser la lámina que contenía los dos agujeros y obtuvieron un patrón como el de la figura 3,7 en el cual resaltaron dos características importantes, la primera los anillos concéntricos alrededor del círculo central, los cuales van disminuyendo su intensidad a medida que se distancian del centro y la segunda las franjas brillantes formadas en el círculo central, todos los grupos lograron identificar que en este patrón se evidencia los dos fenómenos, interferencia y difracción de la luz.

En esta práctica se debía centrar la atención en las franjas formadas en el círculo central, específicamente se solicitó a los estudiantes medir la separación entre las franjas brillantes

que formada en el círculo central. Al realizar este procedimiento, los estudiantes pudieron evidenciar otra característica importante del patrón de difracción ya que dedujeron a partir de sus medidas que estas franjas equidistan entre sí. En el anexo 11 se muestra un ejemplo de los dibujos de los estudiantes, la descripción del patrón observado y las medidas tomadas.

Manos a la práctica 2

Los grupos de trabajo desarrollaron la práctica 2 iluminando una lámina que contenía una ranura muy delgada. Con esta práctica se logró que los estudiantes reconocieran las características principales de un fenómeno de la difracción de la luz. En la figura 3.6 se observa uno de los dibujos realizados por los grupos de trabajo y su respectiva descripción.


DIBUJO	DESCRIPCIÓN
	<p>Observamos que al iluminar la lámina con el laser se observaba un patrón de difracción, en la que se veía la línea del centro más larga e intensa y la de los lados eran más pequeñas e iban disminuyendo su intensidad.</p>

Figura 3.6 Dibujo y descripción de un patrón de difracción, realizado por los estudiantes.

En esta práctica también se debía medir la separación entre los puntos brillantes, los estudiantes observaron que la separación de los órdenes de difracción cercanos al punto central más brillante (orden cero) se encuentran más distanciados entre sí, mientras que la distancia entre los órdenes de difracción que se encuentran en los extremos del patrón, están separados por una menor distancia.

Conclusiones de los estudiantes

El cierre de la actividad se realizó a través de la discusión de las preguntas formuladas en esta sección, las cuales retomaron los resultados obtenidos en las prácticas. Las conclusiones obtenidas por los estudiantes fueron:

Un patrón de interferencia se caracteriza porque está compuesto por franjas brillantes de igual intensidad luminosa, la separación entre dichas franjas, consecutivas, es constante.

Un patrón de difracción es similar a un patrón de interferencia, pues también está compuesto por franjas brillantes y oscuras, la diferencia es que el patrón de difracción se caracteriza por tener un centro muy brillante, junto a este centro, se encuentran otras franjas brillantes que presentan una intensidad luminosa menor cada vez que se encuentran más distantes del centro brillante (orden cero de difracción). Así como disminuye la intensidad luminosa de las franjas, también disminuye la separación entre las franjas.

La semejanza entre los patrones de interferencia y difracción de la luz es que los dos tienen franjas brillantes y oscuras, la diferencia entre ellos está determinada por la intensidad luminosa de las franjas brillantes, mientras que en el patrón de interferencia la intensidad de sus franjas es constante, en el patrón de difracción disminuye a medida que nos alejamos del orden cero.

A partir de estas conclusiones, los estudiantes retomaron las imágenes presentadas en las preguntas iniciales e indicaron a que patrón corresponde cada una y las condiciones en las cuales se genera.

ACTIVIDAD 5: DE LA INTERFERENCIA A LA DIFRACCIÓN

- ✓ **Objetivo:** Reconocer la relación entre los fenómenos de interferencia y difracción de la luz a través de una práctica que inicialmente permite observar un patrón de interferencia y al cambiar alguna condición se genere únicamente un patrón de difracción.
- ✓ **Descripción:** Esta actividad contiene las 4 secciones de la estructura general mostrada en la tabla 3.3, las cuales se describen a continuación:
 - **Antes de la práctica:** esta sección contiene 3 preguntas, las cuales indagaron sobre lo que ocurriría al variar la separación entre los agujeros que al ser iluminados con un apuntador láser, generan un patrón de difracción.
 - **Compartamos ideas:** En esta sección se socializaron las predicciones de cada grupo, además las explicaciones y justificaciones de las mismas.

- **Manos a la práctica:** los grupos de trabajo realizaron la práctica descrita en la guía de la actividad 5 (Anexo 12) en la cual se evidenciaron los cambios que sufre un patrón de interferencia al variar la separación de los agujeros que lo genera.
 - **Concluyamos:** La discusión de esta sección se desarrolló con base a 2 preguntas orientadoras, a través de las cuales se concretaron los resultados obtenidos en la práctica, adicionalmente se realizó una práctica demostrativa con el fin de reforzar conceptos adquiridos en las prácticas anteriores.
- ✓ **Tiempo estimado de aplicación:** 1 sesión
- ✓ **Tiempo real de aplicación:** 2 sesiones

Predicciones más relevantes en la sección *antes de la práctica*

En la tabla 3.9 se registran las predicciones formuladas por los diferentes grupos de trabajo, las cuales fueron socializadas posteriormente ante todo el curso.

Pregunta	Predicción más común
1	5 grupos manifestaron que al acercar los agujeros las franjas se observarán más separadas
2	5 grupos indicaron al acercar aún más los agujeros, las franjas del patrón de interferencia se verán mucho más separadas.
3	Los 7 grupos de trabajo respondieron que si los agujeros están tan cerca que parecen uno solo, únicamente se verá el círculo central sin franjas y anillos a su alrededor, "algo parecido al patrón de difracción"

Tabla 3. 9 Predicciones más comunes obtenidas en la sección: *antes de la práctica*, de la actividad 5

Estas predicciones permiten evidenciar que los estudiantes se han apropiado aún más del conocimiento adquirido en torno a la interferencia y la difracción de la luz. Esto se refleja en la forma como argumentan sus respuestas, pues utilizan conceptos aprendidos con anterioridad y los resultados de las prácticas realizadas en las actividades anteriores.

Desarrollo de las secciones manos a la práctica y concluyamos

Cada grupo de trabajo contó con un apuntador láser y una lámina que contiene cuatro parejas de puntos, cuya separación disminuyó hasta que la última pareja de puntos se encontraba uno sobre el otro, como se muestra en la figura 3.7. El procedimiento seguido, consistió iluminar los puntos más separados, dibujar el patrón observado y medir la separación de las franjas, de la misma manera se procedió con las tres parejas de puntos siguientes. Al realizar esta práctica los estudiantes observaron patrones como los que se encuentran en la figura 2.15, los estudiantes indicaron que a medida que los agujeros se encuentran más unidos “desaparecen” las franjas de interferencia hasta que se obtiene un patrón de difracción.

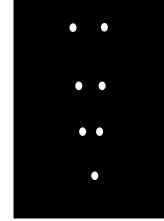


Figura 3.7 Dibujo de la lámina entregada a los estudiantes

Conclusiones de los estudiantes

Básicamente los estudiantes indicaron que al disminuir la distancia entre las fuentes de dos ondas que interfieren, varía la intensidad de las franjas de este patrón, es como si un patrón de interferencia se convirtiera en uno de difracción. Adicionalmente se desarrolló una práctica demostrativa (Anexo 13) con el propósito de medir la intensidad luminosa de las franjas de un patrón de interferencia y no de difracción, esto permitió que además de que los estudiantes reconocieran y diferenciaron estos fenómenos a través de las condiciones que los generan y sus causas principales, también construyeran las gráficas de intensidad luminosa contra posición de las franjas.

ACTIVIDAD 6: JUGUEMOS CON PATRONES DE INTERFERENCIA

- ✓ **Objetivo:** Mostrar a través de una actividad lúdica dos de las múltiples aplicaciones de la interferometría.
- ✓ **Descripción:** esta actividad contiene dos ejercicios los cuales se usaron para explicar dos aplicaciones de la interferencia, por lo tanto la estructura de esta actividad es diferente a la estructura general de las actividades de la estrategia.
- ✓ **Tiempo estimado de aplicación:** 1 sesión
- ✓ **Tiempo real de aplicación:** 1 sesión

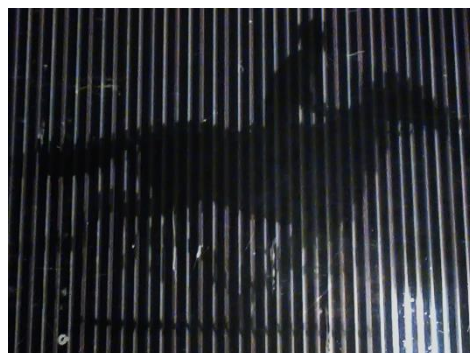
Para el desarrollo de las prácticas, se entregó a los estudiantes tres impresiones de rejillas, en acetato y varias impresiones con figuras realizadas con franjas claras y oscuras tomadas de la página WEB: <http://unoparatodo.com.ar/?p=3245> (fecha: 31 de marzo del 2016) con las cuales los estudiantes realizaron animaciones haciendo uso del fenómeno de interferencia y el efecto Moaré, el cual consiste en superponer dos patrones de interferencia para generar la ilusión óptica de movimiento.

Ejercicio 1

Por medio de esta actividad los estudiantes observaron las deformaciones que sufren los patrones de interferencia cuando se proyectan sobre superficies que tienen imperfecciones.

Ejercicio 2

En este ejercicio los estudiantes observaron animaciones realizadas debidas a la superposición de patrones de interferencia.



Conclusiones de los estudiantes

En esta actividad los estudiantes se divirtieron jugando con las impresiones entregadas, adicionalmente concluyeron que lo aprendido a través de las actividades realizadas, tiene aplicaciones en la vida cotidiana y en muchos sectores de la industria como en la fotografía o la ingeniería.

3.2.4 Prueba final

Esta prueba (Anexo 3) está compuesta por las mismas 15 preguntas de la prueba diagnóstico, con el fin de comparar la evolución en la comprensión de las temáticas tratadas durante el desarrollo de esta estrategia. Adicionalmente, en esta prueba se encuentran 5 preguntas de profundización, en las cuales se pretende que los estudiantes analicen situaciones relacionadas con la interferencia y difracción de la luz. En la tabla 3.10, se relaciona el número de pregunta, el porcentaje de estudiantes que respondieron correctamente la pregunta (%ERCF), la diferencia entre los porcentajes de los estudiantes

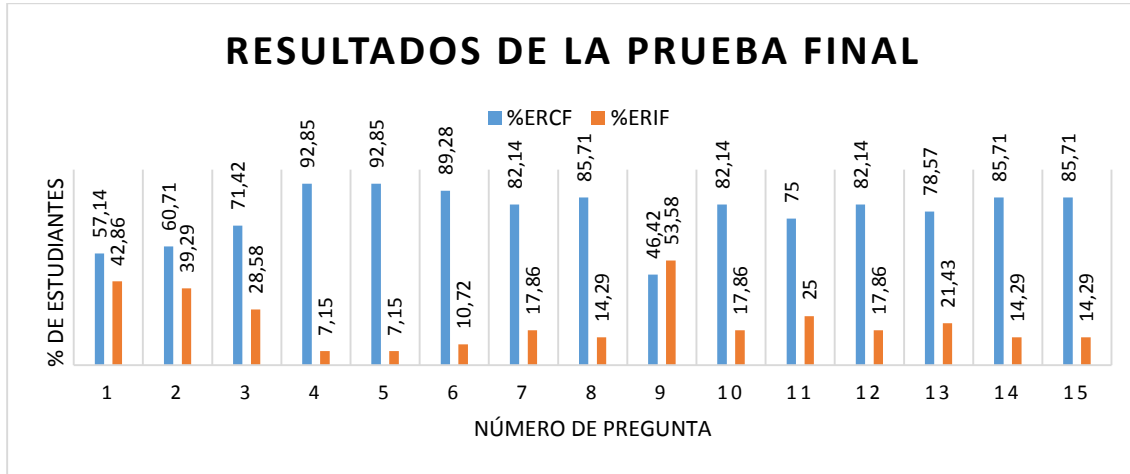
que respondieron correctamente cada pregunta (DP), en la prueba diagnóstico (% ERCD) y en la prueba final(% ERCF). En la última columna se encuentra una breve descripción y análisis del desempeño de los estudiantes en cada pregunta.

Número de pregunta	% ERCF	DP (% ERCF-% ERCD)	Análisis
1	57,14%	35,72%	Al final de la aplicación de las actividades planeadas, los estudiantes lograron comprender que la forma de las ondas generadas, en una cubeta de ondas, está determinada por la forma de la fuente, esta idea los aproxima a la comprensión del principio de Huygens.
2	60,71%	39,29%	Así mismo, los estudiantes lograron establecer que la fuente de ondas, además de determinar la forma de la onda, también determina la frecuencia de la misma.
3	71,42%	25,00%	
4	92,85%	60,71%	Los estudiantes reconocieron el fenómeno de la difracción en la situación presentada, asociándolo al cambio del frente de onda y a la curvatura de las ondas en los bordes del agujero que tiene el obstáculo.
5	92,85%	10,71%	Esta pregunta no tuvo un avance significativo, ya que el rendimiento de los estudiantes en esta pregunta, en la prueba diagnóstica, presentó un alto porcentaje.
6	89,28%	21,43%	Aunque la diferencia entre los porcentajes de la prueba diagnóstico y la prueba final no es muy grande, se logró que más estudiantes identifiquen el fenómeno de interferencia en ondas mecánicas.
7	82,14%	75,00%	Esta pregunta indaga sobre las condiciones en las cuales la luz genera un patrón de difracción, observemos que aumentó considerablemente el porcentaje de estudiantes que identifican tales condiciones.
8	85,71%	67,86%	
9	46,42%	28,57%	En las preguntas 7 y 8 se evidenció que los estudiantes comprenden las características del fenómeno de difracción y qué lo genera, sin embargo aún presentan dificultad en indicar el nombre de este fenómeno, es decir aún lo confunden con el fenómeno de interferencia.

Número de pregunta	% ERCF	DP (% ERCF-% ERCD)	Análisis
10	82,14%	75,00%	Esta pregunta indaga sobre las condiciones en las cuales la luz genera un patrón de interferencia, observemos que aumentó considerablemente el porcentaje de estudiantes que identifican tales condiciones.
11	75%	53,58%	El significativo avance en la respuesta a esta pregunta, permite evidenciar que los estudiantes reconocen claramente las características del fenómeno de interferencia.
12	82,14%	35,72%	Los estudiantes identifican la longitud de onda como uno de los factores que influye en la separación de las franjas en un patrón de interferencia.
13	78,57%	67,86%	Un significativo porcentaje de estudiantes identifica las condiciones necesarias para la formación de un patrón de interferencia, es decir las condiciones en las cuales la luz se comporta como una onda.
14	85,71%	50,00%	La mayoría de los estudiantes concluyó que es posible llegar desde un patrón de interferencia hasta un patrón de difracción, variando la distancia entre las fuentes de ondas.
15	85,71%	42,86%	Los estudiantes aceptan el comportamiento ondulatorio de la luz debido a los patrones de interferencia y difracción que esta puede generar bajo ciertas condiciones especiales.

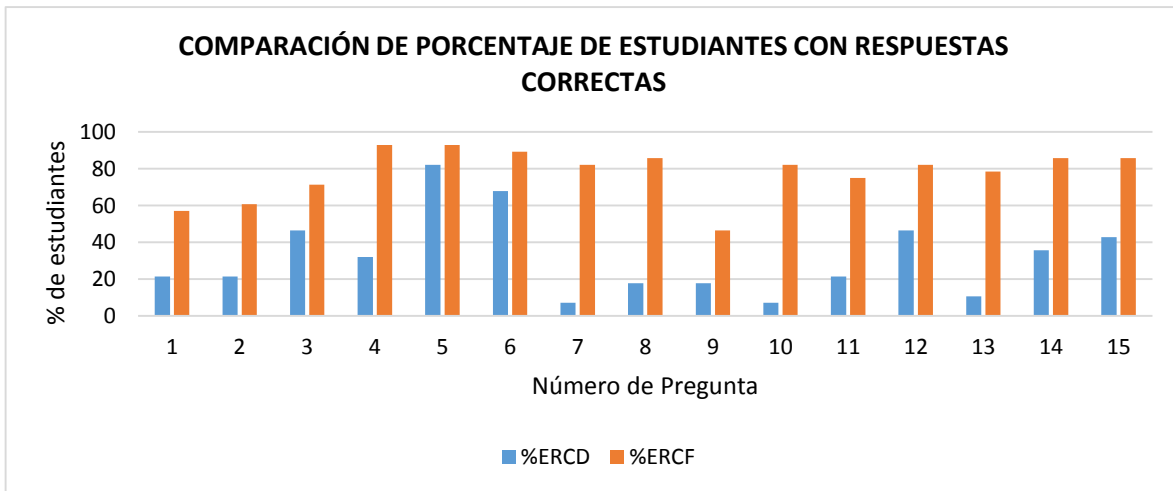
Tabla 3. 10 Análisis de las respuestas obtenidas en la prueba final.

Cabe notar que los valores que se encuentran en la columna DP, de la tabla 3.10, son mayores que 0%, esto implica que todos los estudiantes mejoraron su rendimiento en la prueba aplicada antes y después del desarrollo de las actividades. Este hecho será analizado a través de la ganancia normalizada de Hake en el capítulo 4. Para visualizar mejor los resultados obtenidos en la aplicación de la prueba final, en la gráfica 3.2 encontramos un diagrama de barras, en el cual se compara el porcentaje de estudiantes que contestaron correctamente cada pregunta (%ERCF) con el porcentaje de los estudiantes que respondieron incorrectamente (%ERIF).



Gráfica 3. 2 Porcentaje de estudiantes que respondieron correcta e incorrectamente cada pregunta de la prueba final.

Observemos que los estudiantes presentaron un buen rendimiento, tanto en las preguntas relacionadas con las ondas mecánicas como en las preguntas que indagan sobre interferencia y difracción de la luz, sin embargo en la pregunta 9, como se indicó en el análisis mostrado en la tabla 3.10, pese a las actividades desarrolladas, los estudiantes presentan dificultad al momento de diferenciar los fenómenos de interferencia y difracción, para ellos el hecho de que el patrón mostrado en las figuras de esta pregunta esté compuesto por franjas brillantes y oscuras, es suficiente para asegurar que son patrones característicos de la interferencia.



Gráfica 3. 3 Comparación de porcentajes de los estudiantes que respondieron correctamente cada pregunta de la prueba diagnóstico y la prueba final.

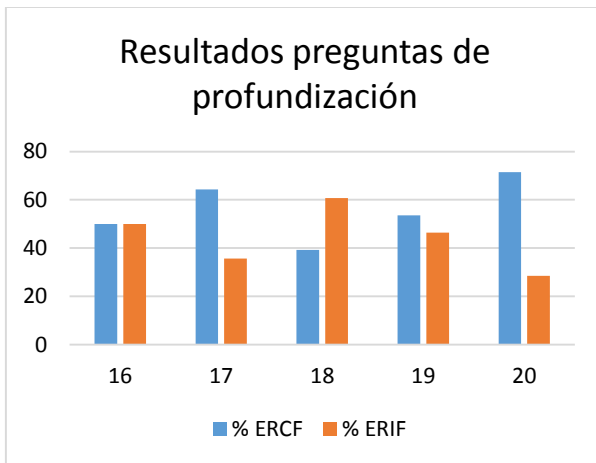
La gráfica 3.3 muestra un diagrama en donde se compara el rendimiento de los estudiantes en la prueba diagnóstico y la prueba final, específicamente se compara el porcentaje de estudiantes que respondió correctamente las pruebas diagnóstico y final. Lo más importante de este gráfico es el progreso en las preguntas de la 7 a la 15, las cuales tiene que ver con interferencia y difracción de la luz y la relación entre estas. Esto quiere decir que luego de aplicar la estrategia, los estudiantes mejoraron su nivel de comprensión de estos fenómenos y los conceptos asociados a ellos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las preguntas de profundización de la prueba final, en la tabla 3.11, se relaciona el número de la pregunta, el porcentaje de estudiantes que respondió correctamente cada pregunta (% ERCF) y un breve análisis de estos resultados.

Número de pregunta	% ERCF	Análisis
16	50 %	Aunque se ha notado mejoría en muchos aspectos, esta pregunta permite evidenciar que para los estudiantes es complejo usar un modelo que les permita dar explicación a los fenómenos observados.
17	64,28 %	Aunque el porcentaje de estudiantes que contestó correctamente no es significativamente alto, se logró que la mayoría de los estudiantes comprendan la estrecha relación entre los patrones de interferencia y difracción.
18	39,28 %	Los estudiantes presentan dificultad al momento de diferenciar los patrones de interferencia y difracción, es decir que no lograron establecer claramente las similitudes y diferencias entre estos dos fenómenos.
19	53,57 %	
20	71,42 %	Un significativo porcentaje de los estudiantes relaciona lo observado en las prácticas con un modelo matemático, específicamente se logró que los estudiantes asociaran una gráfica a la intensidad de un patrón de interferencia y otra a la intensidad luminosa variable de un fenómeno de difracción.

Tabla 3. 11 Análisis de las respuestas obtenidas en las preguntas de profundización de la prueba diagnóstico final.

En la gráfica 3.4, se compara el porcentaje de estudiantes que contestaron correctamente (% ERCF), con los que respondieron erróneamente (% ERIF) cada pregunta de profundización de la prueba final. Observemos que la diferencia entre los estudiantes que contestaron correctamente y los que no, es mínima, es decir que los estudiantes comprenden los fenómenos de interferencia y difracción de la luz, teniendo presente sus características principales, pero al momento de responder preguntas aún más complejas sobre este tema, el rendimiento general del curso es bajo. Esto se hace aún más evidente en el rendimiento de los estudiantes en la pregunta 18.



Pregunta	% ERCF	% ERIF
16	50 %	50 %
17	64,28 %	35,71 %
18	39,28 %	60,71 %
19	53,57 %	46,42 %
20	71,42 %	28,57 %

Gráfica 3. 4 Rendimiento en las preguntas de profundización de la prueba final.

En la pregunta 16 (anexo 13) se indagó sobre el concepto de interferencia, se esperaba que los estudiantes comprendieran la explicación de la formación de las franjas brillantes en el fenómeno de la interferencia, el 50% que contestó incorrectamente indicó que en la figura de esta pregunta se mostraba como se formaba una única franja brillante. La pregunta 17 se planteó de tal manera que los estudiantes relacionaran la separación de los agujeros y la separación de las franjas que se forman al iluminarlos, las respuestas dadas por los estudiantes reflejan que aún se les dificulta reconocer la relación inversa entre estas dos separaciones, esto se evidencia ya que los estudiantes escogieron las respuestas en donde se mostraban patrones de interferencia pero no tuvieron en cuenta la separación de las franjas para la situación planteada. Con la pregunta 18 se pretendía que los estudiantes diferenciaran los patrones de interferencia y difracción por la intensidad luminosa de las franjas formadas, las respuestas escogidas por los estudiantes muestran que confunden

estos fenómenos por los nombres, es decir identifican como se generan estos patrones pero no asocian el nombre de cada uno. De la misma manera ocurrió en la pregunta 19, ya que se esperaba que identificaran estos fenómenos, en dos fotografías presentadas, de acuerdo a la intensidad de las franjas. La pregunta 20 se propuso con el fin de que los estudiantes reconocieran los fenómenos de interferencia y difracción de la luz a partir de sus gráficas de intensidad luminosa vs posición de las franjas. El 71,41 % de los estudiantes reconoció adecuadamente la gráfica que corresponde a cada fenómeno.

Lo anterior indica que la estrategia didáctica aplicada logró mejorar la comprensión de los estudiantes en cuanto a la formación de los patrones que dan cuenta de los fenómenos de interferencia y difracción de la luz, es decir que comprenden que sucede cuando la luz interactúa con ranuras, bordes o agujeros de diferentes formas y de dimensiones similares a la longitud de onda de la luz utilizada. Así mismo estos resultados ponen en evidencia que los estudiantes no presentaron un rendimiento óptimo en el reconocimiento de las principales características y la diferenciación de los fenómenos de interferencia y difracción de la luz.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados de la implementación de la estrategia didáctica, a través de un análisis cuantitativo de las pruebas diagnóstica y final. El objetivo es comparar el rendimiento de los estudiantes en estas dos pruebas y a partir de ello determinar la eficiencia de la secuencia de actividades aplicada, para ello se usará la ganancia normalizada de Hake [16].

4.1 Evaluación de la estrategia usando la ganancia de Hake por estudiante

En la tabla 4.1, se encuentran registradas el número de respuestas correctas (RCD) dadas por cada estudiante en la prueba diagnóstica y su respectivo porcentaje (%RCD), así mismo se encuentran el número de respuestas correctas dadas por cada estudiante en la prueba final (RCF) y su porcentaje correspondiente (%RCF). Tomando los porcentajes %RCD y %RCF, se aplica la ecuación 4.1 la cual permite calcular la ganancia de aprendizaje (g) de cada estudiante.

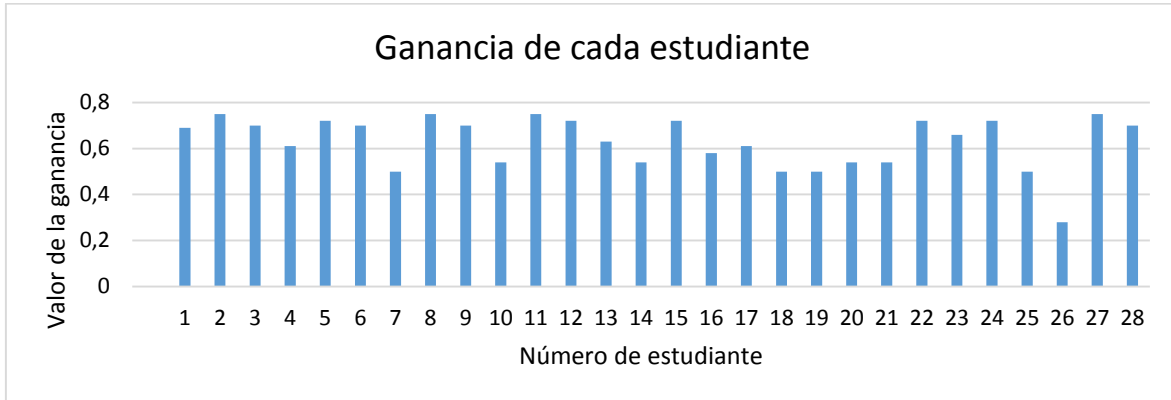
$$\langle g \rangle = \frac{\langle \%RCF \rangle - \langle \%RCD \rangle}{100 - \langle \%RCD \rangle} \quad 4.1$$

Estudiante	Respuestas correctas Prueba diagnóstico		Respuestas correctas Prueba final		g
	RCD	%RCD	RCF	%RCF	
1	2	13,33	11	73,33	0,69
2	3	20	12	80	0,75
3	5	33,33	12	80	0,7
4	2	13,33	10	66,66	0,61
5	4	26,66	12	80	0,72
6	5	33,33	12	80	0,7
7	5	33,33	10	66,66	0,5
8	7	46,66	13	86,66	0,75
9	5	33,33	12	80	0,7

Estudiante	Respuestas correctas Prueba diagnóstico		Respuestas correctas Prueba final		g
	RCD	%RCD	RCD	%RCD	
10	4	26,66	10	66,66	0,54
11	7	46,66	13	86,66	0,75
12	4	26,66	12	80	0,72
13	4	26,66	11	73,33	0,63
14	4	26,66	10	66,66	0,54
15	4	26,66	12	80	0,72
16	3	20	10	66,66	0,58
17	2	13,33	10	66,66	0,61
18	5	33,33	10	66,66	0,5
19	9	60	12	80	0,5
20	4	26,66	10	60	0,54
21	4	26,66	10	66,66	0,54
22	4	26,66	12	80	0,72
23	6	40	12	80	0,66
24	4	26,66	12	80	0,72
25	5	33,33	10	66,66	0,5
26	8	53,33	10	66,66	0,28
27	3	20	12	80	0,75
28	5	33,33	12	80	0,7

Tabla 4. 1 Ganancia normalizada de Hake por estudiante

En columna g de la tabla 4.1, se registra la ganancia de Hake para cada estudiante, estos valores se encuentran representados en la gráfica 4.1. Notemos que ningún estudiante tuvo una ganancia de valor cero, de hecho el menor valor de ganancia lo obtuvo el estudiante 26 ($g = 0,28$), esto implica que todos los estudiantes mejoraron su rendimiento en las pruebas aplicadas, es decir demostraron progreso en su nivel de comprensión de las temáticas abordadas.



Gráfica 4. 1 Ganancia normalizada de Hake por estudiante

Recordemos que la ganancia de aprendizaje obtenida por cada estudiante puede clasificarse en tres niveles [8]:

Ganancia baja cuando: $0 < g < 0,3$

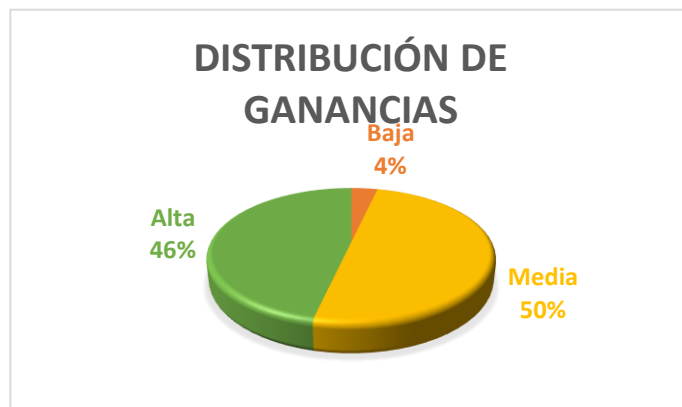
Ganancia media cuando: $0,3 \leq g < 0,7$

Ganancia alta cuando: $g \geq 0,7$

Teniendo en cuenta esto, podemos concluir que sólo un estudiante presentó una ganancia de aprendizaje baja lo que corresponde al 4% del total de estudiantes, mientras que 27 estudiantes tuvieron una ganancia de aprendizaje media o alta, esto equivale al 96 % del total de estudiantes. La gráfica 4.2 muestra la distribución de ganancias presentada por el grupo.

Ganancia	% de estudiantes
Baja	3,57
Media	50
Alta	46,42

Tabla 4. 2 Distribución de zonas de ganancia



Gráfica 4. 2 Distribución de ganancias en el grupo muestra

Para obtener la ganancia promedio de aprendizaje del grupo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\bar{g} = \frac{\sum_i^n g_i}{n}$$

Donde n , es el número de estudiantes (28) y $\sum_i^n g_i$ es la suma de las ganancias de cada estudiante. Para esta estrategia, el valor de la ganancia promedio es:

$$\bar{g} = 0,63$$

Este valor indica que la estrategia utilizada para la enseñanza de los fenómenos de interferencia y difracción tuvo una eficiencia del 63%, es decir que en el grupo en general se obtuvo una ganancia de aprendizaje media. A lo largo del desarrollo de las seis actividades planteadas en la estrategia propuesta, se observó que aplicar la metodología de aprendizaje activo en la enseñanza de las ciencias, es decir el uso de prácticas experimentales propuestas a partir de situaciones problema, incentiva el pensamiento crítico y analítico en los estudiantes. Los resultados obtenidos muestran que el uso de este tipo de herramientas permite un agradable y motivante acercamiento de los estudiantes a las ciencias, lo cuál debe ser el propósito de la enseñanza de las ciencias en la educación básica y media.

La estrategia desarrollada presentó algunas deficiencias, en primer lugar se encuentra el tiempo empleado para las actividades finales ya que estas coincidieron con los tiempos de cierre de año escolar y otras actividades institucionales. Esta situación generó que las dos últimas actividades se desarrollaran en el menor tiempo posible, se considera que esta haya sido la razón para que los estudiantes hayan tenido un bajo rendimiento en algunas preguntas de la prueba final, especialmente en las de profundización. Esto se vio reflejado en la ganancia de aprendizaje media y baja obtenida por el 54% de los estudiantes, por este motivo se recomienda, para una posterior aplicación de esta estrategia, el cumplimiento de los tiempos para cada actividad. La segunda deficiencia de la aplicación de la estrategia, está relacionada con la actitud de algunos estudiantes que participaron en el desarrollo de la misma al notar que las actividades no aportaron una nota numérica, puesto que se utilizó como herramienta para introducir y desarrollar una temática y no como una herramienta de evaluación de competencias científicas. La mayoría de estudiantes de secundaria consideran primordial entregar las actividades propuestas en el aula para obtener una nota y no muestran mayor interés por el aporte que las temáticas abordadas.

5. CONCLUSIONES

A partir de lo evidenciado en el desarrollo de las actividades de la estrategia didáctica implementada y en el análisis de los resultados de las pruebas diagnóstica y final, se concluye:

1. En la aplicación de la prueba diagnóstica se evidenció que los estudiantes presentaron buen rendimiento, únicamente en las preguntas 5 y 6, siendo el 82,14 % y el 67,85 % el porcentaje correspondiente de estudiantes que respondieron correctamente a estas preguntas. Esto evidencia que los estudiantes identifican las condiciones necesarias para la formación de ondas esféricas en el agua y la interacción entre ellas cuando se propagan en el mismo espacio. El rendimiento de los estudiantes en el resto de las preguntas de la prueba diagnóstica, permite ver un bajo grado de comprensión, de los fenómenos ondulatorios, la naturaleza ondulatoria de la luz, las características de la interferencia y difracción de la luz y la relación entre estos dos fenómenos, ya que el porcentaje de estudiantes que respondió correctamente cada una de estas preguntas, es inferior al 43 % (sección 3.2.2 – gráfica 3.1).
2. En la aplicación de la prueba diagnóstica, los estudiantes no identificaron los fenómenos de interferencia y difracción. Esto se infiere ya que solo el 17,85 % de los estudiantes logró reconocer un patrón de difracción, como el mostrado en la pregunta 9 (Anexo 2) y el 21,42 % de los estudiantes identificaron un patrón característico del fenómeno de interferencia, como el presentado en la pregunta 11 (Anexo 2). Si comparamos estos resultados con los obtenidos en la prueba final, observamos que después de aplicar las actividades de la estrategia didáctica, el porcentaje de estudiantes que reconoce estos fenómenos aumentó notoriamente, pues el 46,42 % contestó correctamente la pregunta 9 y el 53,58 % eligió la respuesta correcta en la pregunta 11.
3. En la prueba diagnóstica solo el 7,14 % de los estudiantes respondió correctamente la pregunta que indagaba sobre las condiciones necesarias para formar un patrón de difracción formado por un círculo central brillante y anillos de menos intensidad a su alrededor y el 17,85 % respondió correctamente la pregunta sobre las condiciones

necesarias para obtener un patrón de difracción con un centro brillante alargado y puntos de menor intensidad. Al aplicar la prueba final se obtuvo que el 82,14 % de los estudiantes, identificó el patrón de difracción obtenido cuando se ilumina con un apuntador láser un orificio circular muy pequeño y el 85,71 % identificó el patrón de difracción generado al iluminar con un apuntador láser una ranura muy delgada, en otras palabras, luego de aplicar las actividades de la estrategia didáctica, se logró que los estudiantes identificaran las condiciones en las cuales se genera el patrón de difracción, es decir las condiciones en las que la luz presenta un comportamiento ondulatorio.

4. Del mismo modo ocurrió con el fenómeno de la interferencia, en la prueba diagnóstico solo el 7,14 % respondió correctamente la pregunta sobre las condiciones necesarias para obtener un círculo brillante con franjas oscuras en su interior. En la prueba final, el 82,14 % respondió correctamente esta misma pregunta. Esto implica que las actividades aplicadas lograron que los estudiantes mejoraran considerablemente su comprensión acerca el fenómeno de la interferencia y las diferencias y semejanzas entre este y la difracción.
5. La pregunta de las pruebas, diagnóstica y final (pregunta 14, Anexos 2 y 3), que indagó sobre las condiciones en las cuales se puede obtener un patrón de difracción a partir de uno de interferencia. En la prueba diagnóstico el 35,71 % identificó que si la distancia entre los agujeros (fuentes secundarias de luz) es la mayor posible, el patrón observado es de interferencia y cuando la distancia entre los agujeros es la mínima posible, se observa un patrón cercano al de difracción. Al aplicar la prueba final se obtuvo que el 85,71 % de los estudiantes respondió correctamente esta pregunta, evidenciándose un avance en la comprensión de la relación entre estos dos fenómenos.
6. De los resultados obtenidos en la prueba final, se puede inferir que todos los estudiantes mejoraron la comprensión de las temáticas relacionadas con las ondas mecánicas, la interferencia y difracción de la luz y la relación fenomenológica entre estos dos fenómenos. En todas las preguntas, el porcentaje de estudiantes que respondieron correctamente en la prueba final, aumentó considerablemente con respecto al porcentaje de estudiantes que respondieron correctamente cada pregunta de la prueba diagnóstico

(sección 3.2.4 – gráfica 3.3). La columna DP, de la tabla 3.9 de la sección 3.2.4, muestra la diferencia entre el porcentaje de estudiantes que respondió correctamente las preguntas de la prueba diagnóstica y el porcentaje de estudiantes que respondió correctamente cada pregunta de la prueba diagnóstica final (%ERCF - %ERCD), al calcular el promedio aritmético de estas diferencias, se obtiene $\overline{DP} = 45,90\%$, es decir que el rendimiento del grupo mejoró considerablemente. Esto también puede evidenciarse a través de la ganancia normalizada de Hake promedio $\langle \overline{g} \rangle$, la cual fue de 0,63 (sección 4.1), este valor indica que la ganancia de aprendizaje obtenida con este grupo de estudiantes está ubicada en la zona de ganancia media, a su vez este valor muestra que la efectividad de la estrategia fue de un 63 %. Si observamos la gráfica 3.3 de la sección 3.2.4, página 77, podemos observar que la mayor eficiencia de la estrategia didáctica diseñada se encuentra en las preguntas sobre interferencia y difracción de la luz.

7. Al aplicar la ganancia normalizada de Hake para analizar los resultados obtenidos en las pruebas diagnóstica y final, se obtuvo que todos los estudiantes presentaron una ganancia superior a cero, es decir que todos mejoraron su rendimiento en esta prueba, y por tanto mejoraron el grado de comprensión de los fenómenos de la interferencia y la difracción, como se indica en la gráfica 4.1 del capítulo 4, página 82. Este hecho se confirma analizando la gráfica 4.2, la cual mostró la distribución de los estudiantes en las tres zonas de ganancia, allí se observa que el 50 % de los estudiantes tuvieron un valor de ganancia alta, el 46 % se ubicó en la zona de ganancia media y solo un 4 % se localizó en la zona de ganancia baja. Esto permite deducir que el 96 % de los estudiantes tuvo un avance significativo en la comprensión de los fenómenos de interferencia y difracción de la luz, confirmando que la estrategia diseñada fue apropiada para su enseñanza.
8. Los resultados obtenidos en las preguntas de profundización de la prueba diagnóstica final, representados en la gráfica 3.4 del capítulo 3, página 77, indican que los estudiantes utilizaron los conceptos aprendidos por medio de las actividades, de la estrategia didáctica propuesta, en la solución de situaciones relacionadas con la interferencia y difracción de la luz. Por ejemplo en la pregunta 20 se indagó por la gráfica que representa la intensidad luminosa de los patrones característicos de los fenómenos

mencionados y el 71,42 % identificó correctamente la gráfica que le corresponde a cada uno de ellos.

9. Las características de la población a la que se aplicó la estrategia didáctica planteada en este trabajo, influyó drásticamente en los resultados obtenidos. El grupo de estudiantes que participó en el desarrollo de la estrategia propuesta, se caracteriza por su buen comportamiento y receptividad ante las indicaciones dadas, esto les facilitó seguir las instrucciones de cada actividad, sin embargo son estudiantes que presentan un bajo nivel de análisis frente a situaciones problema lo cual se evidenció en la socialización y discusión de los resultados obtenidas en cada práctica, pues fue muy difícil lograr participaciones significativas, que aportaran a la construcción de los conceptos involucrados en cada práctica, en otras palabras sus intervenciones acerca de una temática fueron muy superficiales.
10. Otro factor que permite afirmar que la estrategia planteada si fue eficiente, es la evolución observada en el planteamiento de las predicciones de cada actividad y la discusión de los resultados obtenidos, tal como se analizó en la sección 3.2.3., Las predicciones de los estudiantes en las actividades 3 y 4 se caracterizaron por ser muy superficiales y alejadas de los resultados de las prácticas desarrolladas, en la actividad 5, la mayoría de estudiantes acertaron en las predicciones dadas y argumentaron adecuadamente las ideas propuestas.
11. Las actividades diseñadas tuvieron como eje principal la observación, análisis y discusión de los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio realizadas y como se mencionó anteriormente, esta propuesta presentó una eficiencia del 63%, esto quiere decir que este trabajo reafirma la importancia del uso de prácticas de laboratorio, direccionadas con la metodología de aprendizaje activo, en la enseñanza de las ciencias ya que estas permiten mejorar los índices de comprensión de conceptos científicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Campanario, J. Moya, A. (1999). “¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas”. Enseñanza de las ciencias. 17(2) 179 – 192. Madrid
- [2] Sotrés, J. (2009). “La óptica en la enseñanza secundaria: propuesta didáctica desde una perspectiva histórica”. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- [3] Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A., y Pria, J. (2002). “Versiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza”. Enseñanza de las ciencias, 20 (3), pp. 477 – 488
- [4] Porras, M. (2014). “La holografía digital como una aplicación de los fenómenos de interferencia y difracción, para estudiantes de secundaria y primeros semestres de universidad”. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- [5] Manrique, C. (2012). “Propuesta didáctica basada en la metodología de aprendizaje activo, encaminada a construir el concepto de difracción partiendo de prácticas experimentales”. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá
- [6] Lakhdar, Z. et al (2006). “Aprendizaje activo de óptica y fotónica. Manual de entrenamiento”. Unesco.
- [7] (MEN) Ministerio de educación nacional. (2004). “Estándares básicos de competencias en ciencias naturales y ciencias sociales: Formar en ciencias ¡el desafío!”. Colombia
- [8] Lemus, N. (2014). “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. Universidad Nacional de Colombia.
- [9] Muñoz, T. (2014). “Enseñanza del concepto de interferencia utilizando la metodología de aprendizaje activo como estrategia didáctica”. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- [10] Bravo, S. Pesa, M “El aprendizaje de los fenómenos de interferencia luminosa”. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.
- [11] Ferraz, A. (1974). “Teorías sobre la naturaleza de la luz”. De Pitágoras a Newton. Madrid: Dossat
- [12] Osuna, G. et al. (2007). “Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria”. Enseñanza de las ciencias 25(2), 277-294, Alicante.
- [13] Hecht, E. (2000). “Óptica”. Addison Wesley Iberoamericana S.A. Madrid
- [14] Serway, R., Faughn, (2001). “Física 5° edición”. Pearson Education. México.

[15] Tippens, P. (2009). *“Física II. Conceptos y aplicaciones”*. McGraw-Hill Interamericana. Bogotá, Colombia

[16] Hake, R. (1998). *“Interactive – engagement versus traditional methods: A six – thousand – student survey of mechanics test data for introductory physics courses”*. American Journal of Physics. Vol 66 (1), 64 – 74.

ANEXOS

ANEXO 1: Encuesta preliminar

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS
MAESTRÍA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES



ENCUESTA PRELIMINAR

Estimado docente solicitamos y agradecemos su colaboración al diligenciar esta encuesta con el propósito de iniciar una investigación acerca de la enseñanza de la óptica. Solicitamos su respuesta lo más pronto posible.

- ¿Con qué frecuencia usted orienta temáticas relacionadas con la óptica geométrica en sus cursos de física?
 - Siempre
 - La mayoría de veces
 - Casi nunca
 - Nunca
- ¿Qué temáticas de la óptica geométrica orienta en sus cursos?
 - Reflexión
 - Refracción
 - Lentes
 - Espejos
- Si su respuesta a la pregunta 1 es NUNCA indique la razón
 - El tiempo no es suficiente
 - Estas temáticas no aparecen en las pruebas censales
 - El tema es muy denso para abordarlo en el salón
 - No se siente seguro de su conocimiento acerca de estos temas
- ¿Con qué frecuencia Imparte temáticas relacionadas con la óptica física (óptica ondulatoria) en los cursos de física que dirige?
 - Siempre
 - La mayoría de veces
 - Casi nunca
 - Nunca
- ¿Qué temáticas de la óptica física que orienta en sus cursos?
 - Polarización
 - Difracción
 - Interferencia
- Si su respuesta a la pregunta 4 es NUNCA indique la razón
 - El tiempo no es suficiente
 - Estas temáticas no aparecen en las pruebas censales
 - El tema es bastante denso para los estudiantes
 - No se siente seguro de su conocimiento acerca de estos temas
- Cuando usted aborda la óptica física en los cursos de física que orienta ¿cuánto tiempo dedica para trabajar interferencia?
 - 1 hora de clase

- b. 2 horas de clase
 - c. 4 horas de clase
 - d. 6 horas de clase
 - e. Las horas de clase correspondientes a un mes
 - f. Las horas correspondientes a un periodo académico
8. ¿Qué estrategia usa para trabajar interferencia?
- a. Experimentos caseros realizados por usted
 - b. Experimentos caseros realizados por los estudiantes
 - c. Prácticas con equipos de laboratorio sofisticados
 - d. Clase teórica (tablero y talleres)
 - e. Prácticas de laboratorio y teoría
9. Si usted NO usa experimentos en la enseñanza del concepto de interferencia ¿Cuál es la razón?
- a. No sabe que prácticas experimentales hay para trabajar este tema
 - b. La institución tiene los equipos necesarios pero no los usa porque son muy costosos y no los usa por precaución
 - c. La institución no tiene los equipos de laboratorio que se requieren
 - d. No considera necesario hacer uso de la experimentación
 - e. El tiempo para trabajar esta temática es muy corto y no alcanza a incluir experimentación
10. Cuando usted trabaja los conceptos de interferencia y difracción ¿se ha preocupado porque sus estudiantes identifiquen o perciban la relación existente entre estos dos fenómenos?
- a. Si y lo explica solo teóricamente
 - b. Si y lo explica solo experimentalmente
 - c. Si y lo aborda teóricamente apoyando este proceso con experimentos caseros
 - d. No ya que no lo considera importante

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA ENCUESTA

Esta encuesta fue aplicada a doce docentes de física de diferentes instituciones educativas con el fin de determinar algunas problemáticas relacionadas con enseñanza de la óptica física. Los resultados de la encuesta están resumidos en las siguientes afirmaciones:

- **Pregunta 1:** el 58,33% de los docentes encuestados afirma que **siempre** orienta temáticas relacionadas con la óptica geométrica
- **Pregunta 2:** El tema de óptica geométrica que más abordan los docentes es reflexión, sin embargo frecuentemente también se trabajan la refracción, lentes y espejos dentro de los cursos de física que orientan.
- **Pregunta 3:** No se obtuvo respuesta a esta pregunta

- **Pregunta 4:** Cuando se preguntó a los docentes acerca de la frecuencia con la que enseñan temáticas de la óptica geométrica las respuestas más comunes fueron **la mayoría de veces o casi nunca**
- **Pregunta 5:** Los docentes que manifestaron que sí abordan temáticas de la óptica física, indicaron que trabajan en sus cursos los conceptos de difracción e interferencia y muy pocos abordan polarización
- **Pregunta 6:** La principal razón por la que los docentes no llevan al salón temas relacionados con la óptica física es por falta de tiempo para impartir estas temáticas. Algunos manifiestan que no se sienten seguros de su formación disciplinar en estos temas
- **Pregunta 7:** El tiempo que los docentes dedican a la enseñanza del concepto de interferencia es de una a cuatro horas de clase, entiéndase por hora de clase un intervalo de 45 minutos, aproximadamente.
- **Pregunta 8:** Un gran número de docentes manifiesta que debido al poco tiempo que tienen para abordar temáticas de la óptica física, imparten el concepto de interferencia a través de clases teóricas y aplicación de talleres y/o pruebas escritas.
- **Pregunta 9:** Los docentes consideran que el poco tiempo que se debe invertir al estudio de cada concepto es la principal causa de que no se lleven prácticas experimentales al salón para abordar la interferencia.
- **Pregunta 10:** la mayoría de docentes manifiestan que si relacionan los conceptos de difracción e interferencia pero lo enseñan solo teóricamente.

ANEXO 2: Prueba diagnóstica



ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
COLEGIO RAFAEL URIBE URIBE E.D.



PRUEBA DIAGNÓSTICA

GRADO: 11___

JORNADA: TARDE

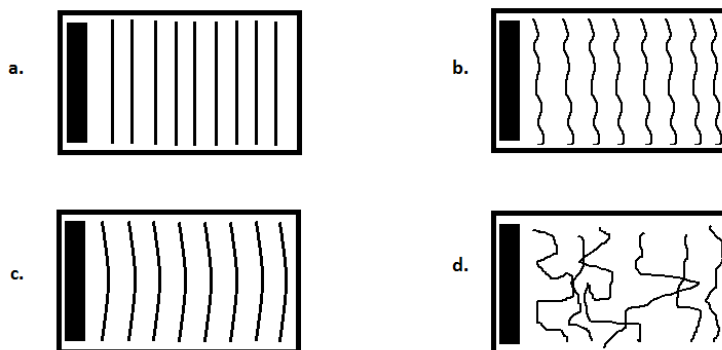
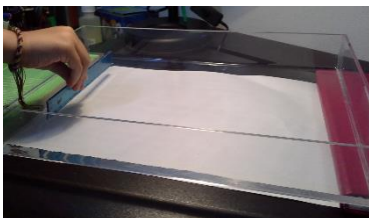
ASIGNATURA: Física

DOCENTE: Diana Marcela Zabala

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: _____

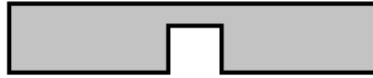
La siguiente prueba consta de 15 preguntas, de selección múltiple en las cuales debes leer muy bien cada enunciado y seleccionar la respuesta que consideres correcta. Las respuestas que se evaluarán son las que están registradas en la TABLA DE RESPUESTAS ubicada al final de esta prueba.

1. Se tiene un recipiente plástico y transparente, al cual se le agrega agua. ¿Cuál dibujo representa de la mejor manera lo que se observarás en una hoja blanca, colocada debajo del recipiente, cuando se golpee en repetidas ocasiones la superficie del agua con una regla?

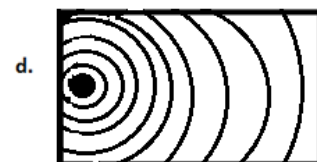
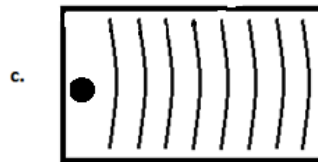
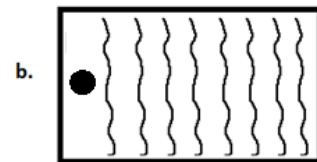
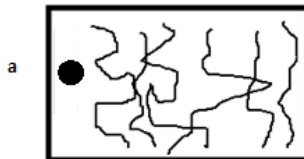
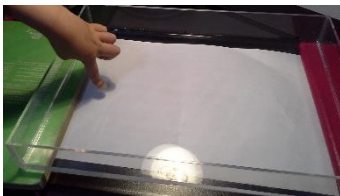


2. ¿Qué observarás en la hoja blanca colocada debajo del recipiente cuando golpees la superficie del agua con la regla lentamente y luego la golpees rápidamente?
 - a. Se observará un movimiento cada vez más desorganizado
 - b. Se observarán líneas verticales y al ir golpeando más rápido, aparecerán más líneas verticales
 - c. Sin importar si se golpea rápido o lento, se observarán siempre las mismas líneas verticales
 - d. Se verán líneas curvas y al ir golpeando más rápido la superficie del agua, se observarán más líneas curvas
3. Cuando realizas el procedimiento descrito en el punto 2, estás aumentando:
 - a. La frecuencia de la fuente
 - b. La frecuencia de la onda
 - c. La frecuencia de la fuente y por tanto de la onda
 - d. La velocidad de la fuente y de la onda

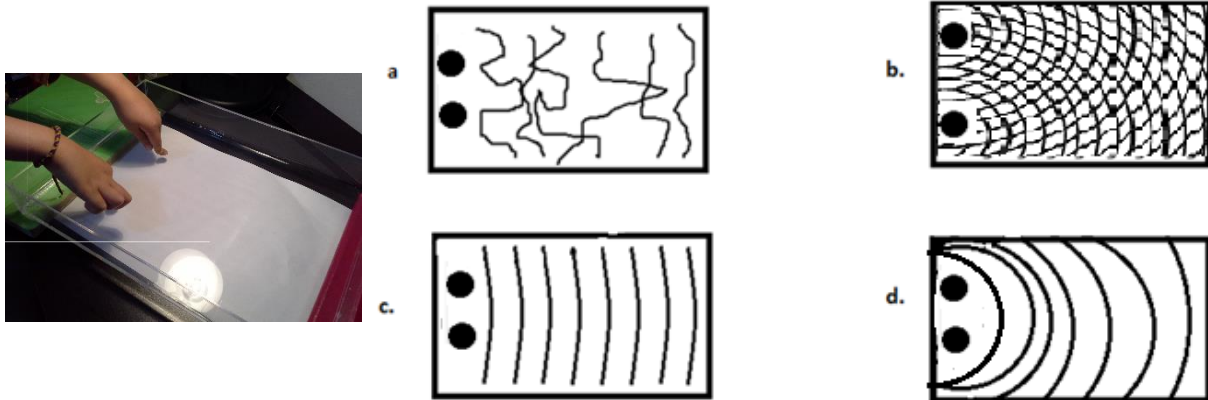
4. ¿Qué observarás cuando se realice la misma práctica del punto 1 y además se coloque en medio del recipiente una lámina plana y rectangular con un orificio en la mitad como la que se muestra en la figura?



- Líneas verticales de la misma longitud de la regla
 - Desde la regla hasta la lámina se observarán líneas verticales y desde la lámina hasta la pared del recipiente no se observará nada
 - Desde la regla hasta la lámina se observarán líneas verticales y desde la lámina hasta la pared del recipiente se observarán líneas verticales de menor longitud que las anteriores
 - Desde la regla hasta la lámina se observarán líneas verticales y desde la lámina hasta la pared del recipiente se observarán ondas esféricas
5. ¿Cuál de los siguientes dibujos representa mejor lo que se observarás en una hoja blanca, colocada debajo del recipiente, cuando se golpee varias veces la superficie del agua con un dedo?



6. ¿Cuál de las siguientes imágenes representa mejor lo que observarás en una hoja blanca, colocada debajo del recipiente, cuando se golpee varias veces la superficie del agua con dos dedos?



7. La imagen mostrada en la figura 1, es el resultado de iluminar una lámina con un láser. Para obtener esta imagen, la lámina debe contener:

- Un orificio circular del mismo tamaño que el haz de luz emitido por el laser
- Un orificio circular muy pequeño, similar a la punta de un alfiler
- Varios anillos concéntricos los cuales son oscuros y claros
- No es posible determinar que genera esta imagen

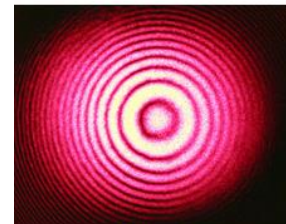


figura 1

8. La imagen mostrada en la figura 2, es lo que se observa en una pantalla luego de iluminar una lámina con un láser. Para obtener esta imagen en la pantalla, la lámina debe contener:

- Una ranura vertical muy delgada, similar al grosor de un hilo
- Una ranura vertical del mismo grosor que el ancho del haz emitido por el láser
- Varios orificios circulares organizados uno al lado del otro horizontalmente
- Varias ranuras delgadas, verticales y de diferente grosor

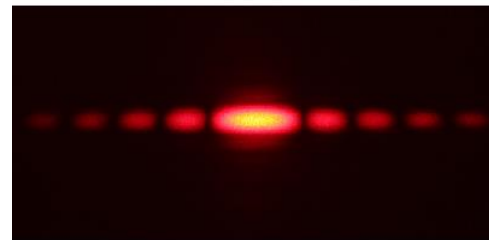


figura 2

9. Las figuras 1 y 2 mostradas en las preguntas 8 y 9 corresponden a un patrón de:

- Difracción de la luz
- Interferencia de la luz
- Difracción e interferencia de la luz
- No es posible obtener este patrón

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

10. La figura 3 es lo que se observa en una pantalla cuando se ha iluminado una lámina con un láser. Para obtener este resultado, la lámina debe contener:

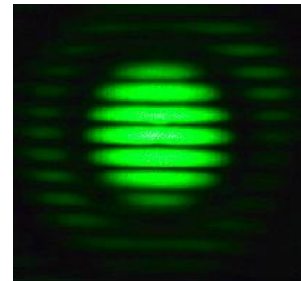


figura 3

- a. Varias ranuras horizontales del mismo grosor
 - b. Varias ranuras horizontales del mismo grosor pero de diferente longitud
 - c. Dos orificios muy pequeñitos, similares a la punta de un alfiler
 - d. Varios anillos concéntricos claros y oscuros
11. Las franjas brillantes y oscuras que se pueden ver en el círculo central de la figura 3 corresponden a un patrón causado por el fenómeno de:
- a. Difracción de la luz
 - b. Interferencia de la luz
 - c. Reflexión de la luz
 - d. Refracción de la luz
12. La figura 3 se obtuvo al iluminar la lámina con un láser cuya luz es de color verde. ¿Qué ocurrirá al cambiar el color de la luz?
- a. Cambiará el color de la imagen y nada más
 - b. Sin importar el nuevo color, se observarán menos franjas claras
 - c. Sin importar el nuevo color, se observarán más franjas claras
 - d. Dependiendo del nuevo color, se observarán más o menos franjas claras
13. Si se iluminan con un láser los agujeros, de dimensiones similares a la punta de un alfiler y que se encuentran a una distancia muy corta, que se encuentran en una lámina de acetato, como ilustra la figura, ¿Qué imagen se formará en una pantalla (pared u hoja blanca)?



- a. 2 puntos brillantes
 - b. Un patrón como el de la figura 3 (pregunta 11)
 - c. Un patrón como el de la figura 1 (pregunta 9)
 - d. Un punto brillante más grande que el tamaño de los orificios y cuyos bordes no se ven muy bien definidos
14. Al iluminar una pareja de puntos que como los de la lámina del punto anterior pero que se encuentren más separados se observará:
- a. 2 puntos brillantes
 - b. Un patrón como el de la figura 3 (pregunta 11) pero con más franjas brillantes que en el caso anterior
 - c. Un patrón como el de la figura 1 (pregunta 9) pero con menos círculos
 - d. Un punto brillante más pequeño que el tamaño de los orificios y cuyos bordes no se ven muy bien definidos

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

15. Teniendo en cuenta tus conocimientos acerca de lo que es la luz, identifica cuál de los siguientes enunciados es falso:
- Bajo ninguna circunstancia, la luz puede generar un patrón de difracción o interferencia
 - Generando condiciones especiales, la luz puede generar patrones de interferencia y difracción
 - La luz puede generar electricidad
 - La luz es una onda electromagnética, por lo tanto viaja en el vacío

TABLA DE RESPUESTAS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A															
B															
C															
D															

Figura 1: <http://www.heurema.com/PDF/PDF62-AnillosdNewton/PDF62-Foto1.jpg>

Figura 2: <http://www.heurema.com/PDF/PDF57-Difrac2rendijas/PDF57-Fig1.jpg>

ANEXO 3: Prueba final



ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
COLEGIO RAFAEL URIBE URIBE E.D.



PRUEBA FINAL

GRADO: 11___

JORNADA: TARDE

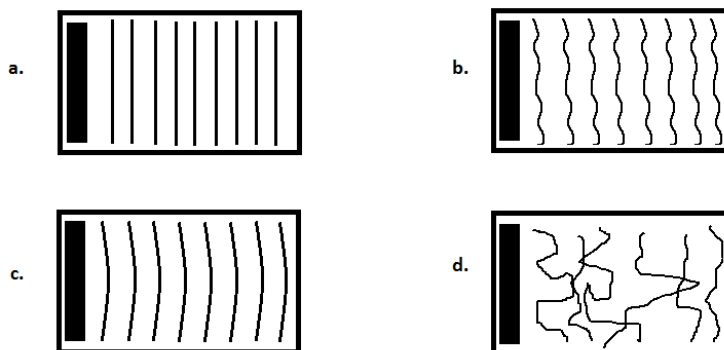
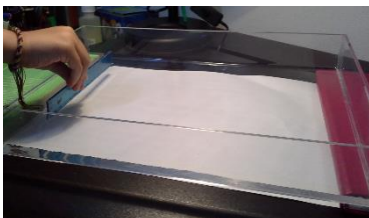
ASIGNATURA: Física

DOCENTE: Diana Marcela Zabala

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: _____

La siguiente prueba consta de 15 preguntas, de selección múltiple en las cuales debes leer muy bien cada enunciado y seleccionar la respuesta que consideres correcta. Las respuestas que se evaluarán son las que están registradas en la TABLA DE RESPUESTAS ubicada al final de esta prueba.

1. Se tiene un recipiente plástico y transparente, al cual se le agrega agua. ¿Cuál dibujo representa de la mejor manera lo que se observarás en una hoja blanca, colocada debajo del recipiente, cuando se golpee en repetidas ocasiones la superficie del agua con una regla?



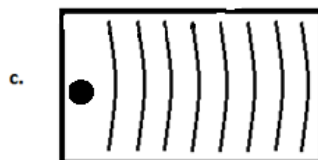
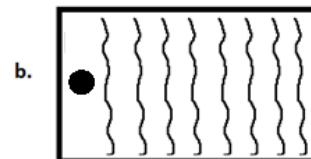
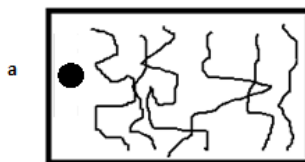
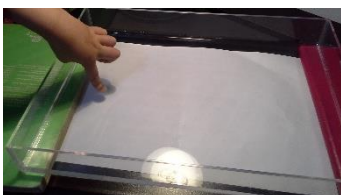
2. ¿Qué observarás en la hoja blanca colocada debajo del recipiente cuando golpees la superficie del agua con la regla lentamente y luego la golpees rápidamente?
- Se observará un movimiento cada vez más desorganizado
 - Se observarán líneas verticales y al ir golpeando más rápido, aparecerán más líneas verticales
 - Sin importar si se golpea rápido o lento, se observarán siempre las mismas líneas verticales
 - Se verán líneas curvas y al ir golpeando más rápido la superficie del agua, se observarán más líneas curvas
3. Cuando realizas el procedimiento descrito en el punto 2, estás aumentando:
- La frecuencia de la fuente
 - La frecuencia de la onda
 - La frecuencia de la fuente y por tanto de la onda
 - La velocidad de la fuente y de la onda

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

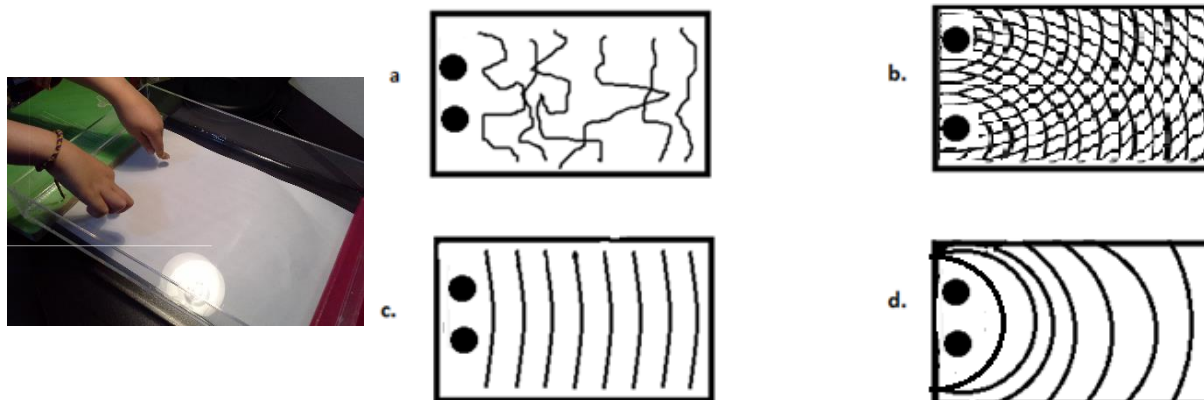
4. ¿Qué observarás cuando se realice la misma práctica del punto 1 y además se coloque en medio del recipiente una lámina plana y rectangular con un orificio en la mitad como la que se muestra en la figura?



- Líneas verticales de la misma longitud de la regla
 - Desde la regla hasta la lámina se observarán líneas verticales y desde la lámina hasta la pared del recipiente no se observará nada
 - Desde la regla hasta la lámina se observarán líneas verticales y desde la lámina hasta la pared del recipiente se observarán líneas verticales de menor longitud que las anteriores
 - Desde la regla hasta la lámina se observarán líneas verticales y desde la lámina hasta la pared del recipiente se observarán ondas esféricas
5. ¿Cuál de los siguientes dibujos representa mejor lo que se observarás en una hoja blanca, colocada debajo del recipiente, cuando se golpee varias veces la superficie del agua con un dedo?



6. ¿Cuál de las siguientes imágenes representa mejor lo que observarás en una hoja blanca, colocada debajo del recipiente, cuando se golpee varias veces la superficie del agua con dos dedos?



7. La imagen mostrada en la figura 1, es el resultado de iluminar una lámina con un láser. Para obtener esta imagen, la lámina debe contener:

- Un orificio circular del mismo tamaño que el haz de luz emitido por el láser
- Un orificio circular muy pequeño, similar a la punta de un alfiler
- Varios anillos concéntricos los cuales son oscuros y claros
- No es posible determinar que genera esta imagen

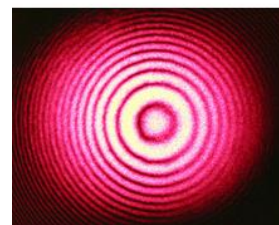


figura 1

8. La imagen mostrada en la figura 2, es lo que se observa en una pantalla luego de iluminar una lámina con un láser. Para obtener esta imagen en la pantalla, la lámina debe contener:

- Una ranura vertical muy delgada, similar al grosor de un hilo
- Una ranura vertical del mismo grosor que el ancho del haz emitido por el láser
- Varios orificios circulares organizados uno al lado del otro horizontalmente
- Varias ranuras delgadas, verticales y de diferente grosor

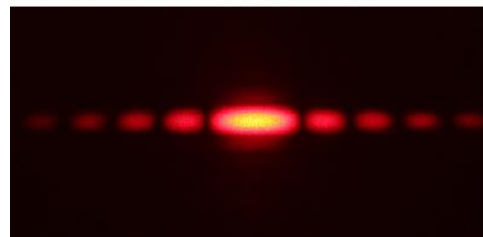


figura 2

9. Las figuras 1 y 2 mostradas en las preguntas 8 y 9 corresponden a un patrón de:

- Difracción de la luz
- Interferencia de la luz
- Difracción e interferencia de la luz
- No es posible obtener este patrón

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

10. La figura 3 es lo que se observa en una pantalla cuando se ha iluminado una lámina con un láser. Para obtener este resultado, la lámina debe contener:

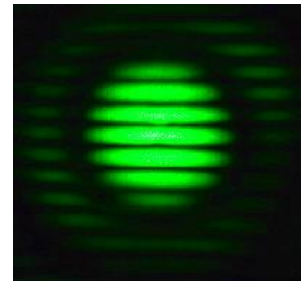


figura 3

- Varias ranuras horizontales del mismo grosor
- Varias ranuras horizontales del mismo grosor pero de diferente longitud
- Dos orificios muy pequeñitos, similares a la punta de un alfiler
- Varios anillos concéntricos claros y oscuros

11. Las franjas brillantes y oscuras que se pueden ver en el círculo central de la figura 3 corresponden a un patrón causado por el fenómeno de:

- Difracción de la luz
- Interferencia de la luz
- Reflexión de la luz
- Refracción de la luz

12. La figura 3 se obtuvo al iluminar la lámina con un láser cuya luz es de color verde. ¿Qué ocurrirá al cambiar el color de la luz?

- Cambiará el color de la imagen y nada más
- Sin importar el nuevo color, se observarán menos franjas claras
- Sin importar el nuevo color, se observarán más franjas claras
- Dependiendo del nuevo color, se observarán más o menos franjas claras

13. Si se iluminan con un láser los agujeros, de dimensiones similares a la punta de un alfiler y que se encuentran a una distancia muy corta, que se encuentran en una lámina de acetato, como ilustra la figura, ¿Qué imagen se formará en una pantalla (pared u hoja blanca)?



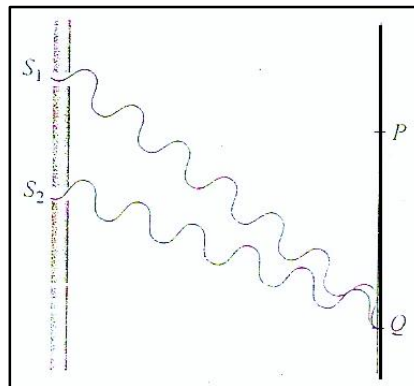
- 2 puntos brillantes
 - Un patrón como el de la figura 3 (pregunta 11)
 - Un patrón como el de la figura 1 (pregunta 9)
 - Un punto brillante más grande que el tamaño de los orificios y cuyos bordes no se ven muy bien definidos
14. Al iluminar una pareja de puntos que como los de la lámina del punto anterior pero que se encuentren más separados se observará:
- 2 puntos brillantes
 - Un patrón como el de la figura 3 (pregunta 11) pero con más franjas brillantes que en el caso anterior
 - Un patrón como el de la figura 1 (pregunta 9) pero con menos círculos
 - Un punto brillante más pequeño que el tamaño de los orificios y cuyos bordes no se ven muy bien definidos

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

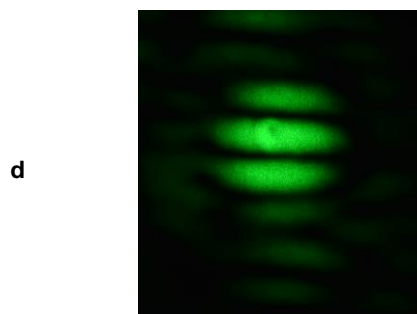
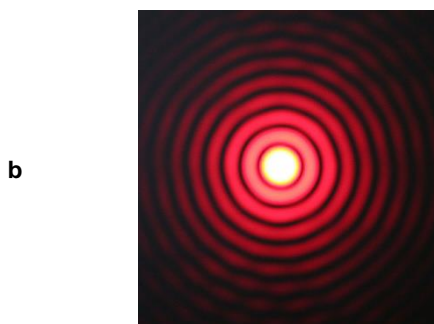
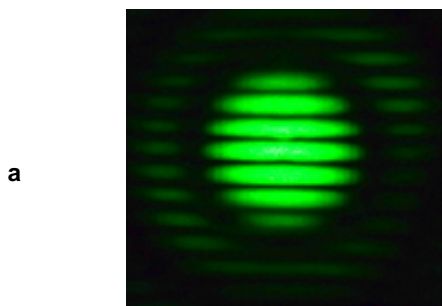
15. Teniendo en cuenta tus conocimientos acerca de lo que es la luz, identifica cuál de los siguientes enunciados es falso:
- Bajo ninguna circunstancia, la luz puede generar un patrón de difracción o interferencia
 - Generando condiciones especiales, la luz puede generar patrones de interferencia y difracción
 - La luz puede generar electricidad
 - La luz es una onda electromagnética, por lo tanto viaja en el vacío

16. Dos ondas luminosas son emitidas desde dos puntos, S_1 y S_2 respectivamente y en una pantalla se genera un patrón de interferencia, franjas brillantes y oscuras. En el punto Q de la figura de la derecha, se representa la ubicación de:

- Una de las franjas brillantes, interferencia constructiva.
- Una de las franjas oscuras, interferencia destructiva.
- La única franja brillante que se forma
- La única franja oscura que se forma



17. Suponga que iluminamos una lámina que contiene dos pequeños agujeros redondos, del tamaño de la punta de un cabello. Si estos agujeros se encuentran muy, muy cerca, lo más pegados posible. ¿Qué fotografía representa lo que se observará en una pared u hoja blanca colocada a una distancia de aproximadamente 2 metros?



18. Sabemos que los patrones de interferencia y difracción de la luz son similares, ya que ambos tienen franjas brillantes y oscuras. ¿Qué característica permite diferenciar un patrón de interferencia de uno de difracción a simple vista?
- No es posible diferenciarlos, ya que son patrones idénticos
 - El patrón de difracción tiene franjas brillantes de igual intensidad luminosa, mientras que el patrón de interferencia tiene una franja central muy brillante y alrededor tiene franjas de menor intensidad.

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

- c. La intensidad luminosa de las franjas de un patrón de interferencia es igual, mientras que el patrón de difracción tiene una franja central muy brillante y alrededor tiene franjas de menor intensidad.
- d. Los patrones de difracción siempre son circulares y los de interferencia siempre son líneas verticales
19. La fotografía 1 corresponde al patrón obtenido al iluminar una ranura muy delgada con un apuntador láser y la fotografía 2 corresponde al patrón obtenido al iluminar dos ranuras muy delgadas y que se encuentran cerca la una de la otra. ¿Qué patrón o patrones se observa en cada una?

Fotografía 1

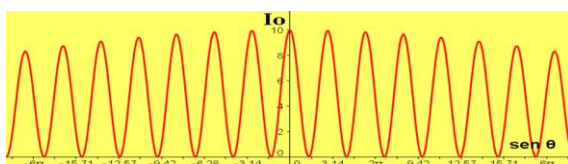


Fotografía 2

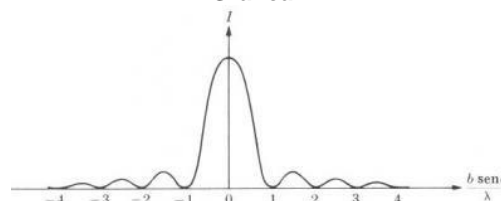


- a. **Fotografía 1:** solo interferencia, **fotografía 2:** solo difracción
- b. **Fotografía 1:** solo difracción, **fotografía 2:** solo interferencia
- c. **Fotografía 1:** interferencia y difracción, **fotografía 2:** interferencia y difracción
- d. **Fotografía 1:** difracción, **fotografía 2:** interferencia y difracción
20. Las gráficas que se muestran a continuación corresponden a la medición de la **intensidad luminosa (I)** en cada una de las franjas de dos patrones. El patrón al que corresponde cada gráfica es:

Gráfica 1



Gráfica 2



- a. **Gráfica 1:** intensidad luminosa en las franjas de interferencia **gráfica 2:** intensidad luminosa en las franjas de difracción
- b. **Gráfica 1:** intensidad luminosa en las franjas de difracción **gráfica 2:** intensidad luminosa en las franjas de interferencia
- c. Como la intensidad luminosa de las franjas del patrón de interferencia y el de difracción es la misma, la **gráfica 1** muestra la intensidad de las franjas de los dos patrones
- d. Como la intensidad luminosa de las franjas del patrón de interferencia y el de difracción es la misma, la **gráfica 2** muestra la intensidad de las franjas de los dos patrones

TABLA DE RESPUESTAS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
A																						
B																						
C																						
D																						

Figura 1: <http://www.heurema.com/PDF/PDF62-AnillosdNewton/PDF62-Foto1.jpg>

Figura 2: <http://www.heurema.com/PDF/PDF57-Difrac2rendijas/PDF57-Fig1.jpg>

ANEXO 4: Guía de actividad 1



ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
COLEGIO RAFAEL URIBE URIBE I.E.D.



ACTIVIDAD 1: RECONOCIENDO LAS ONDAS MECÁNICAS

GRADO: 11___

JORNADA: TARDE

ASIGNATURA: Física

DOCENTE: Diana Marcela Zabala

INTEGRANTES DEL GRUPO: _____

MANOS A LA PRÁCTICA 1

- Organicen grupos de 4 personas y desarrollen la práctica asignada (Máquina de ondas, ondas jabonosas, cubetas de ondas u ondas estacionarias) con los materiales e indicaciones dados por la docente.
- Respondan las siguientes preguntas teniendo en cuenta lo observado en la práctica que le correspondió al grupo

a. ¿Qué es una onda?

b. ¿Cómo se genera una onda?

c. Dibuja la forma de la onda que observaste e indica sus partes con base en la exposición realizada por la docente.

MANOS A LA PRÁCTICA 2

1. Generen ondas planas en la cubeta de ondas, varíen la frecuencia en el generador de ondas y cuenten, en cada frecuencia, cuantas ondas llegan al extremo del recipiente durante 10 o 15 segundos.

CANTIDAD DE ONDAS	TIEMPO	PERIODO	FRECUENCIA
			Baja
			media
			alta

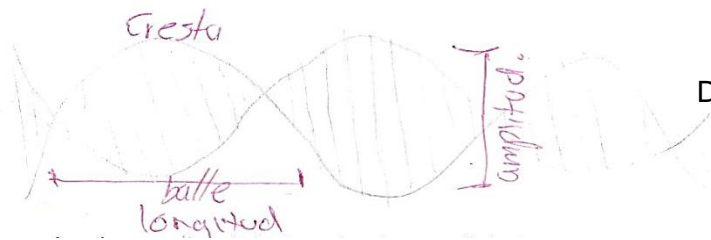
2. Tomando como base la tabla anterior respondan las siguientes preguntas:
- a. Si el periodo se define como el tiempo que se emplea en una oscilación, o el tiempo de recorrido entre cresta y cresta ¿Qué sucede con el periodo cuando la frecuencia aumenta?

- b. ¿Qué sucede con la velocidad de desplazamiento de la onda cuando el periodo aumenta?

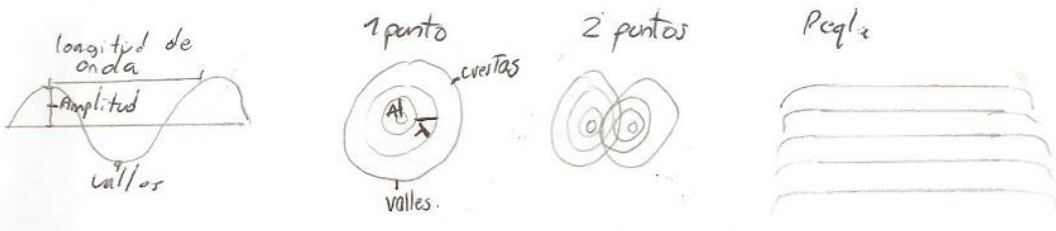
ANEXO 5: Ejemplos de dibujos actividad 1



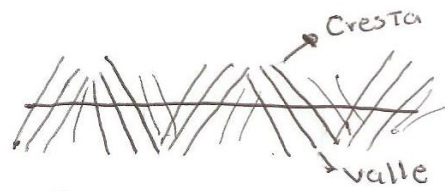
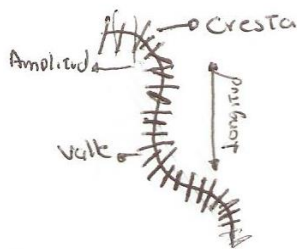
Dibujo onda jabonosa



Dibujo onda estacionaria



Dibujo ondas acuáticas



Dibujo onda en máquina de ondas

ANEXO 6: Guía de actividad 2



ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
COLEGIO RAFAEL URIBE URIBE.E.D.



ACTIVIDAD 2: FENÓMENOS ONDULATORIOS

GRADO: 11__

JORNADA: TARDE

ASIGNATURA: Física

DOCENTE: Diana Marcela Zabala

INTEGRANTES DEL GRUPO: _____

ANTES DE LA PRÁCTICA

Dibujen lo que creen que observarán en cada una de las siguientes situaciones:

- a. ¿Qué observarán en una hoja blanca, colocada debajo de la cubeta de ondas, cuando se generen dos ondas esféricas?



- b. ¿Qué observarás en una hoja blanca, colocada debajo de la cubeta de ondas, cuando se generen ondas planas y se sumerja un retazo de acrílico en medio de su recorrido?



- c. ¿Qué observarás en una hoja blanca, colocada debajo de la cubeta de ondas, cuando se generen ondas planas y se coloque una lámina rectangular de acrílico, como la de la figura, en medio de su recorrido?





- d. ¿Qué observarás en una hoja blanca, colocada debajo de la cubeta de ondas, cuando se generen ondas planas y se coloque una lámina rectangular de acrílico, como la de la figura, en medio de su recorrido?



COMPARTAMOS IDEAS

Elijan un compañero de trabajo para que dibuje y exponga los dibujos realizados para cada una de las situaciones anteriores.

MANOS A LA PRÁCTICA

Con el material entregado por tu docente, realicen las 4 prácticas que sugieren las preguntas de la sección antes de la práctica. Deben dibujar y describir sus observaciones de cada ejercicio.

PREGUNTA	DIBUJO	DESCRIPCIÓN
a		

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

b		
c		
d		

CONCLUYAMOS

Respondan las siguientes preguntas con base a lo observado en las prácticas realizadas:

- a.** ¿Qué sucede cuando dos ondas, de la misma naturaleza, se propagan en el mismo medio?

- b.** ¿Qué sucede cuando una onda pasa sobre un objeto opaco o transparente?

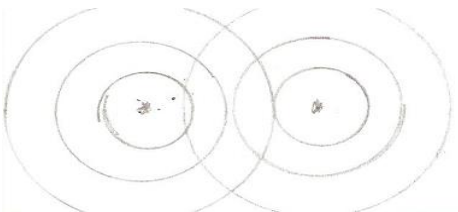
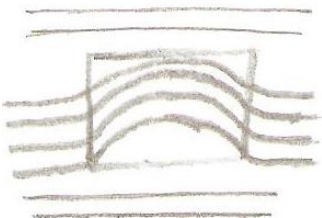

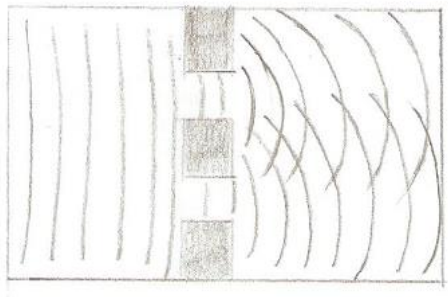
De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

c. ¿Qué sucede cuando una onda, plana o esférica, pasa a través de un orificio?

d. ¿Cómo se generan ondas esféricas?

ANEXO 7: Ejemplo hoja de resultados de la actividad 2

A continuación se muestra un ejemplo del registro de resultados, realizado por los estudiantes, en la guía de trabajo de la actividad 2. Como todos los grupos realizaron las mismas prácticas, todos los registros son muy similares.

PREGUNTA	DIBUJO Y DESCRIPCIÓN
a	 <p data-bbox="889 554 1284 722">Se ven ondas curvas, a medida que van creciendo se van cruzando entre sí, pero hay espacios en donde la onda se pierde y no se ve reflejada.</p>
b	 <p data-bbox="841 827 1312 1079">al acercarse de las ondas, se ven amplias y esféricas, cuando hacen contacto con el obstáculo las ondas se retienen y al final del obstáculo siguen su forma principal.</p>
c	 <p data-bbox="906 1136 1349 1310">Se genera una onda de apariencia redonda al atravesar el pequeño orificio.</p>
d	 <p data-bbox="943 1423 1377 1730">Empiezan las ondas rectas hasta llegar al obstáculo, allí hay dos orificios para cruzar, como son más reducidos, esto hace que tome una forma curva y al salir estas se van alargando y entrelazando.</p>

ANEXO 8: Guía de actividad 3



ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
COLEGIO RAFAEL URIBE URIBE.E.D.



ACTIVIDAD 3: ¿QUÉ ES LA LUZ?

GRADO: 11___

JORNADA: TARDE

ASIGNATURA: Física

DOCENTE: Diana Marcela Zabala

INTEGRANTES DEL GRUPO: _____

ANTES DE LA PRÁCTICA

Organicen grupos de **4 personas**, luego dibujen lo que creen que van a observar en cada una de las siguientes situaciones

- a. Si en la oscuridad se ilumina con una linterna, de luz muy intensa, el borde de una cuchilla de afeitar *minora* ¿Cómo creen que se verá la sombra en una pared blanca? Y si cambiamos la iluminación de la linterna por la de un apuntador láser ¿Qué observarán?

Dibujo de la sombra de la cuchilla cuando se ilumina con la linterna	Dibujo de la sombra de la cuchilla cuando se ilumina con el apuntador láser

- b. Si realizamos un par de agujeros muy juntos y muy pequeños (tan pequeños y tan separados como el diámetro de un cabello humano) en una lámina rígida, y luego en la oscuridad los iluminamos con una linterna de luz muy intensa, ¿qué se espera observar en una pantalla blanca ubicada a una distancia de al menos dos metros de los agujeros?, y si cambiamos la iluminación de la linterna por la iluminación de un apuntador láser, ¿cómo cambiará lo observado?

Patrón que observaremos al iluminar con una linterna de luz muy intensa .	Patrón que observaremos al iluminar con un apuntador láser .

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

- c. Si realizamos un solo agujero muy pequeño (tan pequeño como el diámetro de un cabello humano) en una lámina rígida, y luego en la oscuridad lo iluminamos con un apuntador láser, qué se espera observar en una pantalla blanca ubicada a una distancia de al menos dos metros del agujero?

Patrón que observaré al iluminar con una linterna de luz muy intensa .	Patrón que observaré al iluminar con un apuntador láser .

- d. Si realizamos un par ranuras muy delgadas y muy juntas (tan delgadas y tan juntas como el diámetro de un cabello humano) en una lámina rígida, y luego en la oscuridad las iluminamos con una linterna de luz muy intensa, ¿qué se espera observar en una pantalla blanca ubicada a una distancia de al menos dos metros de las ranuras?, y si cambiamos la iluminación de la linterna por la iluminación de un apuntador láser, ¿cómo cambiará lo observado?

Patrón que observaré al iluminar con una linterna de luz muy intensa.	Patrón que observaré al iluminar con un apuntador láser.

- e. Si realizamos una sola ranura muy delgada (tan delgada como el diámetro de un cabello humano) en una lámina rígida, y luego en la oscuridad la iluminamos con una linterna de luz muy intensa, ¿qué se espera observar en una pantalla blanca ubicada a una distancia de al menos dos metros de la ranura?, y si cambiamos la iluminación de la linterna por la iluminación de un apuntador láser, ¿cómo cambiará lo observado?

Patrón que observaré al iluminar con una linterna de luz muy intensa.	Patrón que observaré al iluminar con un apuntador láser.

COMPARTAMOS IDEAS

Escojan a un compañero para que realice los dibujos de las anteriores situaciones en el tablero y explique porqué son de esta manera.

MANOS A LA PRÁCTICA 1

Con los materiales dados por la docente, realicen las prácticas indicadas en cada una de las preguntas iniciales. Registren en la siguiente tabla lo que observaron en cada una y su respectiva explicación.

PREGUNTA	DIBUJO		EXPLICACIÓN
	Iluminación con linterna	Iluminación con láser	
a			
b			
c			
d			

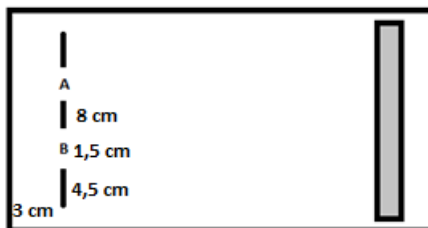
De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

e			
----------	--	--	--

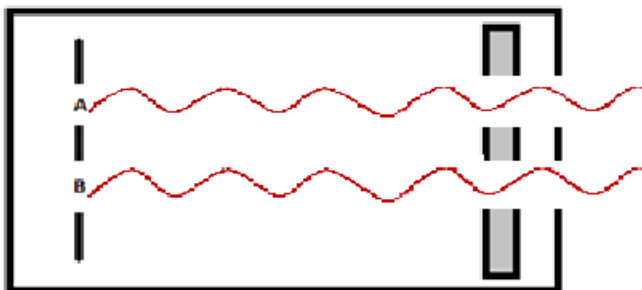
MANOS A LA PRÁCTICA 2

Esta práctica nos ayudará a entender la formación de franjas brillantes y oscuras observadas en la situación b se la sección anterior. Con los materiales suministrados por la docente y las instrucciones dadas, realicen el siguiente procedimiento.

1. Realicen el siguiente dibujo en una hoja blanca y péguenla sobre la lámina de balsa o triplex



2. Coloquen en los orificios A y B como indica la figura, las ondas de color rojo entregadas por la docente, como indica la figura, de tal manera que quede la misma parte de la onda en cada agujero.



3. Dejen fijas las ondas en los orificios A y B usando los chinchas
4. Muevan los extremos libres de las ondas y marca con rojo en el rectángulo gris las coincidencias entre valles o crestas de las dos ondas y marca con color negro las coincidencias entre el valle de una onda la cresta de la otra.

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

5. Realiza los mismos procedimientos descritos en los numerales 2, 3 y 4 con las ondas de azul

CONCLUYAMOS

Responde las siguientes preguntas

- a. ¿Encuentran algún parecido entre lo observado en las prácticas con la cubeta de ondas y las realizadas con las láminas de acetato y el láser?

- b. ¿Tiene sentido afirmar que la luz es una onda? ¿Por qué?

- c. ¿Cuál es la diferencia entre la sombra obtenida al iluminar un solo agujero con el apuntador láser y la sombra obtenida al iluminar dos agujeros?

ANEXO 9: Ejemplo de mediciones en actividad 3

Ejemplo de mediciones realizadas por un grupo de trabajo en la práctica dos de la actividad tres.



Observemos en esta fotografía que el grupo de estudiantes, localizó una franja de interferencia constructiva en el centro del patrón y dos franjas de interferencia destructiva, además, la distancia entre los lugares donde se representa franjas brillantes y oscuras es la misma, 8 centímetros.

ANEXO 10: Guía de actividad 4



ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
COLEGIO RAFAEL URIBE URIBE.E.D.



ACTIVIDAD 4: INTERFERENCIA Y DIFRACCIÓN DE LA LUZ

GRADO: 11__

JORNADA: TARDE

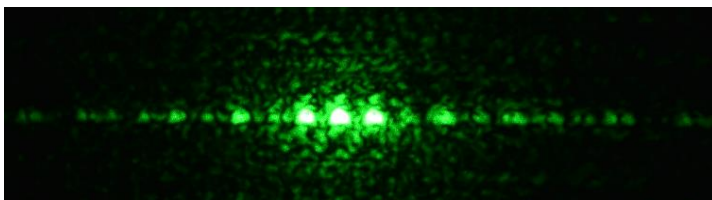
ASIGNATURA: Física

DOCENTE: Diana Marcela Zabala

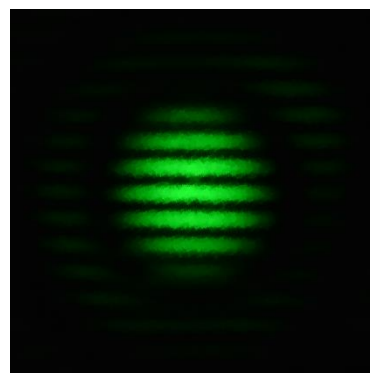
INTEGRANTES DEL GRUPO: _____

ANTES DE LA PRÁCTICA

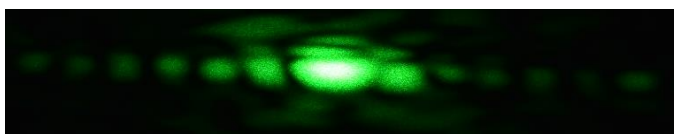
Respondan las siguientes preguntas con base a las imágenes que se encuentran a continuación, las cuales corresponden a tres patrones obtenidos al iluminar 3 láminas distintas con un apuntador láser.



1



3



2

1. ¿Qué creen que debe contener cada lámina para poder obtener estos patrones?

Lámina de imagen 1: _____

Lámina de imagen 2: _____

Lámina de imagen 3: _____

2. ¿En cuál o cuáles de las imágenes se puede observar un patrón de interferencia? ¿Por qué?

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

3. ¿En cuál o cuáles de las imágenes se puede observar un patrón de difracción? ¿Por qué?

4. ¿Es posible obtener un patrón de interferencia y uno de difracción simultáneamente? Si es así, ¿En cuál o cuáles imágenes se evidencia simultáneamente un patrón de interferencia y uno de difracción?

COMPARTAMOS IDEAS

Elijan un integrante del grupo para que explique muy bien las respuestas dadas a las preguntas anteriores

MANOS A LA PRÁCTICA 1: INTERFERENCIA

1. Iluminen la lámina que contiene dos agujeros muy pequeños y muy cercanos con tu láser hasta obtener un patrón muy bien definido, como el de la imagen 3. Debes tener en cuenta que este patrón se observará con una distancia mínima de 2 metros desde la lámina hasta la pared en la que se desee proyectar la sombra.
2. Dibuja y describe el patrón obtenido

DIBUJO	DESCRIPCIÓN

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

3. Pega una hoja milimetrada a la pared (en el lugar donde se generó el patrón requerido) y marca con color rojo el centro de las franjas rojas formadas en el círculo central de tu patrón y con color negro el centro de las franjas oscuras formadas en el círculo central del patrón obtenido.
4. Mide la distancia entre franjas brillantes y oscuras consecutivas formadas en el círculo central del patrón obtenido. Realiza el dibujo del círculo central con sus respectivas franjas y escribe las medidas obtenidas.



5. ¿Cómo es la intensidad de la luz de las franjas ubicadas dentro del círculo central del patrón obtenido?

6. ¿Cómo es la separación entre las franjas brillantes del patrón obtenido en el círculo central?

7. ¿Cómo es la intensidad de los de los anillos que se forman alrededor del círculo central del patrón obtenido?

MANOS A LA PRÁCTICA 2: DIFRACCIÓN

1. Iluminen la lámina, que contiene una ranura muy delgada, con el apuntador láser hasta obtener un patrón muy bien definido como el de la figura 2.
2. Dibuja y describe el patrón obtenido

DIBUJO	DESCRIPCIÓN

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

3. Pega una hoja milimetrada a la pared (en el lugar donde se generó el patrón requerido) y marca con color rojo el centro de las franjas rojas y con color negro el centro de las franjas oscuras.
4. Mide la distancia entre los centros de los puntos brillantes consecutivos. Realiza el dibujo del patrón obtenido e indica las medidas realizadas.



5. ¿Qué ocurre con la intensidad de los puntos brillantes obtenidos al iluminar la lámina con el láser?

6. ¿Cómo es la separación entre los puntos brillantes del patrón obtenido?

CONCLUYAMOS

Para concluir esta actividad, respondamos las siguientes preguntas:

1. Al patrón de franjas obtenido en círculo central de laboratorio 1 se le conoce como patrón de interferencia y al patrón de franjas obtenido en el laboratorio 2 se le llama patrón de difracción. ¿Cuál es la principal diferencia que observas entre los patrones que observas en cada caso?

Interferencia:

Difracción:

2. Si iluminamos con un apuntador láser un borde muy delgado, como el filo de una cuchilla de afeitar, ¿Qué características tendrá el patrón que se observará? ¿A qué fenómeno corresponde?


De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

-
-
-
3. Si iluminamos con un apuntador láser una lámina que contiene un par de agujeros muy pequeños y muy cercanos ¿Qué características tendrá el patrón que se obtendrá? ¿A qué fenómeno corresponde?

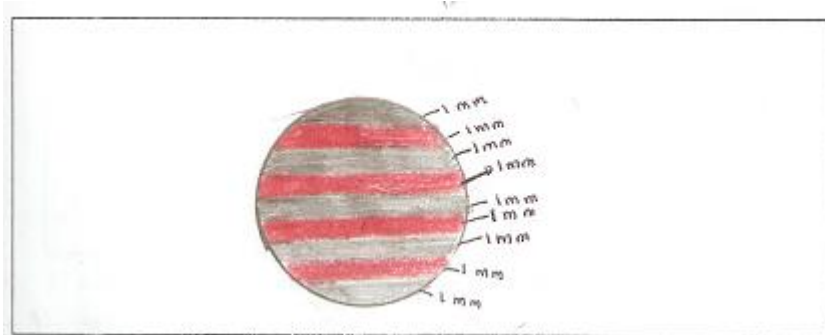
4. ¿Cómo cambiará el patrón del punto anterior si ahora se ilumina con el láser un solo agujero muy pequeño? ¿A qué fenómeno corresponde?

ANEXO 11: Ejemplo de resultados actividad 4

Ejemplo de dibujo y descripción, realizada por un grupo de estudiantes, del patrón formado cuando se iluminan con un apuntador láser dos orificios muy pequeños y muy cercanos.

DIBUJO	DESCRIPCIÓN
	<p>Observamos que el círculo presentaba un patrón de interferencia ya que se observaron de igual intensidad, y al rededor habian una especie de anillos que presentaban un patrón de difracción ya que cada vez tenían menor intensidad.</p>

Medidas de separación entre las franjas del patrón de interferencia observado en el círculo central.



ANEXO 12: Guía de actividad 5



ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
COLEGIO RAFAEL URIBE URIBE I.E.D.



ACTIVIDAD 5: DE LA INTERFERENCIA A LA DIFRACCIÓN

GRADO: 11___

JORNADA: TARDE

ASIGNATURA: Física

DOCENTE: Diana Marcela Zabala

INTEGRANTES DEL GRUPO: _____

ANTES DE LA PRÁCTICA



Sabemos que al iluminar con un apuntador láser un par de agujeros muy pequeños y muy cercanos, se obtiene una imagen con un círculo central en el cual se observan franjas de un patrón de interferencia. ¿Qué ocurrirá con la separación entre las franjas, del patrón de interferencia, cuando se reduzca la distancia entre los agujeros?

¿Qué ocurrirá con la separación entre las franjas, del patrón de interferencia, cuando se reduzca mucho más la distancia entre los agujeros?

Si los agujeros están tan unidos que parecieran uno solo ¿Qué esperarían observán? ¿A qué fenómeno correspondería?

COMPARTAMOS IDEAS

De la interferencia a la difracción: estrategia didáctica para estudiantes de secundaria

Elijan un integrante del grupo para que explique muy bien las respuestas dadas a las preguntas anteriores

MANOS A LA PRÁCTICA

Iluminen con un láser las parejas de agujeros entregadas por la docente, deben comenzar iluminando los agujeros más separados hasta llegar a los que se encuentran más unidos. Completen la siguiente tabla dibujando el patrón obtenido e indiquen la medida respectiva de la separación entre las franjas de interferencia. En la columna de fenómeno observado, indica si el patrón obtenido corresponde a interferencia, difracción o ambos.

DIBUJO	SEPARACIÓN ENTRE FRANJAS BRILLANTES DE INTERFERENCIA	FENÓMENO OBSERVADO

CONCLUYAMOS

Responde las siguientes preguntas:

1. ¿Qué sucede con el patrón de interferencia formado en el círculo central o región central cuando se disminuye la distancia entre los agujeros?

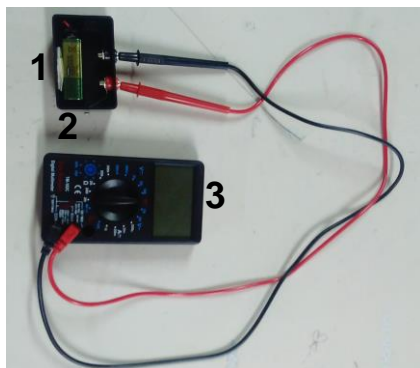
2. Cuando los agujeros están tan cerca como si fuesen uno solo ¿qué patrón se observa?

3. ¿Cómo son las gráficas de intensidad luminosa vs número de franja en las siguientes situaciones? (Realiza la gráfica a partir de la práctica demostrativa, realizada por el docente)

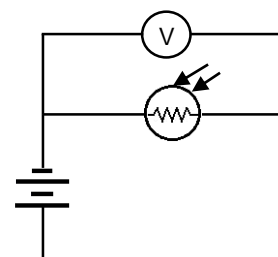
INTENSIDAD LUMINOSA CUANDO SE ILUMINAN 2 AGUJEROS	INTENSIDAD LUMINOSA CUANDO SE ILUMINA UN AGUJERO

ANEXO 13: Práctica demostrativa: Gráficas de intensidad luminosa

En la actividad 5 (Anexo 12) sección concluyamos, punto 3 se propuso a los estudiantes construir la gráfica de intensidad luminosa en un patrón de interferencia, a partir de una práctica demostrativa (realizada por el docente). Para ello se iluminó dos rendijas rectangulares de $0,3 \pm 0,01 \text{ mm}$ de ancho separadas $0,01 \pm 0,001 \text{ mm}$ con un apuntador láser rojo ($\lambda = 650 \text{ nm}$) y se midió la intensidad luminosa de cada franja del patrón de interferencia obtenido en una pantalla ubicada a $2,5 \pm 0,01 \text{ m}$ de las rendijas. La medición de la intensidad luminosa se realizó con un pequeño circuito como muestra la figura.



1. Pila 9 voltios
2. Fotorresistencia
3. multímetro



Circuito utilizado para medir la intensidad luminosa de un patrón de interferencia y uno de difracción



Fotografías medición intensidad luminosa de los patrones de interferencia y difracción

Del mismo modo se procedió con el patrón de difracción obtenido al iluminar una rendija cuyo ancho es de $0,3 \pm 0,01 \text{ mm}$ ubicada a $2,5 \pm 0,01 \text{ m}$ de la pantalla. Al realizar esta actividad los estudiantes construyeron correctamente las gráficas de los patrones de interferencia y difracción como los mostrados en las figuras 2.14 y 2.23.

ANEXO 14: Guía de actividad 6



ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
COLEGIO RAFAEL URIBE URIBE I.E.D.



ACTIVIDAD 6: JUGUEMOS CON LA INTERFERENCIA

GRADO: 11__

JORNADA: TARDE

ASIGNATURA: Física

DOCENTE: Diana Marcela Zabala

INTEGRANTES DEL GRUPO: _____

En esta actividad nos divertiremos jugando con patrones de interferencia

EJERCICIO 1

Realiza el siguiente ejercicio usando las dos láminas de acetato entregados por la docente.

1. Coloca las dos láminas una sobre otra de tal manera que coincidan sus franjas oscuras
2. Coloca las dos láminas sobre la mesa
3. Gira la lámina que se encuentra en la parte superior y deja fija la lámina inferior

¿Qué observaron?

¿Por qué crees que se genera este efecto?

¿Qué se observa cuando se coloca una moneda o cualquier objeto pequeño debajo de las dos láminas?

DIBUJO	DESCRIPCIÓN

--	--

EJERCICIO 2

Para este ejercicio utilizaremos dos impresiones, una en papel blanco y la otra en una lámina de acetato, con ellas debes realizar la siguiente actividad.

1. Debes colocar la hoja blanca sobre tu mesa y sobre la hoja blanca debes colocar la lámina de acetato.
2. Mueve hacia la derecha únicamente la lámina de acetato
3. Observa atentamente

¿Qué observaron?

¿Por qué creen que se genera ese efecto?
