

# Difracción a través de una apertura circular

Amado Cabrera (201905757), Mariana Pérez (201901040) y Sandra Mendoza (201504388)

**Resumen**—Este laboratorio consistía en hacer incidir un láser a través de una apertura circular pequeña para obtener un patrón de difracción característico conocido como patrón de Airy. En este análisis se busca hallar el valor experimental del diámetro de la apertura circular a partir de mediciones realizadas desde el centro del patrón hacia el primer y segundo máximo, y comparar estos resultados diámetro con el valor real (dado por el fabricante), el cual es de 0.14 mm. Los resultados obtenidos fueron de  $(0.1341 \pm 0.0006)$  mm y  $(0.1369 \pm 0.0006)$  mm. Aunque el valor esperado queda fuera de los márgenes de error de los valores obtenidos, se concluye que la teoría predice satisfactoriamente el fenómeno obtenido, pues los resultados se alejan por poco del valor esperado, muy probablemente debido a errores humanos en la medición.

**Index Terms**—Difracción, apertura circular, patrón de Airy.

## 1. INTRODUCCIÓN

LA luz posee una dualidad onda-partícula y según el experimento que desarrollemos podremos observar cualquiera de los dos comportamientos. En este caso haremos uso de la naturaleza ondulatoria de la luz para poder estudiar un fenómeno conocido como difracción. La difracción se da cuando un haz de luz, en este caso un láser, se encuentra un obstáculo, en este experimento una rendija circular, esto provoca que las ondas se curvan alrededor de la apertura, donde cada punto de un frente de onda actúa como una fuente de ondas secundarias esféricas formando un patrón de difracción característico con un disco central brillante y anillos concéntricos.

Estos patrones característicos de la difracción se deben a la interferencia. La interferencia constructiva ocurre cuando dos o más ondas se superponen de tal manera que sus crestas y valles coinciden, resultando en una onda de mayor amplitud; mientras que la interferencia destructiva ocurre cuando dos o más ondas se superponen de tal manera que las crestas de una onda coinciden con los valles de otra, resultando en una disminución de la amplitud o incluso en una cancelación completa. Para fines del experimento los máximos se observan debido a la interferencia constructiva y los mínimos a la interferencia destructiva.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. General

- Observar los fenómenos de difracción e interferencia de la luz de un láser que pasa a través de una apertura circular pequeña.

### 2.2. Específicos

- Realizar mediciones de los máximos de los patrones de interferencia que se obtienen cuando la luz de un láser pasa a través de una apertura circular pequeña.
- Obtener el diámetro de la apertura circular por la cual pasa el láser.

## 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1. Principio de Fresnel-Huygens

El principio de Fresnel-Huygens es fundamental para entender la propagación de las ondas. Según la definición dada en Jewett & Serway (2014), este principio es una construcción geométrica que emplea un frente de onda anterior para determinar la posición de un frente de onda nuevo en algún instante. «En esta construcción, todos los puntos en un frente de onda determinado se toman como fuentes puntuales para la producción de ondas esféricas secundarias, llamadas trenes de ondas, que se propagan hacia afuera por un medio con magnitudes de velocidad características de ondas en ese medio. Después de algún intervalo de tiempo, la nueva posición del frente de onda es la superficie tangente a los trenes de onda».

El principio de Fresnel-Huygens puede aplicarse en fenómenos de difracción, reflexión y refracción. Para fines de este laboratorio nos enfocaremos en la difracción.

#### 3.1.1. Difracción:

La difracción es un fenómeno físico causado por la naturaleza ondulatoria de la luz y ocurre cuando una onda se encuentra con un obstáculo o una apertura cuyo tamaño es comparable a su longitud de onda. En lugar de seguir una trayectoria recta, la onda se dispersa alrededor del obstáculo o a través de la apertura.

#### 3.1.2. Patrón de interferencia

Para observar interferencia se debe cumplir las siguientes condiciones [1]:

- Las fuentes deben ser coherentes, es decir, deben mantener una fase constante respecto de otra.
- Las fuentes deben ser monocromáticas, es decir, de una sola longitud de onda.

La interferencia está ligada a la diferencia de trayectoria  $\delta$ , que es la distancia perpendicular  $L$  de la barrera que contiene dos ranuras del experimento de Young [1]. Dadas las condiciones del experimento  $L$  es mucho mayor que  $d$ ,

donde  $d$  es la separación de las ranuras, entonces  $\delta$  se conoce por:

$$\delta = d \sin \theta \quad (1)$$

El valor de  $\delta$  determina si las dos ondas están en fase cuando llegan al punto  $P$ . Si  $\delta$  es cero o algún entero múltiplo de la longitud de onda, las dos ondas están en fase en el punto  $P$  y se obtiene interferencia constructiva [1]. Cuando  $\delta$  es múltiplo impar de  $\lambda/2$ , las dos ondas que lleguen al punto  $P$  están  $180^\circ$  fuera de fase y dan lugar a una interferencia destructiva [1].

### 3.2. Patrón de Airy

Cuando la luz de una fuente puntual pasa a través de una apertura circular, no se forma una imagen puntual en la pantalla, sino un patrón de difracción característico, conocido como «patrón de Airy» [2]. Este patrón está conformado por un disco central brillante (llamado «disco de Airy») rodeado de anillos concéntricos más tenues [3].

Según el principio de Fresnel-Huygens, cada punto de la apertura circular actúa como una fuente de ondas secundarias. Estas ondas interfieren entre sí, creando un patrón de difracción que alterna entre regiones iluminadas y oscuras. La intensidad de la luz en la pantalla varía, formando un máximo central brillante y varios mínimos y máximos secundarios en forma de anillos [4].

El ángulo  $\theta$  que se produce entre la luz incidente y algún mínimo o máximo está dado por la ecuación

$$\sin(\theta) \approx m \frac{\lambda}{D}, \quad (1)$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la luz,  $D$  es el diámetro del círculo y  $m$  es una constante determinada por la siguiente tabla [2]

Cuadro 1  
Valores de  $m$  para mínimos y máximos

n.º	Mínimos	Máximos
1	1.22	1.635
2	2.233	2.679
3	3.238	3.69

Para ángulos pequeños es posible usar la aproximación  $\sin(\theta) \approx \tan(\theta)$ . De esta manera se obtiene

$$\begin{aligned} \sin(\theta) &\approx \tan(\theta) \\ &= \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}}, \\ &= \frac{y}{L}; \end{aligned} \quad (2)$$

donde  $y$  es la distancia desde el centro del patrón al primer mínimo o máximo seleccionado y  $L$  es la distancia desde la apertura circular a la imagen. De esta forma, reemplazando (2) en (1) se obtiene la ecuación

$$\frac{y}{L} \approx m \frac{\lambda}{D},$$

que, despejada para  $D$  queda como

$$D \approx m \frac{\lambda L}{y}. \quad (3)$$

## 4. DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento consistió en hacer incidir un láser a través de una apertura circular. Se midieron las distancias desde el centro hacia el primer y segundo máximo.

### 4.1. Procedimiento

1. Colocar el láser en un extremo del riel, asegurándose de que esté alineado y fijo.
2. Posicionar el diafragma que contiene las aperturas circulares en el riel, de manera que solo uno de los orificios del diafragma esté en la trayectoria del haz de luz del láser.
3. Observar el patrón de difracción formado en la pantalla de proyección.
4. Utilizar el vernier digital para medir las distancias entre el centro del patrón de difracción a los anillos (los máximos). Se realizan 3 mediciones por cada máximo (cada una en diferentes direcciones).
5. Medir la distancia desde la apertura circular al patrón empleando un metro.
6. Registrar todas las mediciones realizadas.

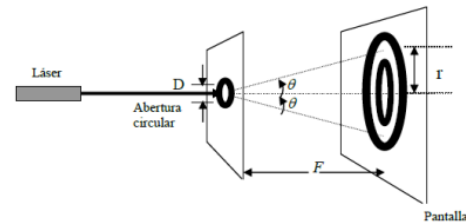


Figura 1. Diagrama del diseño experimental.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para calcular el valor del diámetro de la apertura se empleará la ecuación (3), donde

- La longitud de onda del láser empleado en el experimento es

$$\lambda = 632.9 \text{ nm}$$

(según el fabricante).

- La distancia medida entre la apertura circular a la imagen es

$$L = (221.3 \pm 1) \text{ cm.}$$

- El valor de  $y$  corresponden a un promedio de 3 mediciones realizadas para cada máximo, las cuales se recogen en la siguiente tabla.

Cuadro 2  
Distancias desde el centro del disco de Airy al primer y segundo máximo

n.º	Mediciones	
	Máximo 1	Máximo 2
1	17.48	27.39
2	17.29	27.82
3	16.46	27.00

Para cada una de las mediciones se toma una incerteza de 0.5 mm.

Los cálculos fueron realizados en Mathematica (ver apéndice B). Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

## 5.1. Cálculo del diámetro

### 5.1.1. Primer máximo

$$D = (0.1341 \pm 0.0006) \text{ mm.}$$

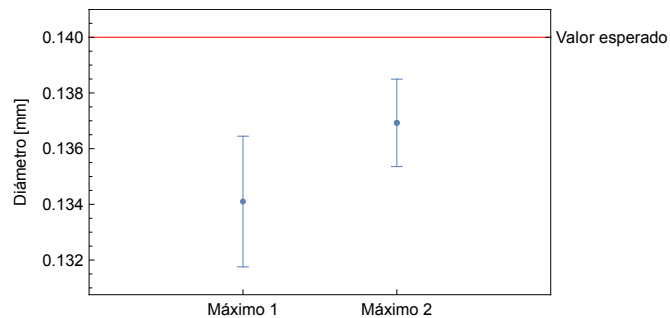
### 5.1.2. Segundo máximo

$$D = (0.1369 \pm 0.0006) \text{ mm.}$$

Para el valor esperado se tomó como referencia el indicado en la página web del fabricante en las especificaciones del producto<sup>1</sup>, siendo este

$$D_{\text{Real}} = 0.14 \text{ mm.}$$

## 5.2. Gráfica de comparación de valores experimentales y valor real



Aunque el valor esperado queda fuera de los márgenes de error de los resultados obtenidos, es posible concluir que la ecuación (3) predice satisfactoriamente el valor del diámetro de la apertura, pues los resultados se alejan por poco del valor esperado, muy probablemente debido a errores humanos en la medición, tales como la dificultad para ubicar visualmente el centro de cada máximo y posicionar adecuadamente los instrumentos de medición.

## 6. CONCLUSIONES

- Se pudo observar el fenómeno de difracción esperado al colocar adecuadamente los elementos en el arreglo experimental.
- Las mediciones se pudieron realizar exitosamente a modo general, aunque la falta de herramientas adecuadas (como un riel más largo) llevó a un desconocimiento correcto de las incertezas. Este error de medición impactó negativamente en la propagación de incertezas.
- Se obtuvo un valor muy cercano al reportado por el fabricante de la apertura circular, sin embargo el valor real no entra dentro de nuestros cálculos debido a una consideración incorrecta de las incertezas y a errores humanos en la medición.

1. <https://www.leybold-shop.com/diaphragm-with-3-diffraction-holes-46996.html>

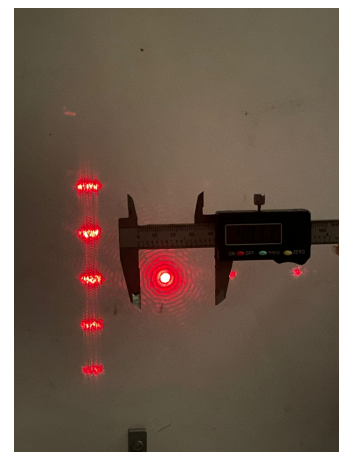
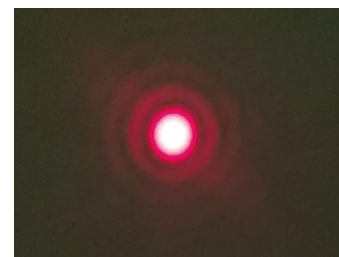
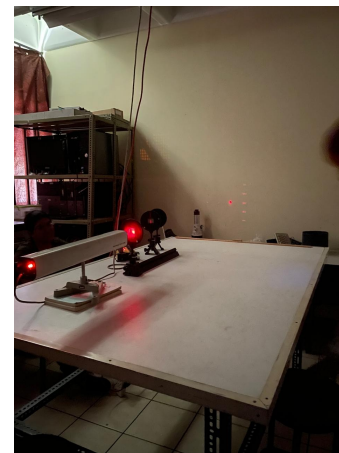
## REFERENCIAS

- [1] R. Serway and J. Jewett, *Física Para Ciencias E Ingeniería Vol I*. Cengage Learning Editores, 2014.
- [2] C. R. Nave, "Circular aperture diffraction." URL: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/cirapp2.html>. Accessed: 2024-9-9.
- [3] Wikipedia, "Disco de Airy — Wikipedia, the free encyclopedia." <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Disco%20de%20Airy&oldid=149692908>, 2024. [Online; accessed 29-September-2024].
- [4] Wikipedia, "Principio de Fresnel - Huygens — Wikipedia, the free encyclopedia." <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Principio%20de%20Fresnel%20-%20%20Huygens&oldid=151665984>, 2024. [Online; accessed 10-October-2024].

## APÉNDICE A

### FOTOGRAFÍAS DEL EXPERIMENTO

Algunas fotos del experimento



# APÉNDICE B

## CÓDIGO DE MATHEMATICA

```
In[1]-> λ = Quantity[632.9, "Nanometers"];
In[2]-> L = Quantity[Around[221.3, 1], "Centimeters"];
In[3]-> max = {1.635, 2.679, 3.69};
In[4]-> Diameter[m_, y_, totDist_] := m  $\frac{\lambda \text{ totDist}}{y}$ 
In[5]-> DReal = Quantity[0.14, "Milimeters"];
```

### Datos

```
In[6]-> dataMax1 = {Quantity[Around[17.48, 0.5], "Milimeters"], Quantity[Around[17.29, 0.5],
"Milimeters"], Quantity[Around[16.46, 0.5], "Milimeters"]};
In[7]-> dataMax2 = {Quantity[Around[27.39, 0.5], "Milimeters"], Quantity[
Around[27.82, 0.5], "Milimeters"], Quantity[Around[27, 0.5], "Milimeters"]};
```

### Cálculo del diámetro

#### Primer máximo

```
In[8]-> D1 = Diameter[max[1], Mean[dataMax1], L]
Out[8]-> (0.1341 ± 0.0023) mm
```

#### Segundo máximo

```
In[9]-> D2 = Diameter[max[2], Mean[dataMax2], L]
Out[9]-> (0.1369 ± 0.0016) mm
```

```
In[10]-> uncertaintyComparison = Show[
ListPlot[{D1, D2},
PlotRange -> {{0, 3},
{QuantityMagnitude[D1]["Value"] - QuantityMagnitude[D1]["Uncertainty"] - 0.001,
QuantityMagnitude@DReal + 0.001}},
Frame -> True,
FrameLabel -> {None, "Diámetro [mm]"},
FrameTicks -> {{Automatic, {{0.14, "Valor esperado"}}},
{{1, "Máximo 1"}, (2, "Máximo 2")}, None)}],
Graphics[
Red,
Line[{{-1, QuantityMagnitude@DReal}, {4, QuantityMagnitude@DReal}}]
]
```

