

Visualización de estructuras internas de objetos difractivos a través de la difracción de la luz y la computación

Alan Stiven Camacho Restrepo

Instituto de Física, Universidad de Antioquia U de A, calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia

alans.camacho@udea.edu.co

Agosto 2021

Abstract

Este trabajo consistió en hallar un sistema apropiado, en el cual se pudiera determinar ópticamente la estructura de un elemento difractivo, por medio de la experimentación, con el propósito de analizar y comparar los resultados hallados en lecturas y los resultados obtenidos experimentalmente. Para el montaje del sistema, se utilizó un CD como elemento difractivo y la luz de un láser que incidiera sobre el elemento. A través de las imágenes tomadas y la programación en Python, se analizó el patrón de difracción, pudiendo finalmente obtener dos medidas de la periodicidad del elemento difractivo que resultaron similares con los de la lectura, y el ángulo entre dos objetos difractivos superpuestos en un ángulo desconocido. Pudiendo concluir entonces, la eficacia del montaje en la toma de datos del objeto difractivo y el algoritmo de programación para determinar su estructura.

1 Introducción

La propagación de la luz en varios medios ha podido crear grandes paisajes que concurridamente son captadas por los humanos, su descomposición en varios colores es uno de los efectos más sobresalientes en la naturaleza. Es por eso, que el estudio de la luz es una rama fundamental en la ciencia para el hallazgo de formas de explicar cómo puede suceder tales hechos como el arco iris, los atardeceres, el azulado del cielo o los reflejos en el agua.

La difracción es uno de esos fenómenos ópticos que ocurre cuando una onda se encuentra con un obstáculo o una rendija [1] y se generan patrones de luz que se les llaman patrones de difracción, patrones debido a la superposición de varias ondas que son propagadas en los bordes u orificios de los obstáculos u objetos de difracción según el principio de Huygens, que dice que cada punto del borde se transforma en un foco emisor cuando la luz interfiere con el objeto, es decir, generan ondas nuevas que luego se superponen y dan lugar a los patrones de difracción. Estas ondas pueden superponerse de manera que se cancelen entre sí, dando resultado un lugar oscuro en el patrón o también, las ondas se pueden sumar dando lugar a un espacio luminoso y claro, esto causa que los patrones estén compuestos de franjas oscuras y brillantes.

Este fenómeno ayuda a medir pequeñas distancias entre orificios o tamaños de objetos pequeños, por ejemplo en el caso de medir el diámetro de un cabello humano, haciendo interferir un haz de luz sobre este y observar el patrón que forma con el cabello. Haciendo un

análisis con el uso de herramientas matemáticas (como las transformadas de Fourier [2]) y la programación para la visualización de algunas características del objeto de difracción con el patrón generado.

Por tanto, el objetivo del experimento es realizar un análisis de un patrón de difracción generada por una rendija, hallar su periodicidad de manera computacional a través de la imagen del patrón, y también hallar el ángulo entre dos rendijas superpuestas en direcciones desconocidas. También, hallar una imagen aproximada que de idea de como es la estructura del objeto de difracción, haciendo uso de la teoría óptica y la programación para la construcción de modelos de análisis eficientes en este campo.

2 Materiales y métodos

Para la realización del experimento, se usaron materiales cotidianos que se pueden encontrar fácilmente en casa y que cualquier persona puede intentar realizar y observar los patrones de difracción. Como obstáculo y rendija se usó un CD que cuenta con surcos no visibles en su superficie que funcionan como rejillas, al que se le quitó la capa de su superficie hasta que quedara transparente. Como haz de luz se usó un láser rojo, y el patrón se proyectaba sobre una pared donde se le pegó una hoja milimetrada para facilidad en la toma de medidas. Se hizo uso de libros como soporte del CD y el láser, y cinta para fijar medidas y mantener el láser prendido. Para la adquisición de imágenes se hizo uso de la cámara celular.

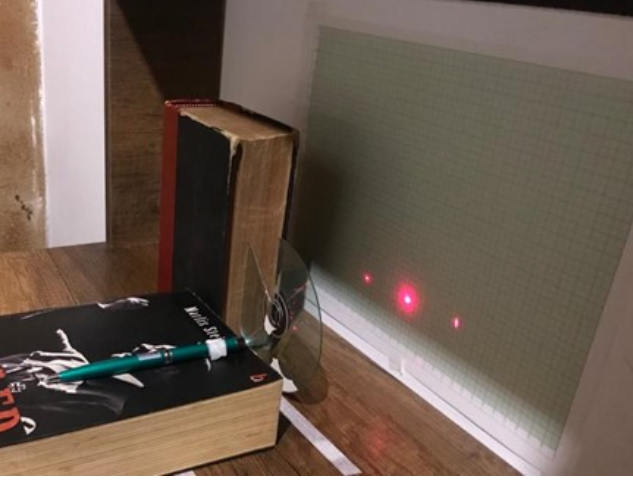


Figure 1: Montaje del experimento

Para hallar la periodicidad del CD, se puso el CD a una distancia de $(100 \pm 1)mm$ de la pared con la hoja milimetrada, y luego se incidió el haz del láser rojo sobre el CD para que se proyectara sobre la pared, después se tomaron las fotos del patrón con el celular, una con luz para observar las distancias entre los ordenes de difracción [1] y otra imagen en total oscuridad, que solo se apreciara la luz del láser, para hacer uso del algoritmo en python y obtener una aproximación de la estructura interna del CD. Luego, se realizó el mismo procedimiento para la toma de imágenes para dos pedazos de CD unidos en un ángulo desconocido.

A través del algoritmo en Python se realiza la transformada inversa de Fourier a las imágenes con fondo oscuro (donde solo se aprecien los ordenes de difracción) para conseguir una imagen aproximada de la estructura interna del CD y de los dos pedazos de CD. Con la imagen obtenida de Python se mide la distancia entre los surcos que aparecen en la gráfica y pasándolas a unidades de distancia real (micrómetros o milímetros) con la calibración de unidades del sistema, se consigue una primera medida para la periodicidad del CD (es decir, usando la transformada inversa de Fourier con Python).

La segunda forma, se hace con el uso de la ecuación [3]:

$$f = \frac{y}{\lambda z} \quad (1)$$

Donde, f es la frecuencia de los surcos del CD, y es la distancia entre el orden central de difracción y el primer orden de difracción, λ es la longitud de onda de la luz que se incide y z es la distancia entre el objeto difractivo y la proyección de los ordenes de difracción.

Y la expresión:

$$a = \frac{1}{f} \quad (2)$$

Donde a es la periodicidad del CD.

Así, con las dos medidas encontradas hacer una comparación con las medidas dadas en la lectura.

Para hallar el ángulo entre los dos pedazos de CD, se hizo uso de la fotografía tomada a la proyección de los ordenes del láser para este montaje, donde se tomó la transformada inversa de fourier a través de Python para luego hacer uso de un compás virtual para conseguir el ángulo.

3 Resultados y Análisis

Para las medidas de las periodicidades del CD, usando la transformada de fourier inversa a través de Python (método 1) y usando las ecuaciones (1) y (2) (método 2), se obtuvieron las siguientes medidas:

Método	Periodicidad $[\mu m]$
1	$1,87 \pm 0,31$
2	$1,35 \pm 0,20$

Table 1: Medidas experimentales de la periodicidad del CD. Usando los métodos 1 y 2 descritos.

Comparando las medidas obtenidas en la Table 1 con las dadas en la lectura [4,5], donde su medida es de $\sim 1,6\mu m$. Se obtiene para el método 1 un error experimental porcentual de $\sim 16,9\%$ y para el método 2 $\sim 15,6\%$, donde se puede inferir unas medidas obtenidas cercanas a las dadas en la lectura en el orden de las micras, donde se obtuvo una medida más cercana para el método 2 (usando las ecuaciones (1) y (2)).

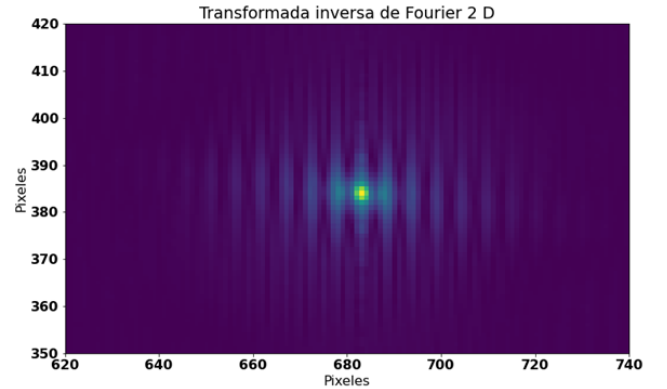


Figure 2: Transformada inversa de Fourier de la proyección de ordenes debido a la incidencia de luz en el CD. Estructura interna del CD.

Se obtuvo computacionalmente una vista de la estructura interna del CD usando la transformada inversa de Fourier. Figure 2. Se observa de la figura la periodicidad que tiene el CD. Las líneas repetitivas representan a los surcos que existen en su estructura interna.

Ahora, se consiguió una medida de ángulo para los dos pedazos de CD usando un transportador digital con la imagen de la transformada inversa de fourier de la

proyección de los ordenes de difracción para el montaje. Ver Figure 3. Donde se obtuvo un ángulo de: $\theta = (83 \pm 1)^\circ$ para la configuración de la Figure 3. (imagen izquierda).

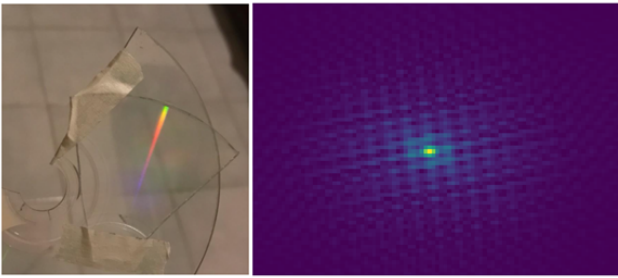


Figure 3: Dos pedazos de CD's en un ángulo desconocido. Transformada inversa de Fourier de la proyección de ordenes debido a la incidencia de luz en el montaje de dos pedazos de CD (Estructura interna).

[4] iasa. (s.f.). Obtenido de iasa: <https://www.iasa-web.org/tc04-es/814-descripci%C3%B3n-de-los-cds-y-dvds-grabables>

[5] monografias. (s.f.). Obtenido de monografias: <https://www.monografias.com/docs/El-Cd-Y-Dvd-Como-Red-De-PKMXCQZMYgoogle.vignette>

4 Conclusiones

- Se obtuvo un montaje adecuado que permitía observar de manera computacional la estructura interna de un objeto periódico como el CD.
- Se consiguió un algoritmo computacional que graficaba transformadas inversas de fourier de la proyección de los ordenes de difracción.
- Se obtuvieron dos medidas de la periodicidad de un CD usando 2 métodos distintos, donde se obtuvo un promedio de error experimental porcentual de $\sim 16,3\%$ llegando a un resultado no muy exacto.
- Se obtuvo una imagen de la estructura interna del CD a través de Python y la transformada inversa de fourier, también para la estructura interna de los dos pedazos de CD's unidos.
- Se consiguió medir el ángulo que había entre los dos pedazos de CD's a través de la transformada inversa de fourier y del transportador digital.
- Para mejorar el experimento, se sugiere minimizar las dificultades presentadas en el proyecto, usando una unidad de medida más precisa (con menor error) para medir la distancia entre los ordenes de difracción proyectados en la hoja milimetrada y también el uso más preciso de la cámara celular, manteniéndola en el mismo lugar para la toma de fotos y mantenerlo lo más paralelo posible.

References

- [1] López, H. A. (2007). Física de las ondas. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- [2] Wikipedia. (s.f.). Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Transformada_de_Fourier
- [3] Goodman, J. W. (2005). Introduction to Fourier Optics. Stanford.