

Práctica #7

Interferencia, difracción y espectroscopia

Kaled Sequeira — kaledseq@estudiantec.cr — 2020061166,
Javier Fernández — jjavierf64@estudiantec.cr — 2020425930

◆

1. INTRODUCCIÓN

La interferencia de la luz es un fenómeno que se da cuando dos o más ondas de luz se superponen entre sí, creando una suma que puede resultar en un máximo de intensidad, o en la cancelación de las intensidades de la luz (es decir, un mínimo). En términos físicos, la difracción y la interferencia son un mismo fenómeno, sin embargo, comúnmente para el caso de difracción se considera cuando se obstruye la luz de alguna forma, y cuando los rayos de luz a analizar son grandes cantidades.

Estos fenómenos pueden encontrarse en la vida diaria de distintas maneras. Para el caso de la interferencia, un ejemplo muy claro es en las películas delgadas de aceite que encontramos en las gasolineras o en las calles. Ello se trata de un charco de líquido, comúnmente agua, sobre el que flota una capa delgada de aceite; por ello se forma una película delgada de dicho aceite entre los medios de aire y agua, por lo que se puede observar un efecto cercano al de un arcoíris en dicha capa, tal y como se observa en la figura 1

De la misma manera, el fenómeno de difracción se puede observar de forma cotidiana en la parte trasera de discos ópticos. Ello se debe a que los CDs poseen pequeñas franjas muy juntas entre sí, creando una pantalla de difracción que también refleja la luz incidente. Así, se puede observar el fenómeno como el arcoíris detrás de los CDs, tal como se observa en la figura 2



Figura 1: Película delgada de aceite que presenta interferencia [1].

Un fenómeno sumamente interesante, y contra-intuitivo, es el hecho de que la parte más brillante de una sombra es su centro. Ello se puede observar claramente al iluminar una esfera lisa. Este fenómeno fue utilizado por Poisson para intentar refutar la teoría ondulatoria, presentándolo como algo absurdo que debe de surgir a partir de dicha teoría; sin embargo este es un fenómeno real, por lo que sólo se puede dar si la luz presenta las propiedades descritas por la teoría ondulatoria.

Los anillos de Newton son un fenómeno que se presenta al poner en contacto una superficie plana con una circular e iluminar la configuración. Lo que ocurre es que se observa en la proyección una serie de anillos concéntricos con patrones de mínimos y máximos. Dicho



Figura 2: Parte trasera de CD [2].

fenómeno sólo puede explicarse por la teoría ondulatoria de la luz, es decir que refuta la teoría corpuscular, ya que se requiere de que la luz posea longitudes de onda y se pueda dar superposición para que se produzca interferencia en la luz que atraviesa el sistema y de esta manera presentar los patrones de mínimos y máximos en forma de anillos.

La espectroscopia es una técnica analítica experimental utilizada para detectar la absorción o emisión de radiación electromagnética para una sustancia [3]. Se basa en el estudio de la cantidad de luz que absorbe, emite o dispersa un objeto; esto al descomponer la luz y medir diferentes longitudes de onda.

El dispositivo encargado de analizar las señales luminosas en sus diferentes longitudes de onda es el espectrofotómetro. Este instrumento mide en función de la longitud de onda, al comparar esto con la radiación para cada longitud de onda a la salida del objeto incidente [4].

Existen distintos tipos de detectores utilizados en la espectroscopia, dependiendo de si se mide en el ultravioleta, visible o en el infrarrojo. Entre estos lo más comunes corresponde a los que responden a los fotones y los que responden al calor [4].

Los fenómenos de interferencia y difracción

pueden distinguirse entre sí. La interferencia ocurre cuando dos ondas o más de distintas fuentes luminosas interactúan sobre un mismo espacio, produciendo un patrón de franjas claras y oscuras, por otra parte la difracción se da con la interacción de la luz con bordes finos que se interponen en su trayecto. Además la difracción también aplica para un arreglo fino de obstáculos periódicos rectilíneos, colocados en su trayectoria y que también producen patrones de interferencia. La difracción de la luz no ocurre para todas las longitudes con un mismo obstáculo. La interferencia ayuda a revelar el comportamiento ondulatorio sin importar el tamaño de las rendijas mientras que la difracción solo revela a partículas establecidas como fotones que viajan como ondas ante rendijas de orden de magnitud de la onda individual. Por último la difracción se puede lograr utilizando rendijas individuales, la interferencia no.

En el caso de la fotografía, la difracción se presenta en la parte de las cámaras denominadas como diafragma. El diafragma permite seleccionar el enfoque de la cámara al limitar la entrada de luz, por lo que al mismo tiempo se elige la profundidad de campo. Sin embargo, existe un límite para la selección de la profundidad de campo y la resolución, ya que al cerrar el diafragma lo suficiente, se empieza a notar significativamente la difracción de la luz en las fotografías. Entonces, se observa distorsión en las imágenes que se toman con el diafragma muy cerrado [5].

Una de las aplicaciones de la difracción de la luz en el análisis de materiales, es en el análisis de estructuras cristalinas de los minerales. Al considerar luz que incide en un mineral desconocido con longitud de onda y ángulo de incidencia definidos, es posible determinar la estructura cristalina molecular de dicho mineral.

Asimismo, si se tiene un material de composición desconocida, es posible excitar las moléculas que lo componen hasta que emitan radiación visible. Luego, se concentra esa luz en una rejilla de difracción que permita separar la luz en longitudes de onda distintas y así determinar el espectro de emisión del material desconocido. Entonces, se compara dicho es-

pectro de emisión con los espectros de emisión conocidos para distintos compuestos químicos y así definir la composición del material estudiado.

Como objetivos para esta práctica se busca en general realizar experimentos sencillos y ensayos por simulación computacional sobre dispersión, interferencia, difracción de la luz y espectroscopia, para identificar los fenómenos en los que se presentan y conocer algunas de sus aplicaciones.

Para la primera práctica es decir la parte simulada se busca identificar el fenómeno de interferencia y la dispersión de la luz en situaciones cotidianas, reconocer algunas características generales de los fenómenos de interferencia de la luz, conocer los orígenes de la espectroscopia como técnica de identificación de sustancias, entender cómo se utiliza la interferencia de la luz para determinar propiedades físicas de algunos sistemas y realizar ensayos por simulación computacional de los fenómenos de interferencia y de espectroscopia.

Para la parte experimental de la práctica se quiere reconocer algunas características de la difracción y su relación con la interferencia, conocer la aplicación de las rejillas de difracción en el estudio de las propiedades de la luz, comprender la importancia de las rejillas de difracción en los equipos de espectroscopia y realizar experimentos sencillos utilizando rejillas de difracción.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como materiales para la práctica simulada se utilizaron simulaciones de la plataforma de simulación "Física en la escuela - HTML5" de Vladimir Vasak y la plataforma de simulación "oPhysics", desarrollada en Geogebra por Tom Walsh. Esto para los fenómenos de Experimento de Young, interferencia en películas delgadas, rejillas de difracción, espectroscopio, líneas espectrales del hidrógeno molecular y la difracción de rayos x.

Posteriormente la parte experimental de la práctica se utilizó un teléfono celular o tableta con sensor de luz, pantallas de proyección,

Espectroscopio marca PASCO, distintas fuentes de luz, lámparas de arco para tubos con gases a baja presión, regla y cinta métrica y un interferómetro de Michelson. Todo esto para analizar los fenómenos de difracción.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento de Young

Utilizando la simulación de "Double Slit Interference" se variaron los parámetros para entender el funcionamiento y determinar cómo afecta cada uno el patrón de interferencia. En resumen y como se observa en las figuras 3, 4, 5, 6 el patrón de interferencia no varía al cambiar la distancia entre rendijas, ya que la longitud de onda es quién afecta de manera significativa el patrón de interferencia, los máximos se observan con más frecuencia entre mayor sea la longitud de onda.

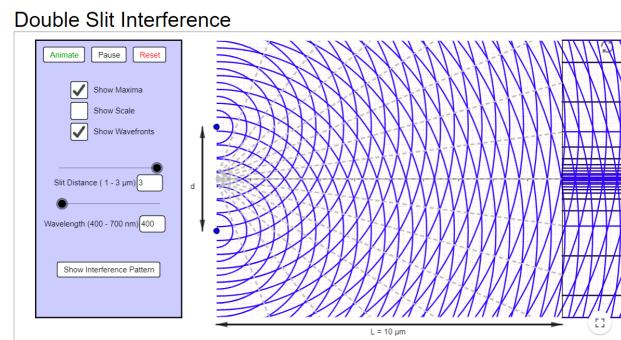


Figura 3: Ejemplo de los efectos del cambio en la distancia de la rendija.

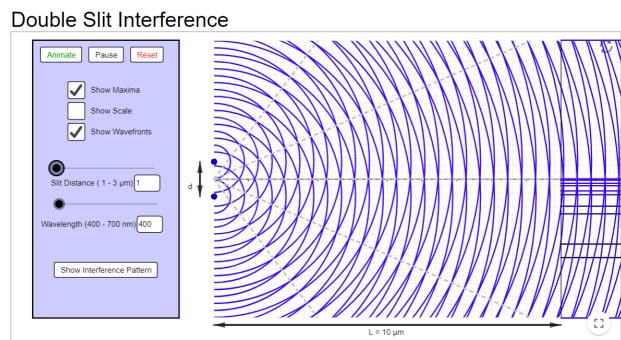


Figura 4: Ejemplo de los efectos del cambio en la distancia de la rendija.

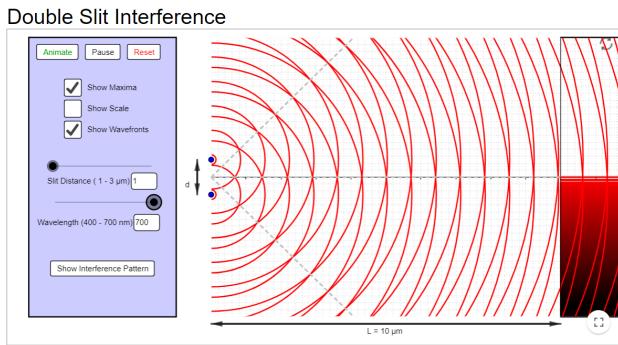


Figura 5: Ejemplo de los efectos del cambio en la longitud de onda.

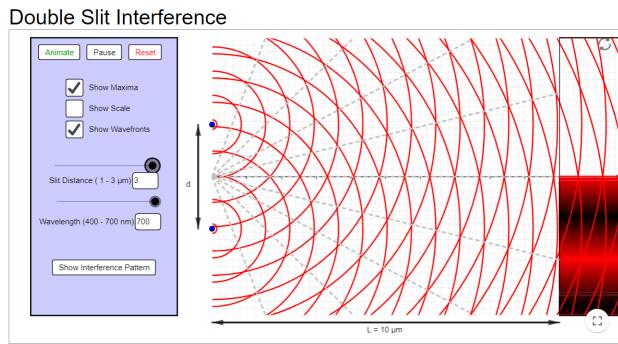


Figura 6: Ejemplo de los efectos del cambio en la longitud de onda.

Rejillas de difracción

Utilizando la simulación se determinaron que parámetros se podían variar y se realizaron pruebas en el ambiente de simulación. En la tabla 1 se anotó los datos de la variación mínima de cada parámetro. Se recolectaron datos en las tablas 2 y 3 de la distancia de separación entre los órdenes de difracción, variando la longitud de onda y la rejilla de difracción.

Cuadro 1: Variación mínima de los parámetros de la simulación "Diffraction Grating Laser Lab"

Parámetro	Variación mínima
Screen to Grating Distance	0.01
Grating lines per mm	1
Wavelength	0.1

A partir de las tablas se generaron las gráficas 7, 8, 9, y 10 representando las distancias de

Cuadro 2: Separación de los órdenes de la difracción sobre la pantalla, utilizando distintas longitudes de onda, para una distancia de 5m entre la rejilla de difracción de 200 líneas/mm y la pantalla.

Longitud de onda (nm)	Cero y primero (m)	Primer y segundo (m)
400	0.4	0.4
450	0.45	0.45
500	0.5	0.5
550	0.55	0.55
600	0.6	0.6
650	0.65	0.65
700	0.7	0.7

Cuadro 3: Separación de los órdenes de la difracción sobre la pantalla, utilizando distintas longitudes de onda, para una distancia de 5m entre la rejilla de difracción de 500 líneas/mm y la pantalla.

Longitud de onda (nm)	Cero y primero (m)	Primer y segundo (m)
400	1	1.2
450	1.15	1.35
500	1.3	1.6
550	1.4	1.9
600	1.6	2.15
650	1.7	2.6
700	1.9	3

separación de difracción. Las gráficas indican que la longitud de onda y la distancia de separación tienen una relación lineal para tanto el cero y el primer máximo así como el primer y segundo máximo. Además la separación entre las distancias de separación de difracción aumentan conforme aumenta la densidad de líneas de la rejilla. Se podría plantear para el diseño de un dispositivo que utilice rejillas de difracción para analizar las señales luminosas que emite una fuente o refleja un material que se utilicen rejillas de mayor densidad de líneas ya que permite determinar de forma más sencilla la separación entre máximos.

Interferencia de películas delgadas

Utilizando la simulación de interferencia de películas delgadas, se consideró una película de agua jabonosa ($n=1.4$) rodeada de aire, para

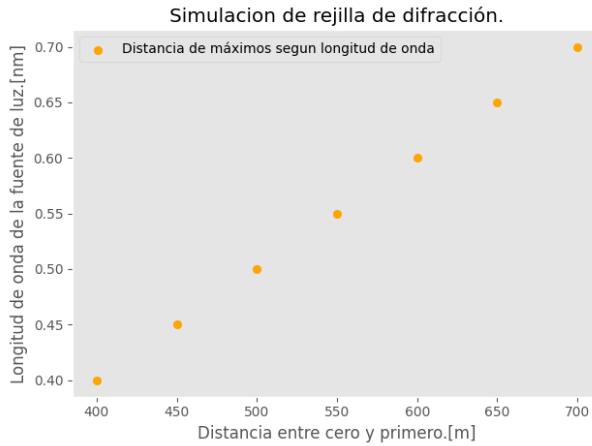


Figura 7: Separación de los órdenes de difracción.

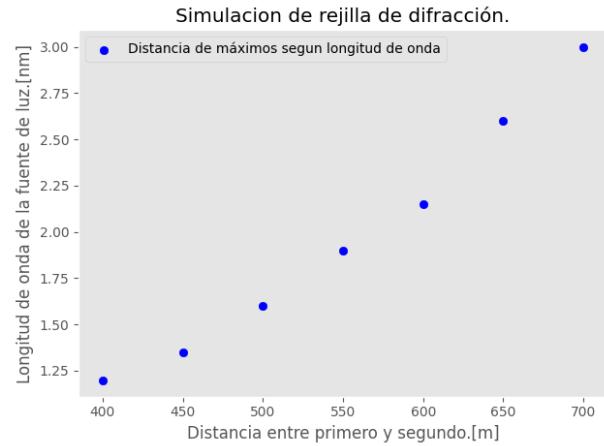


Figura 10: Separación de los órdenes de difracción.

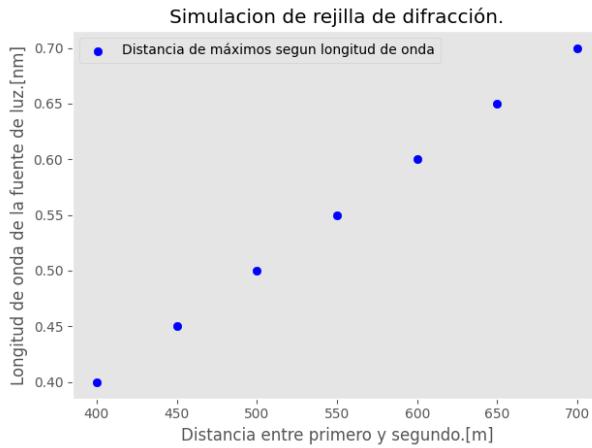


Figura 8: Separación de los órdenes de difracción.

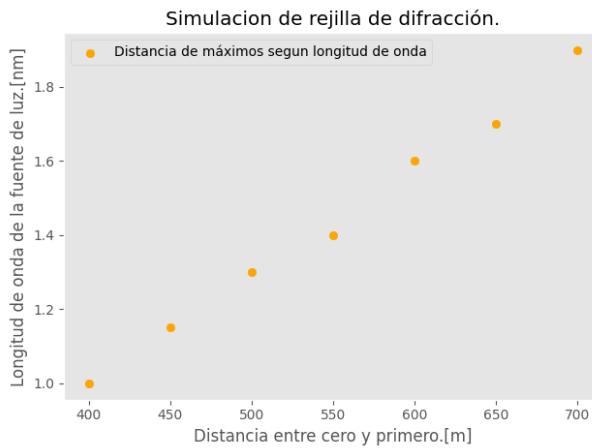


Figura 9: Separación de los órdenes de difracción.

la cual se determinó el grosor mínimo de la película para la cual se generen máximos de interferencia para las longitudes de onda de 400, 500, 600, 700 nm. Dichos valores se presentan en el cuadro 5. Evidencias de la simulación se presentan en las figuras 11, 12, 13 y 14

Cuadro 4: Valores mínimos de grosor tal que se produzcan máximos de interferencia en una película delgada de agua jabonosa rodeada de aire.

Longitud de onda (nm)	Grosor mínimo (nm)
400	69
500	88
600	102
700	131

A partir de los datos recolectados, se puede entonces generar una gráfica del grosor mínimo requerido para lograr máximos frente a la longitud de onda de la luz incidente, tal y como se muestra en la figura 15.

Así, se puede observar que conforme mayor es la longitud de onda, más grosor se requiere para generar un máximo de interferencia. En otras palabras, para una película delgada de grosor constante rodeada por aire, la luz de longitud de onda menor generará máximos en su patrón de interferencia antes que las de mayores longitudes de onda.

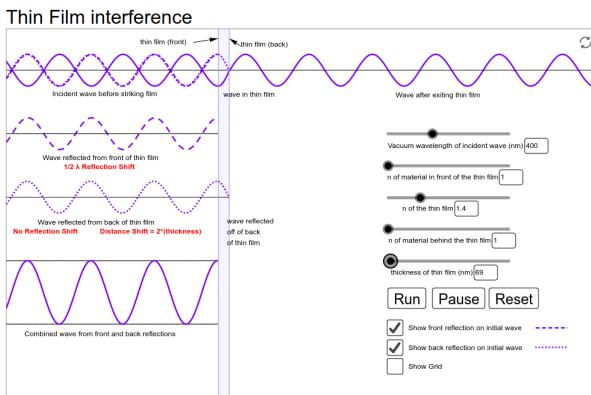


Figura 11: Simulación de película delgada para longitud de onda de 400nm.

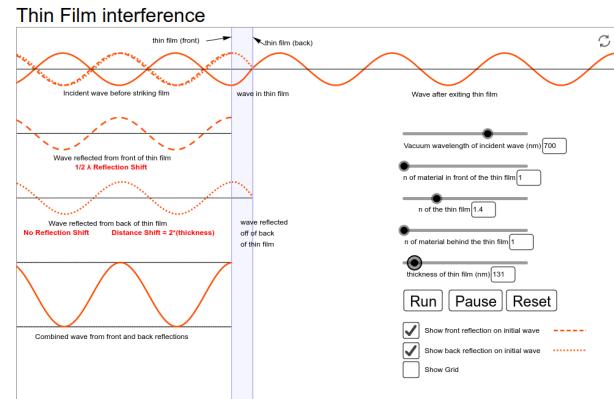


Figura 14: Simulación de película delgada para longitud de onda de 700nm.

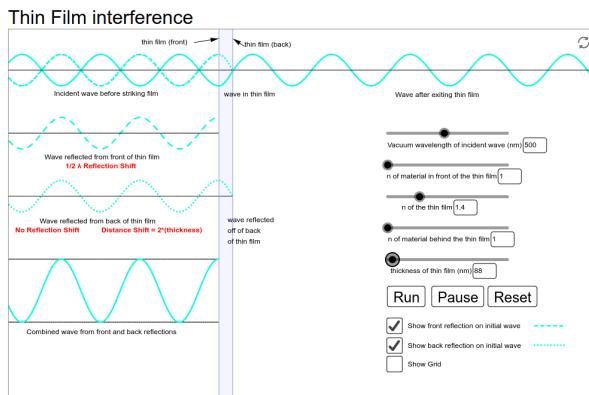


Figura 12: Simulación de película delgada para longitud de onda de 500nm.



Figura 13: Simulación de película delgada para longitud de onda de 600nm.

El espectroscopio

Realizando la simulación del espectroscopio, se tomaron dos gases distintos a los cuales se midió algunas de las longitudes de onda

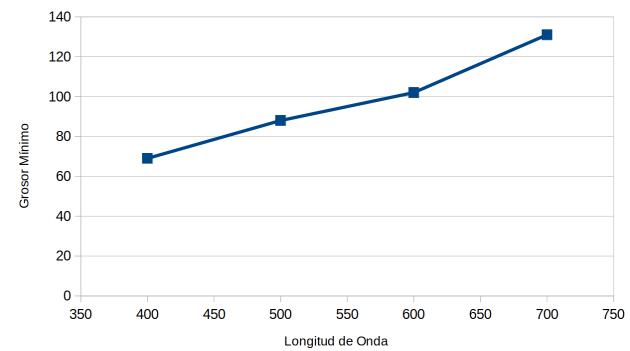


Figura 15: Grosor mínimo para generar máximos de interferencia según longitud de onda.

que emiten, tomando únicamente las que se encuentran entre 400nm y 700nm. Dichos gases fueron neón y nitrógeno; y los datos fueron registrados el cuadro 5.

En este caso, el análisis del espectroscopio se realiza entre las longitudes de onda de 380 y 780, ya que son estos mismos límites los que marcan el espectro visible por el ser humano. Así, al ser el espectroscopio un instrumento que utiliza la vista humana para definir las longitudes de onda, no es posible realizar dichas mediciones por fuera de dicho espectro con el dispositivo seleccionado.

Comparando los resultados de la aplicación de la simulación, en la figura 16, con los datos brindados por el modelo teórico segúrn el video, en la figura 17, se observa que los valores para ambos espectros de emisión son iguales.

Entre los distintos gases se presentan diferencias en los espectros de difracción. Ello

Cuadro 5: Principales longitudes de onda de emisión de los gases neón y nitrógeno.

Longitud de onda (nm) del neón	Longitud de onda (nm) del nitrógeno (nm)
423	400
438	404
443	424
454	445
471	460
483	464
504	480
514	496
534	501
556	568
575	575
585	593
597	648
607	661
616	
633	
640	
660	
693	

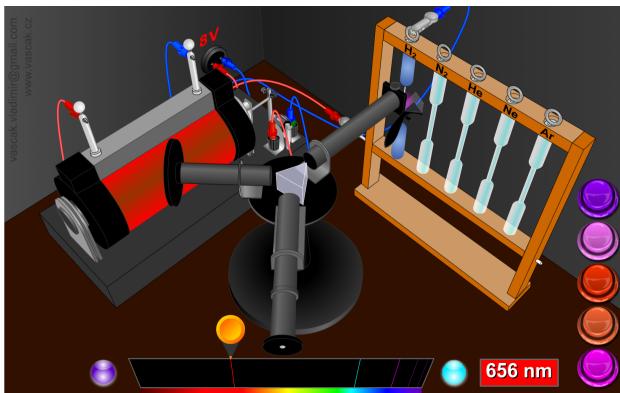


Figura 16: Espectro de emisión del Hidrógeno según simulación.

se debe a que cada gas emite longitudes de onda diferentes que dependen de los estados de energía que alcanzan los átomos del gas al excitarse y luego liberar dicha energía en forma de luz. De esta manera, es posible averiguar ante una incógnita de la composición de un material, qué elementos lo componen, excitando dicho material y midiendo el espectro de emisión en dispersión. Un ejemplo de ello es para determinar los elementos de lo que están compuestas las estrellas, ya que son gases sumamente calientes que emiten sus espectros correspondientes.

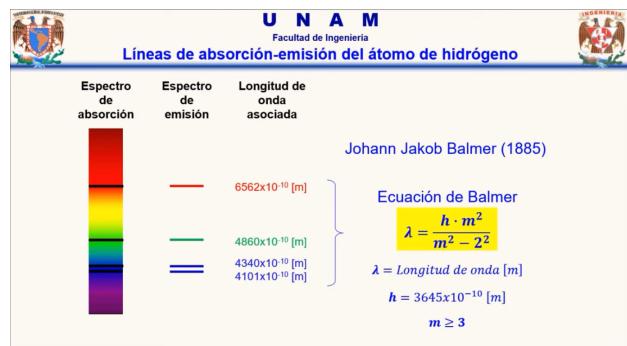


Figura 17: Espectro de emisión del Hidrógeno según video.

Difracción de Rayos X

La difracción de rayos X puede utilizarse como un método indirecto de la determinación de estructuras cristalinas. La ley física sobre la que se basa dicho método se conoce como la Ley de Bragg, presentada en la ecuación 1, la cual define que la longitud de onda de un rayo de luz es proporcional a la distancia interplanar por el seno del ángulo de incidencia. Ello permite definir que para una estructura cristalina, al refractarse rayos en su estructura, se pueda hallar un ángulo en el que se genere un máximo de difracción en los rayos refractados, y de tal manera determinar la distancia interplanar de la estructura cristalina.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (1)$$

Así, se debe elegir una longitud de onda suficientemente pequeña para que cumpla correctamente la Ley de Bragg; por ello, los rayos X resultan convenientes para el análisis respectivo de estructuras cristalinas.

De esta manera, la técnica de difracción por medio de rayos X funciona tomando una longitud de onda conocida y reflejando un rayo de dicha longitud de onda hacia un material cristalino definido, por medio de distintos ángulos de incidencia. Entonces, se busca generar interferencia constructiva de dichos rayos, haciendo girar la pieza, cambiando así los ángulos de incidencia del rayo. Finalmente, conociendo el ángulo de incidencia y el valor de la longitud de onda, se puede determinar la distancia interplanar que define la estructura cristalina estudiada. Este método se utiliza únicamente con

minerales, ya que poseen estructuras cristalinas que obedecen la Ley de Bragg [6]. Entonces, gracias a este método se puede determinar el ángulo de incidencia que causa un máximo en la difracción de rayos X, los cuales son lo suficientemente pequeños para encajar entre las estructuras cristalinas, y de tal manera obtener un identificador único para el mineral al cual se le aplica el método.

Características de las rejillas de difracción

Las rejillas de difracción que se querían utilizar eran rejillas de difracción comunes de 600 líneas/mm y 1000 líneas/mm así como un prisma de difracción con forma de pirámide rectangular. Para un ejemplo revisar la figura 18.



Figura 18: Ejemplo de una rejilla utilizada.

Por ejemplo al observar una ventana del laboratorio con una rejilla se ve como en la figura 19. La importancia de las rejillas recae en que al tener gran cantidad de filos o líneas con un orden de magnitud similar a la longitud de onda e interponerse a la luz se puede observar

el fenómeno de difracción donde se divide el haz de luz en sus respectivas longitudes de ondas que lo componen.



Figura 19: Una ventana del laboratorio vista a través de una rejilla de difracción.

Para las rejillas utilizadas solo se puede observar el primer orden de difracción de forma clara, usando una rejilla de 1000 líneas/mm y de forma muy tenue el segundo orden de difracción, ver figura 20. Esto se debe a que la habitación no estaba oscurecida y el láser además no es muy potente. Los ordenes de difracción se pueden observar de mejor manera conforme más líneas por milímetro tenga la rendija de difracción, además que estas distancias entre ordenes incrementan de forma proporcional que aumentan las líneas por milímetro.

Determinación de la longitud de onda de un láser

Para la determinación de la longitud de onda de un láser se utilizó una rejilla de difracción de 1000 líneas por milímetro y se colocó una pantalla a 10 cm de dicha rejilla, similar al que

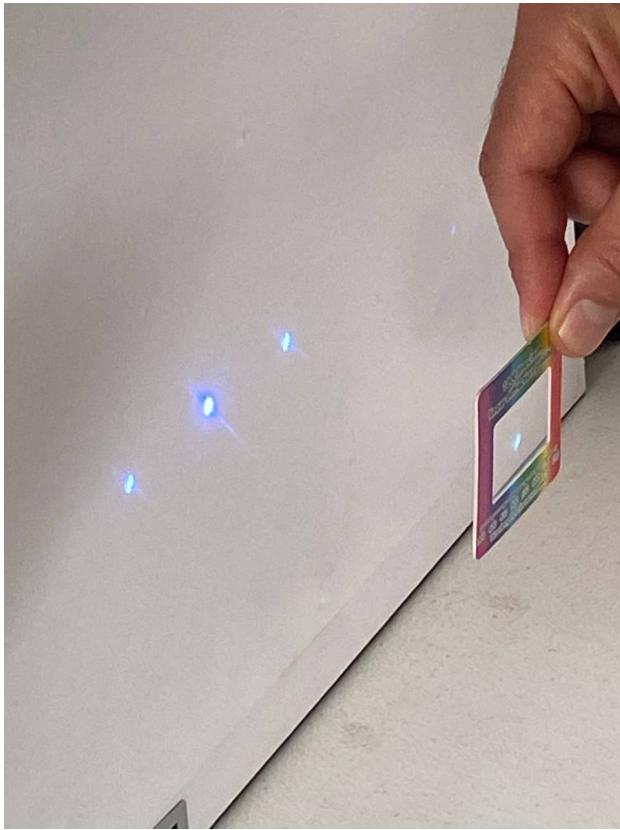


Figura 20: Ordenes de difracción para un láser azul con una rejilla de 1000 líneas/mm.

se muestra en la figura 20. Entonces, al apuntar con un láser rojo, se observó la difracción en la pantalla, cuya distancia entre puntos resultó ser de 8cm.

Así, es posible calcular la longitud de onda a partir de la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{a \sin \theta}{n}$$

donde $n = 1$,

$$a = 1/\text{densidad de líneas} = \frac{1}{1000} \text{ mm} = 0,001 \text{ mm}$$

y

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{d}{\sqrt{l^2 + d^2}} = \frac{8}{\sqrt{8^2 + 10^2}} \\ \Rightarrow \lambda &= 0,001 \text{ mm} \cdot \frac{10^6 \text{ nm}}{1 \text{ mm}} \cdot \frac{8}{\sqrt{8^2 + 10^2}} \end{aligned}$$

$$\lambda = 624 \text{ nm}$$

Así, considerando el valor teórico de la longitud de onda del láser rojo como 650 nm, se

tiene que el resultado da un porcentaje de error del 4 %.

Este método resulta sorprendentemente preciso, ya que a pesar de la toma de datos y el procedimiento poco cuidadosos, se logró determinar una medición sumamente cercana, con un porcentaje de error muy bajo. Para el caso de que se desee un dato mucho más preciso, se recomienda dejar fijos todos los elementos y contar con una herramienta de medición de mayor resolución para efectuar el experimento.

Espectros de difracción de diferentes fuentes de iluminación

Se seleccionaron tipos comunes de fuentes de luz para ver su espectro de emisión a través de la rejilla de difracción. Para esta parte no se pudo usar el espectrofotómetro pero se generaron las figuras 21 y 22.

Al observar los resultados de las fotografías se determinan los espectros de la luz, que al ser blanca emite en todas las longitudes de onda y en el bombillo incandescente de argón que emite longitudes de onda de colores amarillos, anaranjados y rojos. Este análisis se realizará más a fondo en la siguiente sección.

Espectros de difracción de diferentes lámparas de gas

Para la práctica solo se utilizó la lámpara del gas Neón. Utilizando el espectroscopio se observaron y midieron posiciones angulares de las líneas de emisión según distintas longitudes de onda. Se adjuntan los resultados en la tabla 6.

Cuadro 6: Posiciones angulares de las líneas de emisión según distintas longitudes de onda, para los máximos de difracción de orden uno.

Posición angular (°)	Longitud de onda medida (nm)
20,75	590,5
20,82	592,39
21,15	601,35

Se tomaron fotografías de los tubos emitiendo luz y de los espectros observados en las figuras 23 y 24.



Figura 21: Espectros de difracción de diferentes fuentes de iluminación, luz LED.

Así, se puede observar que los colores que componen mayoritariamente el espectro de difracción son rojo (619-780 nm), anaranjado (595-630 nm) y amarillo (574-582 nm). Teóricamente se define para el espectro de emisión del Neón que hay colores que encajan perfectamente con las observaciones del experimento, dados los datos de líneas de emisión del neón:

Así, se observa que excluyendo al verde, se cumplen los colores vistos para la emisión del neón. Además, al comparar los valores teóricos con los datos obtenidos experimentalmente, presentes en el cuadro 6, se observa que se acercan bastante a algunos de los valores teóricos. Con porcentajes de error de entre 0.3 % y 1.75 %, se lograron medir valores bastante exactos para las longitudes de onda del espectro de emisión.

Si se desea lograr aún un mejor resultado, se podría encerrar en un cuarto oscuro que permita la correcta visualización de las líneas espectrales, evitando la atenuación de las mismas por la luz de ambiente.

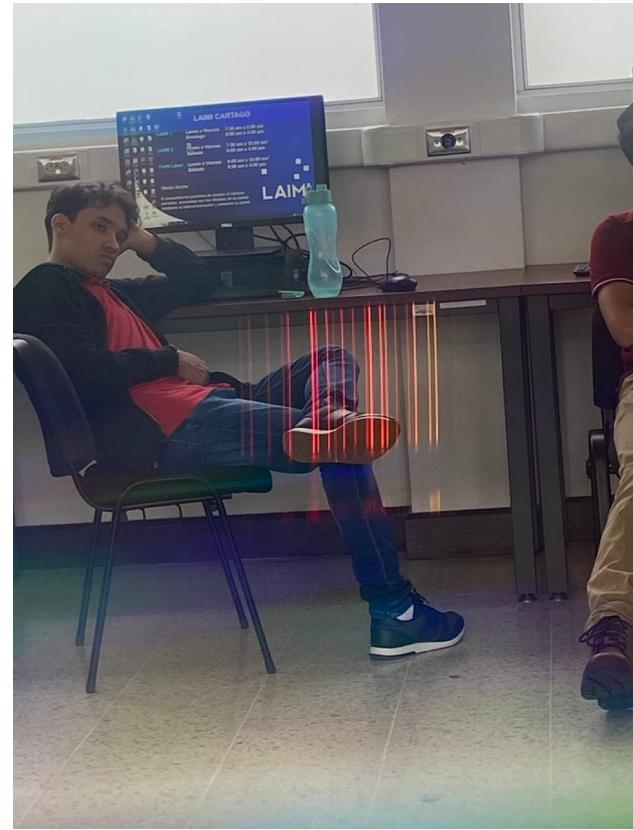


Figura 22: Espectros de difracción de diferentes fuentes de iluminación, bombillo incandescentes.

Cuadro 7: Longitudes de onda y colores correspondientes al espectro de emisión del Neón [7].

λ (nm)	Color
540,1	verde
585,2	amarilla
588,2	amarilla
603,0	naranja
607,4	naranja
616,4	naranja
621,7	roja-naranja
626,6	roja-naranja
633,4	roja
638,3	roja
640,2	roja
650,6	roja
659,9	roja
692,9	roja
703,2	roja

4. CONCLUSIONES

En conclusión, fue posible estudiar los fenómenos de interferencia, y dispersión de la luz, así como sus aplicaciones, su lugar en la vida cotidiana, y características, a través de la



Figura 23: Espectros de las lámparas de arco que contienen gas Argón. Máximos de orden 0.

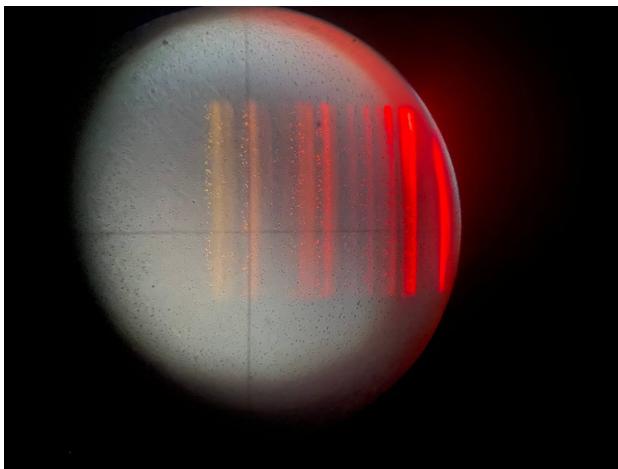


Figura 24: Espectros de las lámparas de arco que contienen gas Argón. Máximos de orden 1

simulación de dichos fenómenos por medios computacionales.

Además, se hallaron métodos en los que se puede aplicar el fenómeno de interferencia de la luz para determinar propiedades físicas de distintos sistemas.

Asimismo, a partir de los experimentos realizados para los temas de dispersión, interferencia, difracción de la luz y espectroscopia, se exploraron dichos fenómenos y posibles aplicaciones en distintas áreas de la ciencia y la tecnología. De esta manera, se reconocieron diferencias y similitudes entre la interferencia y difracción, así como la importancia de este último fenómeno en dispositivos como rendijas de difracción y sus aplicaciones a la espectroscopia.

REFERENCIAS

- [1] Universidad Computense de Madrid, "Interferencia en aceite." [Online]. Available: <https://webs.ucm.es/info/gioq/fenopt/imagenes/interferenciaaceite/index.htm>
- [2] Wikimedia, "Cd-rom." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:CD-ROM.png>
- [3] ICIQ, "Nuestros apuntes: Espectroscopia," 2022. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=975r9a7FMqc>
- [4] Equipos y Laboratorio de Colombia, "Qué es y usos del espectrofotómetro," 2022. [Online]. Available: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/quE-es-y-usos-del-espectrofotometro>
- [5] Xataka, "Qué es la difracción y cómo interfiere en la fotografía." [Online]. Available: <https://www.xatakafoto.com/trucos-y-consejos/que-es-la-difraccion-y-como-interfiere-en-la-fotografia>
- [6] Servicio Geológico Mexicano, "Difracción de rayos x," 22 de marzo de 2017. [Online]. Available: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Minerales/Difraccion-de-rayos-X.html>
- [7] M. Olmo, "Espectro atómico." [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/quantum/atspect2.html#c1>