

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Física

Segundo semestre de 2022

Profesor Ernesto Montero Zeledón

## Práctica # 7.2.

### Difracción e interferencia de la luz<sup>1</sup>

La Práctica #7 está dividida en dos partes. En la primera parte se estudia el fenómeno de la interferencia, la dispersión, la difracción y la espectroscopia, junto con algunas de las aplicaciones, para lo que se utilizan videos y simulaciones computacionales, mientras que en la segunda parte realizan experimentos de laboratorio del fenómeno de la difracción de la luz, así como algunas de las aplicaciones en la instrumentación espectroscópica y en el análisis de la estructura de la materia.

#### Objetivo 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.

#### Objetivos específicos:

1. Reconocer algunas características de la difracción y su relación con la interferencia.
2. Conocer la aplicación de las rejillas de difracción en el estudio de las propiedades de la luz.
3. Comprender la importancia de las rejillas de difracción en los equipos de espectroscopia.
4. Realizar experimentos sencillos utilizando rejillas de difracción.

#### Introducción

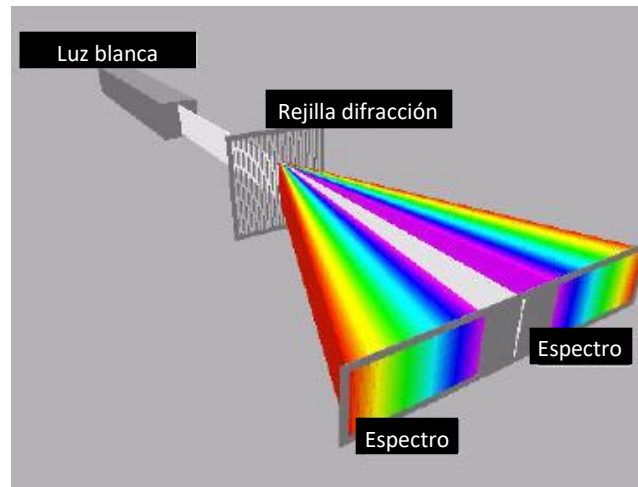
La difracción y la interferencia de la luz son dos fenómenos que responden a las mismas causas y por lo tanto, al mismo tipo de efectos. Sin embargo, aunque ambos fenómenos están muy relacionados, se pueden distinguir algunas características que los diferencian. La interferencia se suele asociar con el fenómeno que ocurre cuando dos o más ondas de distintas fuentes luminosas, normalmente de igual longitud de onda, interactúan en un mismo punto del espacio y que, por el principio de superposición, producen un patrón regular de franjas claras y oscuras. En cambio, la difracción se refiere la interacción de la luz con los bordes afilados (rectos o curvilíneos) de un material que se interponen en su trayecto y produce una sombra rodeada de pequeñas y poco intensas franjas claras y oscuras. Sin embargo, el término difracción también se aplica a la interacción de la luz con un finísimo arreglo periódico de obstáculos rectilíneos, colocados en su trayectoria y que también producen patrones de interferencia.

La difracción de la luz no se produce en cualquier obstáculo, tampoco se produce para todas las longitudes de onda con un mismo obstáculo, solo se presenta cuando el borde de un obstáculo no es irregular para la longitud de onda de la luz incidente, es decir, cuando para la escala de la longitud

---

<sup>1</sup> Guía elaborada por el profesor Ernesto Montero Zeledón.

de onda, el borde es liso y uniforme. Otra forma de establecer las condiciones para la difracción de la luz, es decir que ésta ocurre cuando las irregularidades de los bordes del material que se interpone su trayectoria, son mucho menores que la longitud de onda de la luz incidente. El científico italiano Francesco Maria Grimaldi acuñó el término difracción cuando observó este fenómeno por primera vez en 1660. La palabra elegida por Grimaldi para describir el fenómeno proviene del latín *diffraetio* que significa “acción o efecto de separar en diferentes partes” [1, 2].



**Figura 1.** Fenómeno de la difracción de la luz por una rejilla de difracción [3].

Los fenómenos de difracción e interferencia están estrechamente relacionados, de hecho, es difícil establecer diferencias claras y definitivas entre ambos, pues los dos fenómenos se producen por la superposición de ondas luminosas que a su vez generan un patrón regular de franjas que suele ser estable en el tiempo, en tanto no cambien las condiciones de iluminación ni las dimensiones del sistema. La costumbre ha propiciado el uso selectivo de los términos, dependiendo de la manifestación concreta, y es precisamente el hábito lo que parece brindar la mejor explicación de la diferencia entre ambos fenómenos. El físico estadounidense Richard Feynman menciona que el término “difracción” se utiliza con más frecuencia cuando el fenómeno se origina por la combinación de muchas fuentes luminosas, mientras que el término “interferencia” se utiliza principalmente cuando se consideran unas pocas fuentes [4].

A esta sutil diferencia propuesta por Feynman, se podría agregar que la palabra difracción es más utilizada en fenómenos que se producen con objetos o dispositivos con un orificio pequeño o un borde afilado (disco de Airy, difracción en la sombra de una navajilla), o con un patrón periódico muy fino (rejillas de difracción). Es decir, el término difracción se utiliza cuando la interferencia de la luz es debida a una o muchas fuentes. Por su parte, el término interferencia se utiliza especialmente en los fenómenos que involucran materiales sin una estructura periódica, pero sí en películas con grosores muy finos (anillos de Newton, películas delgadas) u obstáculos con pocas ranuras, (experimento de doble rendija). Por supuesto, se debe tener presente que estas características son simplificaciones y que no se aplican como una regla general inequívoca.

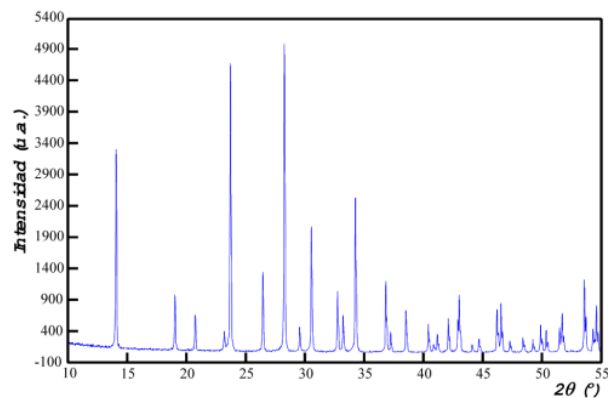
### Aplicaciones de la difracción

Aunque la difracción tiene utilidad en algunos ensayos de caracterización, como el análisis de la resolución máxima una cámara fotográfica, una de sus aplicaciones más importantes es en rejillas de difracción en los instrumentos espectroscópicos. Las rejillas de difracción tienen la propiedad de difractar (separar) la luz incidente, en diferentes ángulos para diferentes longitudes de onda. En otras palabras, cada haz de luz que incide sobre una rejilla de difracción se separa en un ángulo que depende de su longitud de onda. Esto permite utilizar tales dispositivos en el análisis de las señales luminosas que provienen de una fuente o que provienen de la interacción de la luz con un material.

Las rejillas de difracción se utilizan en la mayor parte de los dispositivos de espectroscopia óptica. La unidad dentro del espectrómetro (Raman, Infrarrojo, UV-Vis, de fluorescencia, etc.) que incorpora este dispositivo y permite asociar las señales del detector con las intensidades y las longitudes de onda específicas de la luz analizada, se denomina monocromador. Por lo tanto, los monocromadores son las unidades dentro de los espectrómetros que separan la luz en sus diferentes longitudes de onda y, junto con el detector, permiten el análisis de la intensidad de la luz para cada longitud de onda. En la instrumentación espectroscópica moderna, también se utilizan rejillas de difracción para analizar la radiación electromagnética sin la necesidad de monocromadores con partes móviles, por lo que los espectros se generan de “un solo vistazo” por el detector. Esto se hace dirigiendo directamente la señal difractada a los sensores CCD y, en la instrumentación más reciente, utilizando los detectores CMOS.



(a)



(b)

**Figura 2.** (a) Equipo de difracción de rayos X [5] y (b) ejemplo de difractograma [6].

Otra aplicación importante de la difracción es en el análisis de la estructura cristalina de materiales utilizando Rayos X. La separación típica de los planos de un material cristalino es del orden de fracciones de Angstroms ( $1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm}$ ), por lo que, para analizar la estructura de un material cristalino, el mismo se puede utilizar como rejilla de difracción. Por esta razón, se debe usar radiación cuya longitud de onda sea del mismo orden de magnitud, es decir, se deben utilizar rayos X, ya que sus longitudes de onda son de ese orden (Figura 2). La técnica que utiliza Rayos X en el análisis de materiales, se denomina Difracción de Rayos X (XRD, por sus siglas en inglés). Esta es una importante técnica de identificación y caracterización de materiales con estructura cristalina, desde metales y aleaciones, hasta cerámicos, semiconductores y cristales de material orgánico, como el que se encuentra en los fármacos y las drogas.

### Trabajo para la introducción del informe

En la introducción de su informe de la Práctica #7, sobre dispersión, interferencia, difracción y espectroscopia, debe revisar los siguientes temas. Recuerde que la introducción se debe escribir en prosa y en tercera persona del singular:

1. Mencione al menos tres características que pueden utilizarse para distinguir los fenómenos de difracción de los fenómenos de interferencia.
2. Comente la relación de la difracción de la luz con la resolución de una cámara fotográfica.
3. Indique dos aplicaciones de la difracción en el análisis de materiales.

### Equipo requerido

Para realizar esta práctica se requiere un teléfono inteligente o tableta para tomar fotografías y equipo para medición de distancias, como reglas y cintas métricas. Además, se requieren de distintas fuentes luminosas comunes como fluorescentes, lámparas incandescentes, luminarias LED y luces láser, para observar la difracción de la luz que producen.

**Cuadro 1.** Materiales y equipo requeridos para el desarrollo de la práctica.

Materiales y equipo	Propósito
Teléfono celular o tableta con sensor de luz	Tomar fotografías de los distintos fenómenos que se realizarán.
Rejillas de difracción de 100 líneas/mm	Rejillas para producir difracción de distintos tipos de luz.
Pantallas de proyección	Para proyectar la difracción producida por la rejilla.
Espectroscopio marca PASCO	Observar las líneas de emisión de las distintas lámparas de gas.
Fuente de luz láser, foco led, lámpara fluorescente y bombillo incandescente	Para observar las difracciones producidas por los distintos tipos de luminaria.
Lámparas de arco para tubos rellenos con distintos gases a baja presión	Lámparas de emisión de luz de gas marca PASCO.
Regla y cinta métrica	Para medir la distancia de separación de los máximos de interferencia de un láser proyectado en una pantalla.
Interferómetro de Michelson	Observar el fenómeno de interferencia desarrollado por Michelson y conocer algunas aplicaciones.

### Procedimiento

#### A. Características de las rejillas de difracción

1. Anote los dos tipos principales de rejillas de difracción que existen. Consultar a profesor para comprender cómo funciona cada tipo.
2. Reconozca las características más importantes de una rejilla de difracción.
3. Tome una fotografía de la rejilla y de cómo se ven las ventanas del laboratorio a través de la rejilla.

#### B. Determinación de la longitud de onda de un láser

1. Coloque la luz láser de modo que el haz pase por la rejilla de difracción de forma perpendicular.
2. Disponga la pantalla de proyección a una distancia definida de la rejilla, de modo que el haz principal incida perpendicularmente sobre esta y se pueda apreciar al menos el primer modo de la difracción.

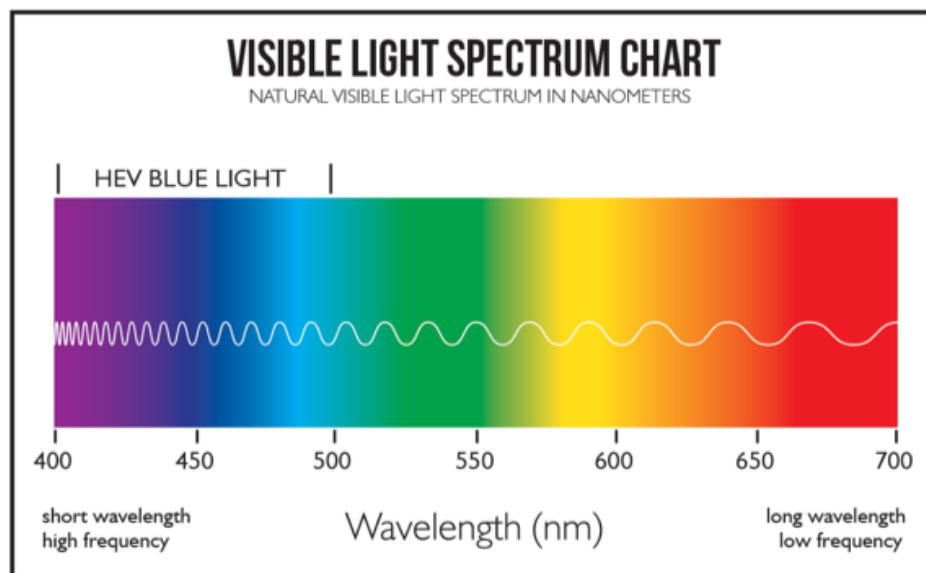
3. De la manera más precisa que pueda, mida la distancia de la rejilla de difracción a la pantalla ( $s$ ), procurando que sea al menos de 0,5 m.
4. Mida sobre la pantalla de proyección, la distancia entre el orden cero (haz principal) y el haz del primer orden de la difracción ( $d$ ).
5. Tome fotografías del montaje experimental y del efecto de la rejilla de difracción sobre el láser.

*C. Espectros de difracción de diferentes fuentes de iluminación*

1. Seleccione algunos tipos comunes de fuentes de luz (luminarias LED, bombillos incandescentes, lámparas fluorescentes) y utilícelos para ver su espectro de emisión a través de la rejilla de difracción. Pida ayuda a su profesor para colocar la rejilla de la mejor manera posible.
2. Una vez encontrada la mejor manera de observar la difracción de la luz producida por la fuente, tome fotografías que registren sus observaciones.

*D. Espectros de difracción de diferentes lámparas de gas*

1. Utilice la rejilla de difracción para observar los espectros de las lámparas de arco que contienen diferentes tipos de gas.
2. Utilice el espectroscopio para observar y medir las posiciones angulares de las líneas de emisión. Generar una pequeña tabla donde recopile los datos para la lámpara de gas seleccionada.
3. Tome fotografías de los tubos emitiendo luz y de los espectros que se observan a través de las rejillas de difracción y del espectroscopio. Tenga cuidado de anotar cuál tipo de lámpara es la que está fotografiando y cuál es su espectro de emisión.



**Figura 3.** Longitudes de onda aproximadas de los colores de la región visible [7].

### Análisis de resultados

Recuerde que esta es solo una guía para el análisis de resultados. Usted debe redactar dicho análisis en prosa, de modo que la redacción sea continua. No debe responder las preguntas que se formulan como si fuera un cuestionario.

#### A. *Análisis de las características de las rejillas de difracción*

1. Indique las características de las rejillas de difracción utilizadas en esta práctica y comentar brevemente cómo funcionan.
2. Mencione si para las rejillas de difracción utilizadas es posible ver varios órdenes de la difracción y si no se logra, indicar por qué no es posible ver más ordenes que el primero.

#### B. *Análisis de la determinación de la longitud de onda de un láser*

1. Determine el seno del ángulo de difracción e introduzca el valor en la siguiente ecuación, que permite establecer la longitud de onda del láser.

$$\lambda = \frac{a \operatorname{sen} \theta}{n}$$

donde  $a$  es el inverso del número de franjas por unidad de longitud de la rejilla de difracción,  $\operatorname{sen} \theta$  es el seno del ángulo de difracción y  $n$  es el orden de la difracción.

2. Calcule el porcentaje de error que existe entre la longitud de onda calculada y el valor indicado en la etiqueta del láser.
3. Comente que tan apropiado le parece este método de determinación y qué cuidados recomienda para mejorar los resultados experimentales.

#### C. *Análisis de espectros de difracción de diferentes fuentes de iluminación*

1. Comente los resultados observados a través de las fotografías.
2. Indique si se aprecian diferencias entre las difracciones producidas por las diferentes fuentes, relacionadas únicamente con la fuente (colores de las emisiones, intensidades relativas, continuidad de los colores, etc.)

#### D. *Análisis de espectros de difracción de diferentes lámparas de gas*

1. A partir de las fotografías, indique cuáles son los colores que se observan y cuáles son las longitudes de onda aproximadas de las líneas de emisión observadas.
2. Busque en internet confiable, las longitudes de onda de emisión del gas estudiado y compare con los valores aproximados que usted observó en las fotografías. Puede utilizar como referencia, para asignar una longitud de onda a cada color, la imagen que se muestra en la Figura 3.
3. Determinar al menos cinco longitudes de onda de las líneas de emisión de una de las lámparas de gas, medidas con el espectroscopio.
4. Compare los valores de las longitudes de onda de emisión de la lámpara analizada con las que se mencionan en la literatura.
5. Comente la precisión de sus resultados cualitativos e indique cómo se podría hacer para mejorar estos.
6. Busque en internet confiable, las longitudes de onda de emisión del gas estudiado y compare con los valores aproximados que usted observó en las fotografías. Comente la

precisión de sus resultados cualitativos e indique cómo se podría hacer para mejorar los resultados.

### Bibliografía

- [1] Escuela de Matemáticas y Estadística, Universidad de St Andrews, Escocia. *MacTutor*. “Francesco Maria Grimaldi”, Julio 2012. Recuperado el 30 de octubre de 2021 de: <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Grimaldi/>
- [2] Difracción-Diffraction. Recuperado el 30 de octubre de 2021 de: [https://es.hrvwiki.net/wiki/diffraction#cite\\_note-2](https://es.hrvwiki.net/wiki/diffraction#cite_note-2)
- [3] Marín, L. Curso de Ciencias en la Educación Primaria. Universidad de Costa Rica. Recuperado el 31 de octubre 2021 de: <https://sites.google.com/site/cienciasenlaeducacionprimaria1/ciencias-i/clase-6-descomposicion-de-lal-uz>
- [4] Enciclopedia Wikipedia: Difracción. Recuperado el 31 de octubre de 2021 en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Difracci%C3%B3n\\_\(f%C3%ADsica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Difracci%C3%B3n_(f%C3%ADsica))
- [5] Direct Industry. Liaodong Radioactive Instrument. “Difractómetro de rayos XJF-5” Recuperado el 30 de octubre de 2021 de: <https://www.directindustry.es/prod/liaodong-radioactive-instrument/product-195082-1959066.html>
- [6] Arriortua, M.I.; Pizarro, J.L.; Urtiaga, M.K. Dpto. de Mineralogía y Petrología de la UPV/EHU. “Identificación de Materiales Cristalinos Práctica Guiada”. Recuperado el 30 de octubre de 2021 de: <http://www.ehu.eus/imacris/PIE04/web/directorio.htm>
- [7] Koontz, A. Caltech Letters. “The Vibrance of Natural Color” Abril 2019. Recuperado el 31 de octubre de 2021 en: <https://caltechletters.org/science/color-in-nature>