



GRADO EN FÍSICA

LABORATORIO DE FÍSICA III

CURSO 2015-2016 1^{er} CUATRIMESTRE

LABORATORIO DE ÓPTICA

PRÁCTICA: Difracción de Fraunhofer por varios objetos

PRECAUCIÓN: En esta práctica se emplea una fuente de luz láser. **No se debe mirar directamente a la fuente de luz o a cualquier reflejo de la misma [1].**

1. Objetivos:

Comprensión del fenómeno de difracción en campo lejano (régimen de Fraunhofer) mediante el análisis de los patrones de difracción producidos por diferentes aberturas.

- Determinación de la anchura de una rendija.
- Determinación del radio de un orificio circular.
- Observación del fenómeno de difracción a través de diferentes aberturas y explicación cualitativa del mismo.

2. Fundamentos físicos:

Cuando un haz de luz monocromático y colimado atraviesa una abertura, parte de la luz deja de propagarse en la dirección original. Este fenómeno se llama difracción, [2] (pág. 32) y [3] (pág. 231). La difracción genera una distribución de franjas claras y oscuras que depende de la forma y dimensiones de la abertura. A partir de la figura de difracción se puede extraer información dimensional de la abertura.

La difracción se puede clasificar en dos regímenes, dependiendo de la distancia a la abertura donde se está observando: régimen de Fresnel (campo cercano) y régimen de Fraunhofer (campo lejano). Se elige el régimen de Fraunhofer porque es más fácil relacionar las dimensiones de la abertura con el patrón de difracción. En general es difícil alcanzar la condición de campo lejano en el interior de un laboratorio, por lo que es conveniente utilizar una lente convergente detrás de la abertura. El campo obtenido en el plano focal imagen se corresponde con la difracción de Fraunhofer. Esto es debido a que la aproximación a campo lejano es equivalente a realizar una transformada de Fourier bidimensional de la abertura, que es precisamente la "operación" que realiza una lente cuando se observa en su plano focal. En este plano se obtienen las frecuencias espaciales de la abertura, [2], (pág. 73) y [3] (pág. 245), cuya localización permite determinar la forma y dimensión de la abertura. En la Fig. 1 se muestra esquemáticamente el arreglo experimental para observar la Difracción de Fraunhofer en el laboratorio.

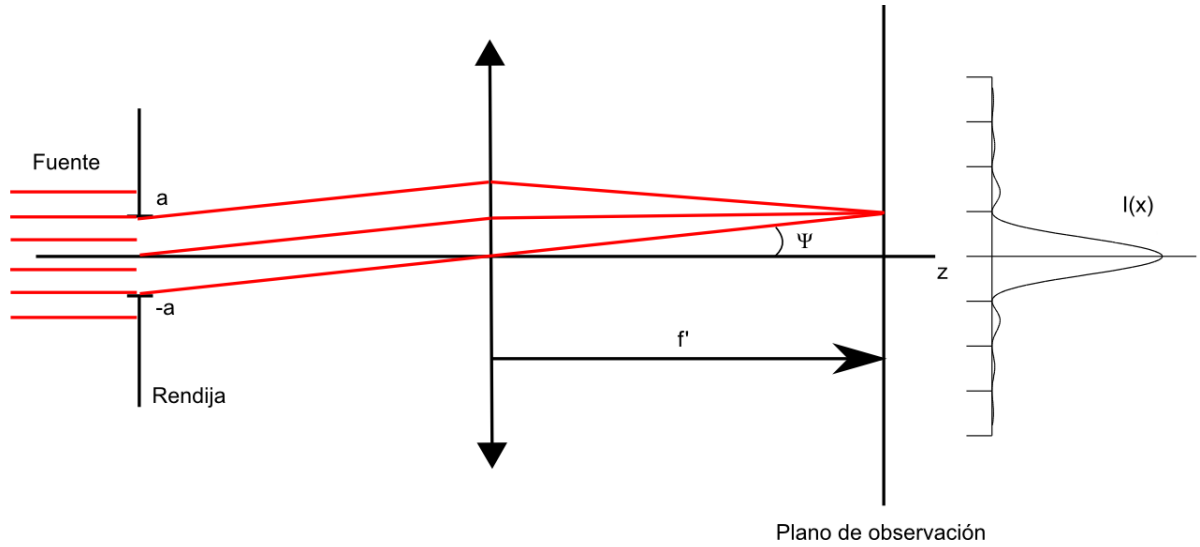


Figura 1: arreglo experimental para observar la Difracción de Fraunhofer observando en el plano focal de una lente convergente.

2.1 Rendija de anchura $2a$

La distribución de intensidad en régimen de Fraunhofer del campo difractado por una rendija de anchura $2a$ viene dada por

$$I = I_0 \left[\frac{\sin(ka \sin\Psi)}{ka \sin\Psi} \right]^2, \quad (1)$$

donde Ψ es el ángulo formado por la dirección de observación y la dirección de incidencia, ver Fig.1. En el plano focal y para ángulos Ψ pequeños se cumple la siguiente relación $\sin\Psi = \frac{x}{f'}$, donde f' es la focal de la lente convergente y x la distancia del punto de observación al foco. Por otro lado, I_0 es la intensidad máxima, k es el número de onda ($k = 2\pi/\lambda$), λ es la longitud de onda de la luz incidente y a es la semianchura de la rendija.

2.2 Círculo de radio a

La distribución de intensidad en régimen de Fraunhofer del campo difractado por una abertura circular de radio a viene dada por

$$I = I_0 \left[\frac{J_1(ka \sin\Psi)}{ka \sin\Psi} \right]^2, \quad (2)$$

donde $J_1(y)$ es la función de Bessel de orden uno ([2], pág. 82) y los parámetros Ψ y k son los mismos que en la ecuación (1). Los mínimos de $J_1(y)$ se corresponden con $y = 1.220\pi, 2.333\pi, 3.238\pi$ y $(0.24+n)\pi$ para $n \geq 4$.

En la Fig. 2 se muestran los patrones de difracción que deben observarse para la rendija y el orificio circular, correspondiéndose con las distribuciones de intensidad dadas por las ecuaciones (1) y (2), respectivamente. Notar que un cambio en el valor de a produce una escala en la figura de difracción. Por consiguiente, la dimensión de la figura de difracción determina el parámetro dimensional de la abertura (a).

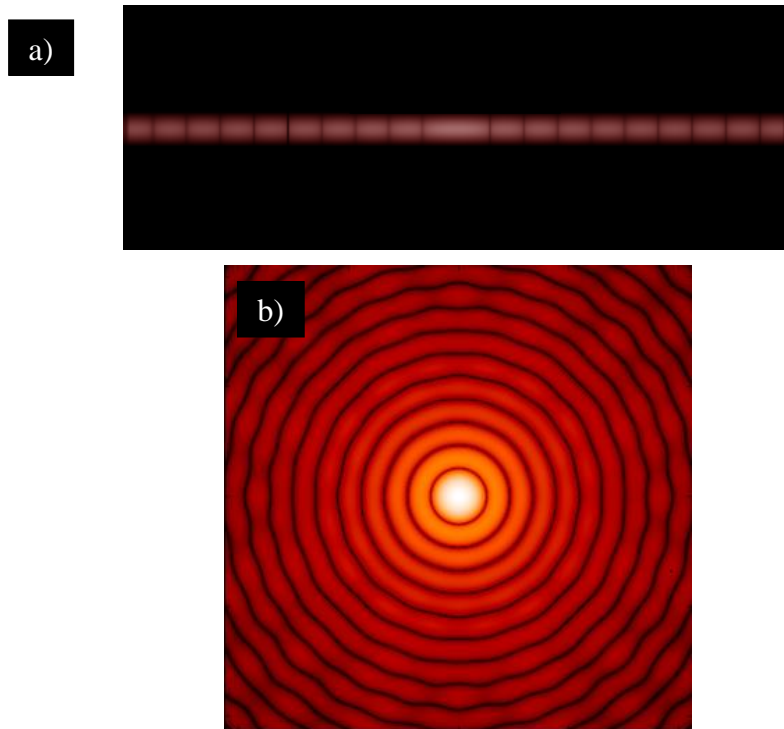


Figura 2. Patrón de difracción de Fraunhofer a) producido por una rendija y b) un orificio circular.

3. Método experimental:

El montaje experimental se muestra en la Fig. 3. Consta de un láser de He-Ne linealmente polarizado que pasa a través de un expansor de haz y de un polarizador, para posteriormente iluminar la abertura. El haz difractado por la abertura pasa a través de una lente convergente e ilumina el chip de una cámara CCD situada en el plano focal imagen de la lente, a la distancia f' . El expansor de haz incrementa el diámetro del haz (fijo en el montaje) y el polarizador se debe girar para regular la intensidad de luz que llega a la cámara evitando su saturación.

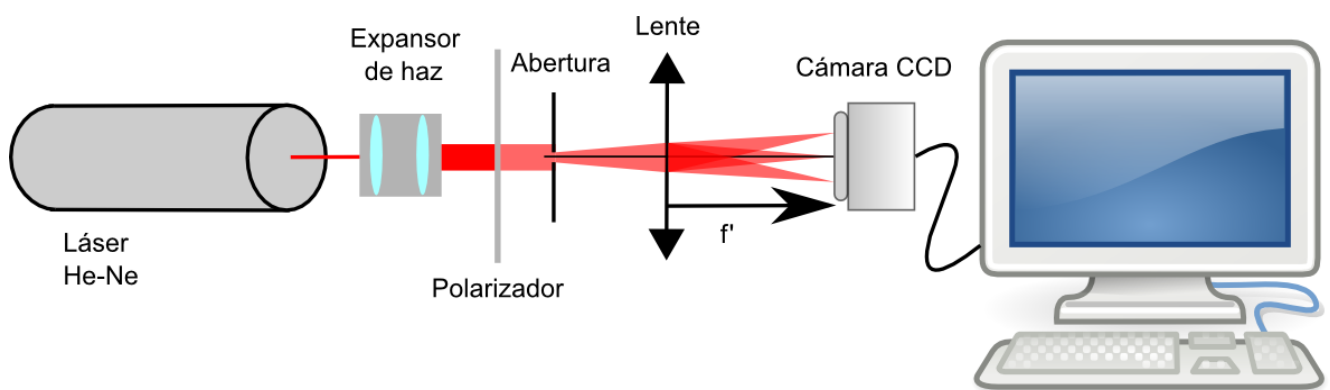



Figura 3. Montaje experimental con láser, expansor, polarizador (para regular la intensidad), abertura, lente y cámara con monitor.

El chip de la cámara CCD está sobre el plano focal imagen de la lente convergente (ver Fig. 3). Así, la intensidad de luz que recoge la cámara se corresponde con la figura de difracción de la abertura en régimen de Fraunhofer. Esta figura se observa en la pantalla cuyos ejes x-y representan la posición de los píxeles del chip de la cámara. Conocido el tamaño de uno de los lados del píxel (que tiene forma cuadrada), $4.70 \pm 0.01 \mu m$, se puede determinar el tamaño real de la figura de difracción sobre el chip de la cámara para poder aplicar las ecuaciones (1) y (2).

Instrucciones para adquisición y análisis de imagen

La cámara CCD se controla con un programa de Matlab. Una vez iniciado Matlab, puede presionar el botón "CCViewer" para visualizar y guardar la imagen que llega a la CCD. Este botón está situado a la izquierda de la barra superior de Matlab y abre una nueva ventana en la que se puede visualizar la imagen en tiempo real. El programa muestra la imagen proporcionada por la cámara nada más ejecutarlo. Es posible pausar la imagen presionando el botón "CCD: Acquiring" que se tornará en "CCD: Paused" (recordar volver a pulsarlo para ver la imagen en tiempo real). La imagen adquirida se guarda empleando el botón "Save". Guardar las imágenes en una carpeta en el escritorio.

Para realizar las medidas sobre la figura de difracción registrada pulse el botón "Profile". Esto abre una nueva ventana con nuevas funciones. A continuación, puede dibujar sobre dicha imagen una línea clickeando con el ratón en los puntos inicial y final de la línea que se quiera obtener. Esto genera una nueva imagen donde se pueden medir en píxeles las distancias correspondientes.

También puede ver las coordenadas en píxeles de la imagen con el cursor al activar el botón . No es necesario cerrar este programa. Para cargar una nueva imagen, cierre esta última, presione de nuevo "Profile" y repita el proceso de medida.

4. Tareas a realizar

Se deberá determinar el tamaño de dos aberturas: rendija (anchura) y círculo (radio). Para ello deberá relacionar el patrón de difracción en régimen de Fraunhofer medido para cada objeto con los parámetros dimensionales del mismo a través de las ecuaciones (1) y (2). Puede haber varias soluciones válidas. Una vez ideado el procedimiento es conveniente utilizar una rendija de tamaño conocido (por ejemplo: $2a=0.4$ mm) para comprobar su validez.

Una vez determinado el tamaño de las aberturas con el método de la difracción, se medirá el tamaño de las mismas con el microscopio comparador y se compararán ambos resultados.

5. Bibliografía:

- [1] IDEARA SL, *Radiaciones ópticas artificiales. Factores relacionados con la fuente y las medidas de control* (IDEARA SL, Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo).
- [2] J.W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, (Mc Graw-Hill, United States of America, 1996).
- [3] J. Casas, *Óptica 6ª edición* (Ed. Librería general, Zaragoza, España, 1985).
- [4] P. M. Mejías, R. Martínez Herrero, J. Serna y G. Piquero, *Jugando con la luz: Óptica práctica para curiosos* (S. L. Nivola Libros y Ediciones, 2005).
- [5] P. M. Mejías, R. Martínez Herrero, J. Serna y G. Piquero, *Jugando con la luz 2: Óptica práctica para curiosos* (S. L. Nivola Libros y Ediciones, 2006).

Plantilla

El informe de esta práctica debe contener única y exclusivamente las respuestas solicitadas en esta plantilla. En esta plantilla debe calcular las incertidumbres de los resultados

Determinación de la anchura de una rendija y del radio de una abertura circular utilizando el método de la difracción

- Especifique clara y brevemente el procedimiento experimental para determinar los parámetros dimensionales de las aberturas (rendija y abertura circular) utilizando el método de la difracción.
- ¿Por qué ha elegido este procedimiento?
- Exponga los resultados de todas las medidas realizadas.
- Exprese claramente el resultado final y su incertidumbre justificando cómo ha llegado a ellos.
- ¿Se le ocurre alguna otra forma de determinar los parámetros dimensionales de las aberturas?

Determinación de la anchura de una rendija y el radio de una abertura circular utilizando el microscopio comparador

- Especifique clara y brevemente el procedimiento experimental para determinar los parámetros dimensionales de las aberturas utilizando el microscopio comparador.
- Exponga los resultados de todas las medidas realizadas.
- Exprese claramente el resultado final y su incertidumbre justificando cómo ha llegado a ellos.

Comparación de los dos métodos

- Compare los resultados obtenidos por ambos métodos ¿Son razonables?
- ¿Qué método es más preciso?
- Si tuviese que determinar dimensiones de aberturas/orificios más pequeñas, qué método utilizaría y por qué.

Debe añadir aquí algo que haya observado o ideado y que no esté incluido en lo anterior

Fenómenos interesantes para los curiosos

En este apartado no se evaluarán las preguntas solicitadas

- Observe la difracción originada por la abertura con orificio doble en el montaje experimental e intente dar una explicación a lo observado. Pruebe a tapar uno de los orificios, ¿qué ocurre?
- Observe la difracción originada por distintas aberturas con el ojo desnudo. Para ello mire una fuente de luz lejana a través de la abertura. ¿La distribución de intensidad que observa se parece a la obtenida en Régimen de Fraunhofer? Cambie los colores de la fuente de iluminación y observe los cambios producidos. ¿Puede dar una explicación a lo observado?

6. Quiero saber más

El fenómeno de la difracción fue observado y analizado por primera vez por Francesco Maria Grimaldi, quien también acuñó el término difracción. Más tarde otros científicos de relevancia como Sir Isaac Newton estuvieron interesados en el fenómeno hasta que Jean Fresnel le dotó de un marco matemático para poder estudiarlo. Este fenómeno ondulatorio se explica mediante el principio de Huygens-Fresnel y la superposición de ondas. Una posible descripción del fenómeno viene dada por la ecuación de difracción de Kirchhoff cuyas dos aproximaciones en campo lejano (Fraunhofer) y campo cercano (Fresnel) son ampliamente utilizadas.

Los ejemplos clásicos de difracción de Fraunhofer son la rendija, la doble rendija y la red de difracción. En el siguiente video se pueden observar ejemplos de estos tres casos y otros https://www.youtube.com/watch?v=CKi6Em_jsTg . Por otro lado, en el siguiente video puede observarse el efecto de la anchura de la rendija en el patrón de difracción en campo lejano, <https://www.youtube.com/watch?v=wXL4z1R2tIo>. Este efecto es fácilmente aplicable también a orificios circulares.

El fenómeno de difracción no es único para una fuente de luz monocromática sino que también ocurre para luz blanca. El patrón de difracción producido por cada una de las longitudes de onda se encontrará ligeramente desplazado. En el siguiente video se muestra la difracción producida por un filamento iluminado por luz blanca, <https://www.youtube.com/watch?v=sy1tvA-HzQ4>.

Aún más, la teoría cuántica describe algunas propiedades de las partículas como si fueran ondas y por lo tanto pueden ser difractadas. La longitud de onda asociada con la partícula se denomina *longitud de onda de De Broglie* y corresponde con $\lambda = \hbar / p$ donde \hbar es la constante de Planck y p el momento lineal de la partícula. La difracción de partículas ha sido observada para electrones, neutrones, átomos y pequeñas moléculas.

<https://www.youtube.com/watch?v=m55Lx0OI6RM>, <https://www.youtube.com/watch?v=4lcYC2tsDDE>.

Para más información general sobre difracción, en inglés, se puede consultar la Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction> , que da una descripción detallada del fenómeno.

Divulgación: En la siguiente página web se pueden observar diversos fenómenos físicos entre los cuales se encuentra la difracción, en la vida cotidiana, <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/gioq/fenopt/index.htm>.

Aplicaciones: El fenómeno de difracción puede ser útil en algunas aplicaciones y por el contrario contraproducente en otras. La difracción limita, en general, la resolución en la formación de una imagen. Al formar imagen de un objeto mediante un sistema óptico, la capacidad de resolver en el plano imagen dos puntos del plano objeto con nitidez viene limitada por la difracción producida por el sistema. La imagen de cada punto del plano objeto será un patrón de difracción de Airy cuyo círculo central ya no será un punto sino que tendrá un cierto tamaño no infinitesimal. Es por esto que la difracción se corrige en elementos formadores de imagen como telescopios, microscopios, etc. En estas páginas se explica el efecto de la difracción y su corrección en fotografía

<http://www.jggweb.com/2007/01/31/la-difraccion-la-nitidez-en-peligro/>,
<http://akvis.com/es/articles/diffraction-in-photography/problems-in-macro.php>,
http://www.medic.ula.ve/histologia/anexos/microscopweb/MONOWEB/capitulo3_5.htm .

También es un fenómeno que se suele corregir en el caso de ondas acústicas,

http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/bafflestep/bafflestep.htm.

Por el contrario, es un fenómeno útil para otras aplicaciones. Por ejemplo, su dependencia con la longitud de onda de la luz puede ser utilizada para discriminar entre diferentes longitudes de onda y sintonizar una de ellas (monocromador), <http://es.wikipedia.org/wiki/Monocromador>.

También puede utilizarse para analizar el espectro de emisión de fuentes de luz (espectrometría con redes de difracción), página 16 del siguiente enlace

http://pendientedemigracion.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/IA/IA_12_espectrometros.pdf.

Además se utiliza para formación de imagen por efectos difractivos mediante Elementos Ópticos Difractivos. Estos elementos modulan localmente la fase o la amplitud del haz incidente, para producir las distribuciones de fase o intensidad deseadas. En el siguiente enlace se muestra el diseño, fabricación y posibilidades de los Elementos Ópticos Difractivos en la ciencia e industria,

<http://physweb.bgu.ac.il/~gtelzur/teaching/comphy/Presentations/TamirGrossinger.pdf>.

La principal ventaja es la reducción del tamaño de los elementos necesarios para conseguir la salida deseada. Por otro lado, la principal desventaja es la formación de múltiples imágenes, a veces solapadas.