Práctica 2: Interferencia y difracción (Experimento de Young)

Tomás Basile, Jessica Gallegos, Rebeca Rangel

25 de julio de 2021

Resumen

En general, el fenómeno de difracción se refiere a cuando la luz se propaga de tal forma que se desvía con respecto a lo que predice la óptica geométrica.[1] La difracción usualmente sucede cuando alguna porción del frente de onda de la luz es obstruida por un obstáculo y es uno de los fenómenos más importantes en el estudio de la óptica.[2]
El estudio de difracción se puede aproximar para cortas distancias (aproximación de Fresnel) o para distancias largas (aproximación de Fraunhofer). En el presente reporte se utiliza la Transformada Rápida de Fourier para simular computacionalmente la difracción de una franja y luego lo hacemos realmente con un experimento controlado de manera remota.

El objetivo de la práctica es encontrar el patrón de interferencia generado por un láser que pasa por una rendija de cierto grosor. Luego, se calcula la distancia entre los mínimos de la intensidad hallada y se usa esta información para deducir el grosor de la rendija y compararlo con el valor verdadero.

1. Introducción y Teoría

La propagación de ondas es un problema fundamental en la óptica. Uno de los conceptos más importantes para explicar este fenómenos es el **principio de Huygens**, el cual nos dice que conforme se propaga una onda, cada punto en el frente de onda se puede ver como una fuente puntual y el siguiente frente de onda se construirá a partir de la envolvente de las ondas producidas puntutalmente, lo cual es causado debido a la interferencia entre éstas.[3]
Cuando una onda pasa por un obstáculo, podemos aplicar el principio de Huygens para determinar el **patrón de intensidad** generado por la interferencia de la luz.[1]

La difracción se puede calcular en la aproximación de campo cercano (difracción de Fresnel) o en la aproximación de campo lejano (difracción de Fraunhofer).
En este trabajo usaremos sólo la aproximación de campo lejano, según la cual, si la onda tiene una amplitud compleja $U_0(x,y)$, entonces la amplitud compleja $U(x,y)$ cuando la onda se propagó una distancia z es de:[4]

- **Aproximación de Fraunhofer:** $U(x,y) = \dfrac{e^{ikz}e^{i\frac{k}{2z}(x^2+y^2)}}{i\lambda z}\mathcal{F}\{U_0(\xi,\eta)\}\big|_{f_x=x/\lambda z, f_y=y/\lambda z}$

Donde $\mathcal{F}$ simboliza la transformada de Fourier.[4]

Difracción de rendija rectangular

Consideremos una onda plana con amplitud $U(x,y)=1$ que pasa por un obstáculo que consiste en una rendija rectangular de grosor a y altura b. Entonces, cuando la onda pasa por la rendija, solamente la parte de la amplitud dentro de la rendija permanece, por lo que la amplitud pasa a ser $U_0 = \mathrm{Rect}(x/a)\mathrm{Rect}(y/b)$.

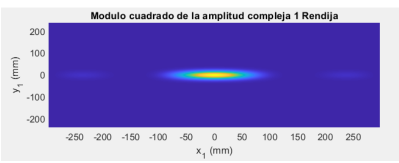

Figura 1: Patrón de intensidad tras pasar por una rendija

Luego, podemos calcular el patrón de instensidad tras propagarse una distancia z y usando que la transformada de Fourier de Rect es proporcional a $\mathrm{sinc(x)} = \dfrac{\sin(x)}{x}$, tenemos que la intensidad final es:[4]

$$I(x,y) = |U(x,y)|^2 \propto \mathrm{sinc}^2\left(\frac{af_x}{2}\right)\mathrm{sinc}^2\left(\frac{bf_y}{2}\right)\big|_{f_x=x/\lambda z, f_y=y/\lambda z}$$

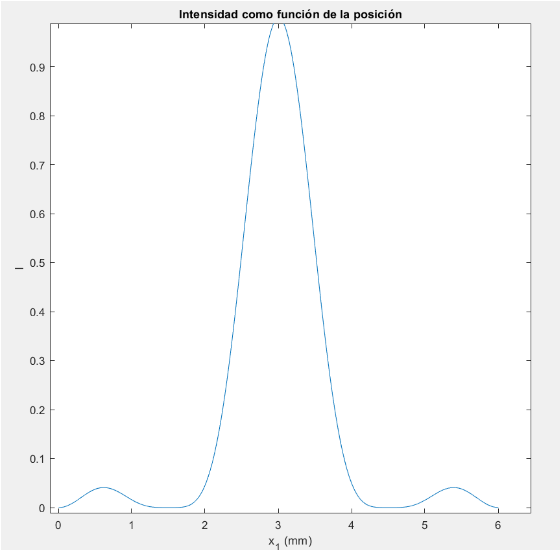

Figura 2: Intensidad como función de x del patrón de una rendija

Podemos calcular esta intensidad usando simulaciones en Matlab que ocupan la transformada rápida de Fourier para calcular la propagación de la onda. Con esto, la figura (1) representa el patrón de instensidad de la luz final como función de (x, y). Y en la figura (2) vemos un corte horizontal de esta intensidad, para representarla como función de x.

Como se mencionó antes, esta imagen se consiguió usando la transformada rápida de Fourier en Matlab y se hizo simulando una rendija de grosor de $20\mu m$. Se puede ver que el patrón tiene un máximo grande en el centro y luego máximos secundarios. Usando el resultado de intensidad que obtuvimos, si definimos W_x como la apertura de la rendija, Δx como la distancia entre los mínimos en la franja central del patrón, z como la distancia que se propagó la onda y λ la longitud de onda, tenemos que:[4]

$$W_x = \frac{2\lambda z}{\Delta x} \qquad (1)$$

2. Experimento

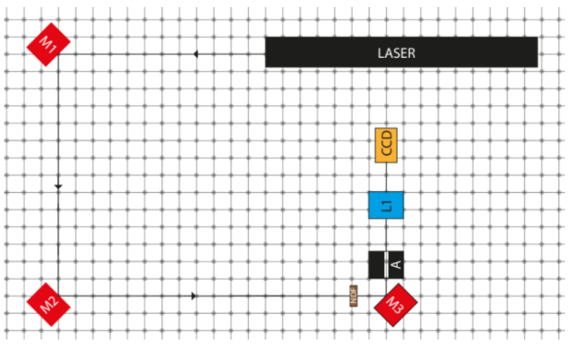

Figura 3: Montaje del Experimento

Como se muestra en la figura (3), para el experimento remoto se colocó un láser de longitud de onda $\lambda = 632{,}8nm$ que rebota en tres espejos (se dispone así porque no había lugar suficiente para poner todo el montaje en línea recta). Además, se atenúa el láser y se hace pasar por una lente antes de pasar por una rendija de apertura $20\mu m$ para que finalmente llegue a la cámara CCD de resolución 1280×1024 pixeles a una distancia de $z = 5{,}08cm$ de la rendija.

Posteriormente se siguen los siguientes pasos:

- Obtener una imagen no saturada y una saturada del patrón de intensidad en la cámara.
- Usar Matlab para visualizar esta intensidad y calcular la distancia Δx entre los dos mínimos centrales.
- Usar Δx para calcular el grosor de la rendija W_x

Resultados
Primero graficamos la intensidad obtenida para el caso saturado y no saturado como función de la posición del pixel en la cámara (del pixel 1 al 1280).

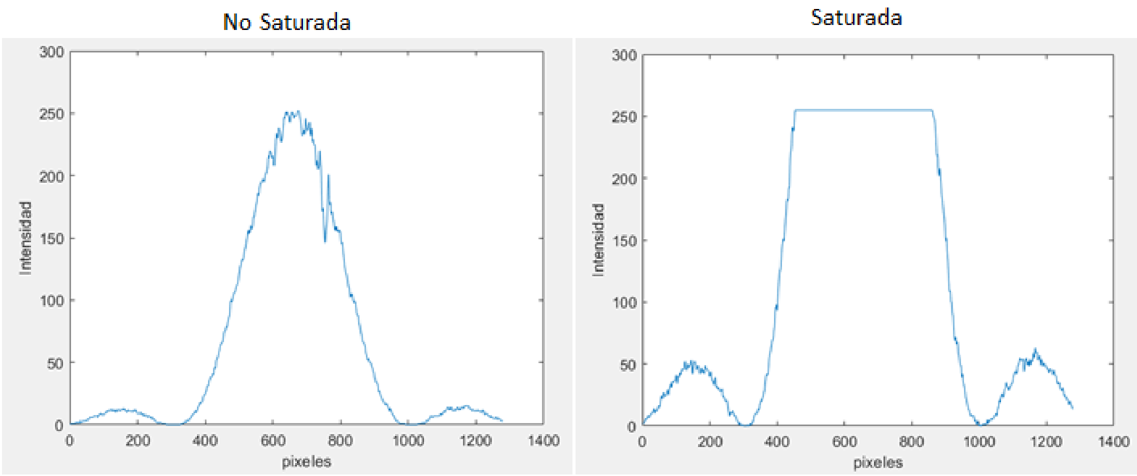

Figura 4: Patrones de intensidad para el caso saturado y no saturado

Con esta información y usando Matlab, podemos calcular la distancia entre los mínimos de ambos patrones. Obtenemos que la distancia, medida en pixeles, para el caso no saturado es de $\Delta x_{NS} = 698$ pixeles y para el saturado es de $\Delta x_S = 703$ pixeles.
Podemos usar que los 1280 pixeles de la cámara corresponden a 5,95mm para conventir estas distancias de pixeles a mm:

$$\Delta x_{NS} = 3{,}245mm \quad , \quad \Delta x_S = 3{,}268mm$$

Finalmente, usamos la relación entre Δx mencionada en (1) para llegar a que el espesor obtenido para la rendija en cada caso es de:

$$W_{NS} = \frac{2\lambda z}{\Delta x_{NS}} = \frac{2(632{,}8 \times 10^{-9}m)(5{,}08 \times 10^{-2}m)}{3{,}245 \times 10^{-3}m} = 1{,}981 \times 10^{-5}m = 19{,}81\mu m$$
$$W_S = \frac{2\lambda z}{\Delta x_S} = \frac{2(632{,}8 \times 10^{-9}m)(5{,}08 \times 10^{-2}m)}{3{,}268 \times 10^{-3}m} = 1{,}981 \times 10^{-5}m = 19{,}67\mu m$$

3. Conclusiones

La transformada rápida de Fourier es una herramienta muy útil para simular de manera teórica la difracción en la propagación de la luz. Se cumplió con el objetivo de la práctica ya que se logró encontrar el patrón de intensidad de la luz difractada por una rendija usando el montaje mostrado en la sección de Experimento.
Se puede notar que los resultados obtenidos en el experimento en la figura (4) concuerdan muy bien con los resultados teóricos de la figura (2) que se obtuvieron teóricamente utilizando Matlab.

Además, tanto en el caso no saturado como en el saturado, se calculó el ancho de la rendija estudiando solamente el patrón de intensidad generado. Se llegó a los resultados de 19,81μm y 19,67μm respectivamente, que difieren en un 0,95 % y 1,65 % del valor verdadero de 20μm.
Lo cual muestra que usar la difracción puede ser un método sencillo y exacto para medir las dimensiones de objetos muy delgados como es el caso de la rendija.

4. Referencia

[1] Fowles R. Grant , Introduction to Modern Physics, Second Edition, Dover Publications, USA, 1975.

[2] Hecht Eugene, Optics, Fifth Edition, Pearson, USA,2017.

[3] Goldstein Dennis H., Polarized Light, Third Edition, CRC Press, USA, 2011.

[4] Ramírez, H. C. (2017). *LabVIEW I: una breve introducción.* Recuperado 23 de Julio de 2021 de http://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/5268/interferencia y difraccion I.pdf