

# Naturaleza ondulatoria de la luz. Difracción.

## Objetivos

Comprobar la naturaleza ondulatoria de la luz. Estudio de la difracción de la luz en diferentes rendijas y obstáculos. Estudiar la difracción de Fraunhofer por una rendija.

## Material

Láser de He-Ne. Guía y soporte para el láser y las aperturas. Juego de cuatro rendijas simples de 0.02, 0.04, 0.08 y 0.16 mm. Juego de cuatro rendijas dobles de 0.04 y 0.08 mm de anchura separadas .250 y .500 mm. Red de difracción. Orificios circulares de 0.04 y 0.08 mm y conjunto de orificios con simetría hexagonal y cuadrada. Obstáculos para generar difracción.

## Fundamento teórico

La luz visible constituye una pequeña parte del espectro de la radiación electromagnética, que comprende desde las ondas de radio, con longitudes de onda muy grandes (en algunos casos de centenares de kilómetros), pasando por la luz visible con longitudes de onda de unos cientos de nanómetros, hasta los rayos X o gama, con longitudes de onda inferiores a un nanómetro. En todos estos casos tiene lugar la propagación por el espacio de un campo eléctrico y un campo magnético perpendiculares entre sí, y perpendiculares también a la dirección de propagación de la onda. La luz es, pues, una onda transversal.

Cuando un frente de onda de luz atraviesa un agujero cuyo tamaño es menor o del orden de la longitud de onda de la luz incidente, éste se convierte en un foco emisor de ondas (casi) semiesféricas. A este fenómeno se le llama **difracción**, y no debe ser confundido con la refracción. Si la luz atraviesa una rendija alargada muy estrecha en vez de un agujero, la rendija se convierte en un emisor de ondas (casi) semicilíndricas. Tanto en el caso de un agujero como en el de una rendija, la luz se propagará a partir de entonces en todas las direcciones. Este comportamiento distingue la propagación de una onda de la propagación de partículas que no experimentarían difracción alguna como muestra la figura 1

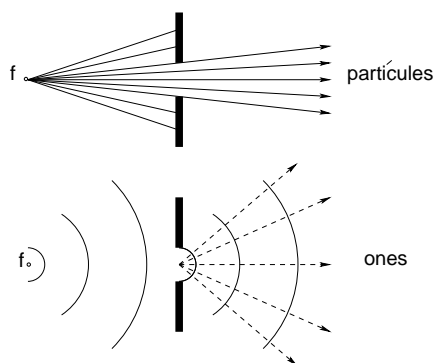
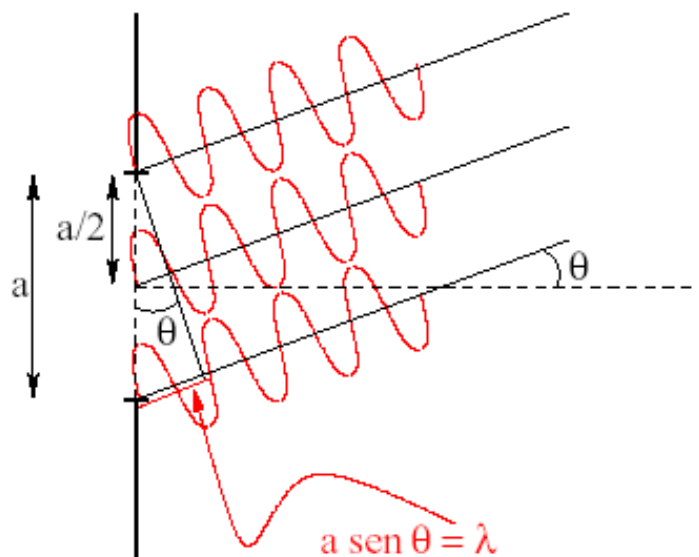


Figura 1. Difracción.

### Difracción de Fraunhofer por una rendija

Consideremos ahora el caso de una rendija de anchura  $a$  pequeña pero no despreciable que está iluminada perpendicularmente por una luz monocromática coherente de longitud de onda  $\lambda$  (por ejemplo la luz emitida por un láser). Como ahora la rendija no es tan estrecha, la difracción que provoca aunque se propaga en todas las direcciones ya no será en frentes de onda cilíndricos. De acuerdo con el principio de Huygens, suponemos que a lo largo de la anchura de la rendija hay muchos focos emisores puntuales de frentes de onda cilíndricos que al superponerse unos con otros dan como resultado un patrón de difracción.



**Figura 2.** Difracción.

Vamos a considerar que observamos el patrón de difracción de la rendija en un punto muy alejado, para que así sean prácticamente paralelos los rayos que proceden de estos emisores puntuales (difracción de Fraunhofer). Supongamos tres focos emisores situados dos en los extremos de la rendija y uno más en el centro (figura 2). En este caso vemos que hay ciertos ángulos para los que los rayos emitidos interfieren destructivamente (i.e están desfasados media longitud de onda). Efectivamente para  $a \sin(\theta) = \lambda$  el rayo difractado justo en el borde superior de la rendija interfiere destructivamente con el rayo difractado en la mitad de la rendija y con el difractado en la parte inferior. De esto se deduce que la intensidad en la dirección  $\theta$  será cero, y lo mismo ocurrirá para  $a \sin(\theta) = 2\lambda = 3\lambda \dots$ . Generalizando, la condición de intensidad cero para la difracción de luz monocromática por una rendija de anchura  $a$  es:

$$a \sin(\theta) = m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

En el caso de estar observando la difracción de Fraunhofer la pantalla se situará a gran distancia de la rendija, y podremos aproximar  $\sin(\theta) = \tan(\theta) = y/L$  (ver figura 3) y obtendremos los mínimos para;

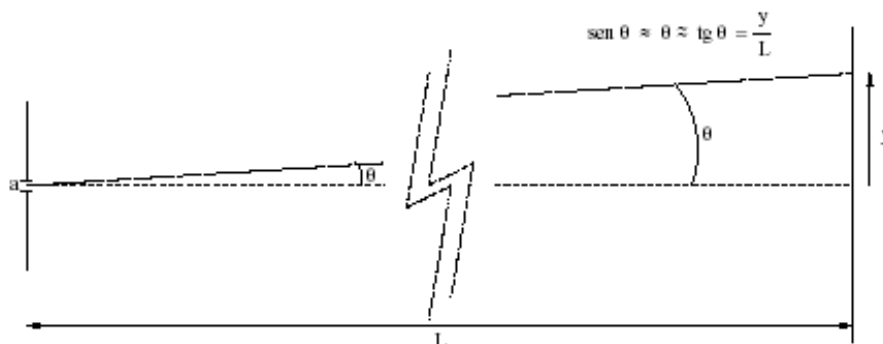


Figura 3. Difracción.

$$y_m = m \frac{\lambda}{a} L, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Es posible obtener, no sólo la posición de los mínimos, sino de la intensidad luminosa sobre la pantalla en función de  $\theta$  que viene dada por:

$$I(\theta) = I_o \left( \frac{\sin \left( \frac{2\pi a \sin(\theta)}{2 \lambda} \right)}{\left( \frac{2\pi a \sin(\theta)}{2 \lambda} \right)} \right)^2 \quad (3)$$

### Difracción de Fraunhofer por dos rendijas

En el caso de tener dos rendijas de anchura  $a$  separadas una distancia  $d$ , la expresión de la intensidad sobre la pantalla se puede obtener a partir de la superposición de las ondas procedentes de cada rendija. En este caso existirá para los rayos procedentes de cada rendija una diferencia de camino óptico 'extra' dada por  $d \sin(\theta)$ , que generará una modulación en la intensidad, dada en este caso por:

$$I(\theta) = I_o \left( \frac{\sin \left( \frac{2\pi a \sin(\theta)}{2 \lambda} \right)}{\left( \frac{2\pi a \sin(\theta)}{2 \lambda} \right)} \right)^2 \cos^2 \left( \frac{2\pi d \sin(\theta)}{2 \lambda} \right) \quad (4)$$

Es importante notar que para una sola rendija los máximos de intensidad tienen mayor anchura que para el caso de dos rendijas. Esto es debido a que el término  $\cos^2$  se anula en más ocasiones, encontrándose modulado por el término correspondiente a la intensidad de una rendija (figura 5)

Los puntos en los que la intensidad se hace cero en este caso corresponden con los puntos donde se anula cada término. Es decir aquellos valores que cumplen:

$$a \sin(\theta) = m \lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

$$d \sin(\theta) = m \frac{\lambda}{2}, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

### Difracción por varias rendijas, red de difracción

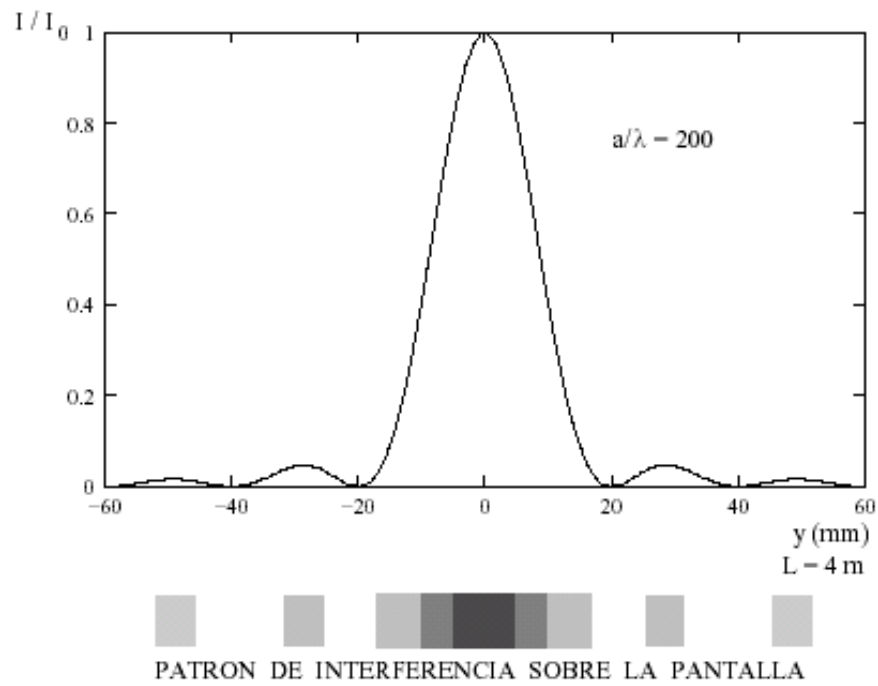


Figura 4. Difracción.

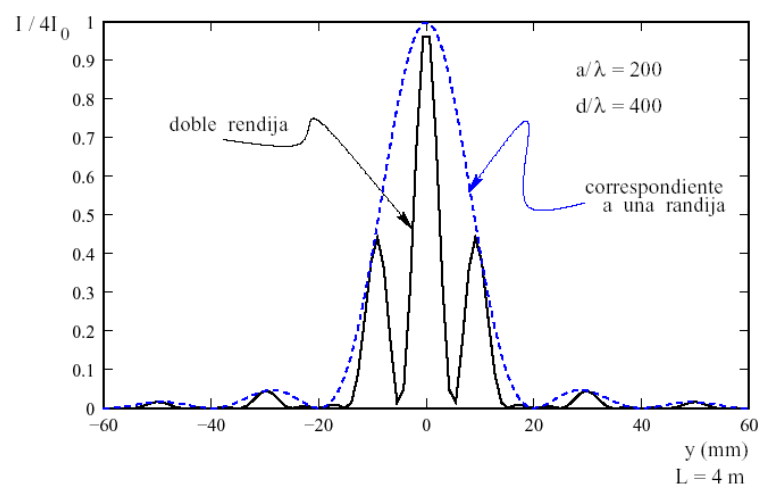
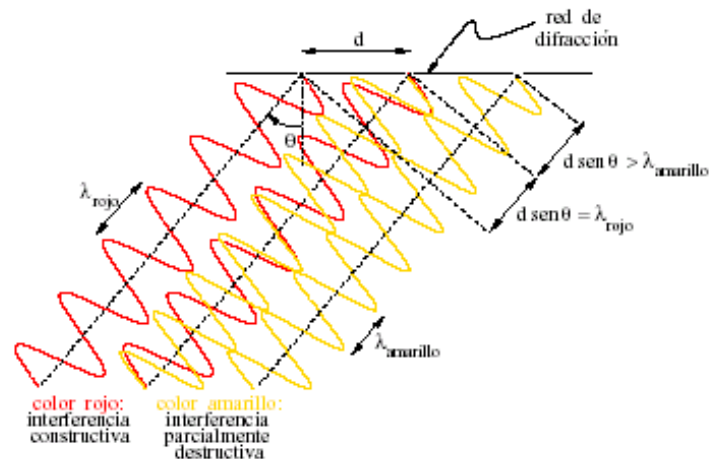


Figura 5. Difracción.

Supongamos ahora que disponemos de varias rendijas separadas una distancia  $d$  formando lo que denominaremos una 'red de difracción' (figura 6). Cuando la luz incide sobre la red, cada rendija actúa como un nuevo foco emisor de ondas cilíndricas en todas las direcciones. La intensidad que observaremos en la pantalla será la suma de todas estas ondas.



**Figura 6.** Difracción.

Analicemos ahora que ocurre para la luz transmitida por la red en un ángulo dado  $\theta$ . Si la longitud de onda  $\lambda$  de la luz transmitida cumple  $d \sin(\theta) = \lambda$ , las ondas provenientes de cada rendija estarán en fase y la onda resultante final será la suma de todas ellas (interferencia constructiva). En la pantalla observaremos un punto luminoso correspondiente al color de longitud de onda  $\lambda$  (luz roja en la figura 6). Si la longitud de onda de la luz es ligeramente diferente, las ondas provenientes de cada rendija tendrán un pequeño desfase que, al sumarse la luz de un gran número de rendijas, producirá finalmente una interferencia destructiva y no observaremos intensidad alguna sobre la pantalla. De esta forma, mediante una red de difracción, veremos puntos luminosos sobre la pantalla en diferentes posiciones según la longitud de onda (o el color) de la luz transmitida de acuerdo con la condición:

$$d \sin(\theta) = m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

## Método experimental

El objetivo de esta práctica es generar los patrones de difracción correspondientes a las diferentes aperturas suministradas. Para ello se hará pasar el haz láser a través de la apertura seleccionada que se colocará en la posición adecuada sobre el soporte. El patrón de difracción se observará sobre la pantalla situada a 1 m de la apertura para obtener difracción de Fraunhofer.

En cada caso, se colocará una hoja de papel blanco sobre la pantalla sujeta con cinta adhesiva sobre la que se dibujará el patrón de difracción observado (puntos de máxima intensidad y de intensidad nula).

**IMPORTANTE:** Al trabajar con luz láser deben tomarse un mínimo de precauciones. Nunca debe mirar directamente el haz láser ni su reflejo en alguna superficie. Situar la pantalla siempre frente al

haz, de forma que éste no se propague a otras zonas del laboratorio ajenas la práctica. Asegurarse de que el haz está apagado o bloqueado cuando no se utilice.

### **Difracción por una rendija**

Siguiendo el procedimiento explicado anteriormente, obtener el patrón de difracción correspondiente a las rendijas suministradas. Dibujar sobre una hoja de papel los puntos de intensidad máxima y de intensidad mínima correspondientes a los patrones de difracción. Utilizar para los cuatro casos la misma hoja desplazándola verticalmente al cambiar de rendija. Observar los patrones de difracción obtenidos comparándolos con el que predice la teoría (figura 4)

### **Difracción por una doble rendija**

Siguiendo el procedimiento explicado anteriormente, obtener el patrón de difracción correspondiente al juego de dobles rendijas suministradas. Dibujar sobre una hoja de papel los puntos de intensidad máxima y de intensidad mínima correspondientes a los patrones de difracción. Utilizar para los cuatro casos la misma hoja desplazándola verticalmente al cambiar de apertura. Observar los patrones de difracción obtenidos comparándolos con el que predice la teoría (figura 5)

### **Red de difracción**

Siguiendo el procedimiento explicado anteriormente, obtener el patrón de difracción correspondiente a la red de difracción suministrada. En este caso será necesario acercarse a la pantalla para poder observar al menos la difracción de primer y segundo orden. Dibujar sobre una hoja de papel los puntos de intensidad observados comparándolos con el que predice la teoría (figura 6).

### **Difracción por un orificio circular**

Siguiendo el procedimiento explicado anteriormente, obtener el patrón de difracción correspondiente a los orificios suministrados. Dibujar sobre una hoja de papel el patrón de difracción observado (zonas de máxima y mínima intensidad), que en este caso estará constituido por anillos concéntricos. Puede ser necesario apagar momentáneamente la luz para su correcta observación.

Obtener también el patrón de difracción para las disposiciones de orificios con simetría hexagonal y cuadrada. No es necesario realizar un dibujo en este caso, limitándonos a su observación sobre la pantalla.

## **Resultados**

### **Difracción por una rendija**

Comenta el patrón de difracción observado en cada caso en función de lo que predice la teoría.

Mide en cada caso sobre el dibujo realizado las posiciones donde la intensidad se hace nula. Compara los resultados obtenidos con los valores que predice la teoría (ecuación 1).

Analiza el efecto del aumento de la anchura de la rendija sobre la posición de los mínimos de intensidad. Comenta el resultado de acuerdo con lo que predice la teoría.

### **Difracción por una doble rendija**

Comenta el patrón de difracción observado en cada caso en función de lo que predice la teoría.

Mide en cada caso sobre el dibujo realizado las posiciones donde la intensidad se hace nula. Compara los resultados obtenidos con los valores que predice la teoría (ecuaciones 5 y 6).

Analiza el efecto del aumento de la separación entre las rendijas sobre la posición de los mínimos de intensidad. ¿Observas la modulación debida a la presencia de la segunda rendija?. Comenta los resultados.

### **Red de difracción**

Comenta el patrón de difracción observado en cada caso en función de lo que predice la teoría.

Determina a partir del dibujo el ángulo correspondiente al primer orden de difracción. Con este dato, y a partir de separación entre las rendijas de la red, determina la longitud de onda del láser empleado en la práctica con la ecuación 7.

### **Difracción por un orificio circular**

Comenta el patrón de difracción observado para los orificios circulares. ¿Podrías explicarlo cualitativamente en función del patrón predicho teóricamente para una rendija? (ecuación 3).

Comenta el patrón de difracción observado para las disposiciones hexagonal y cuadrada de orificios circulares. ¿Qué características principales resaltarías en este caso?.