

Universidad de Santiago de Compostela  
Facultad de Física — Laboratorio de Óptica

---

# Difracción de Fraunhofer

---

Pedro Martínez Caamaño

Abril 2026

# 1. Introducción

## 1.1. Objetivo y Principios

En esta práctica, nuestro objetivo es hacer uso y estudio del principio de difracción en régimen de Fraunhofer para medir las dimensiones de pequeñas aperturas así como observar e identificar estructuras del fenómeno de difracción diferentes, como son la mancha de Airy y la mancha de Poisson.

El fenómeno de estudio, la difracción, propio de la naturaleza ondulatoria de la luz, ocurre cuando una onda se encuentra con un obstáculo de dimensiones similares a su longitud de onda. Acorde al principio de Huygens-Fresnel, cada punto de un frente de onda actúa como una fuente secundaria de ondas esféricas (en nuestro caso en 3 dimensiones), cuya superposición produce patrones de interferencia que forman una distribución de intensidad que podemos medir u observar al proyectar en una pantalla.

El régimen de difracción de Fraunhofer, corresponde a la observación de este patrón a distancias grandes (respecto al tamaño de la abertura), la distribución de intensidad produce una forma sencilla de analizar. Para el caso de una rendija de anchura  $a$ , la irradiancia en función del ángulo  $\theta$  sería:

$$I(\theta) = I_0 \left( \frac{\sin(\alpha)}{\alpha} \right)^2 ; \quad \alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin(\theta)$$

La expresión predice un máximo central acompañado de mínimos sin intensidad, estos últimos serán de gran ayuda a la hora de hacer mediciones y vendrán dados en posición por:

$$a \sin(\theta) = n\lambda \quad ; \quad n = \pm 1, \pm 2, \dots$$

Para el caso de ángulos pequeños (aplicando a una distancia  $D$  tal que  $Da$ ), obtenemos la posición del mínimo  $x_{min}$  con:

$$x_{min} = \frac{n\lambda}{a} D \tag{1}$$

De donde se deduce:

$$\Delta x = x_{n+1} - x_n = \frac{\lambda}{a} D \tag{2}$$

Y estas ecuaciones podrán usarse, en el estudio de los patrones, para determinar  $a$ .

Para una abertura rectangular de lados  $a$  y  $b$ , el patrón de difracción viene del producto de dos de estas distribuciones en direcciones perpendiculares, lo que da lugar a una estructura bidimensional en la que los mínimos vienen dados por:

$$x_{\min} = \frac{n\lambda z}{a}; \quad y_{\min} = \frac{m\lambda z}{b}$$

Con  $n$  y  $m$  siendo números enteros no nulos. Este comportamiento permite determinar de forma independiente las dimensiones de la abertura en cada dirección.

Es sencillo deducir pues, que al igual que la distribución se adecuaba bidimensionalmente a la imagen, para una abertura circular, la simetría será radial. Esto da lugar a la llamada Mancha de Airy, que es el mismo patrón pero con simetría radial, por lo que los

máximos y mínimos son anillos concéntricos situados alrededor de un máximo central.

La característica de la Mancha de Airy es que el ángulo correspondiente al primer mínimo de intensidad viene dado por:

$$\theta \approx 1,22 \frac{\lambda}{d} \quad (3)$$

Donde  $d$  es el diámetro de la abertura. Resulta de gran importancia este fenómeno pues muestra el límite óptico de resolución de muchos aparatos.

Por último, la difracción también se manifiesta en la aparición de la mancha de Poisson. Consiste en un punto brillante en el centro de la sombra producida por un obstáculo circular. Este fenómeno, consecuencia directa de la interferencia constructiva de las ondas difractadas al rodear los bordes del obstáculo circular, resultó en una de las evidencias más tempranas para mostrar el carácter ondulatorio de la luz.

En conjunto, estos fenómenos ópticos nos enseñan cómo la difracción no solo permite interpretar la naturaleza de la luz más allá de la óptica geométrica, sino que también se nos presenta como una herramienta experimental para la medida de dimensiones microscópicas; que será en la manera en la que pondremos a prueba nuestros conocimientos en el laboratorio.

## 2. Material y métodos

### 2.1. Montaje experimental

El material que se usará en esta práctica es el siguiente:

- Fuente de luz láser He-Ne (de  $\lambda = 632,8$  nm).
- Placa con rendijas.
- Placa con aberturas rectangulares.
- Placa de vidrio con obstáculo circular.
- Pantalla y Regla.
- Lente convergente.
- Alfiler.
- Placa de Aluminio.
- Bastidor de Diapositivas.
- Banco de trabajo.
- Soportes.
- Microscopio de medición.

El montaje variará levemente según busquemos estudiar unos u otros principios de difracción.

Situamos la fuente de luz láser (o el sistema de fuente de luz con la lente convergente a distancia focal para que salga un haz colimado) y a continuación el soporte que sostendrá la placa (sea con rendijas, aberturas rectangulares, aluminio perforado o con el vidrio y el obstáculo circular) de forma que el rayo de luz incida alineado y perpendicularmente a esta placa. Tras la placa, colocaremos la pantalla.

Para las mediciones del ancho de una rendija, usaremos la placa con las rendijas habiendo elegido una de estas.

Para las mediciones del alto y ancho de una abertura cuadrada, usaremos la placa con las aberturas cuadradas.

En la observación cualitativa de la Mancha de Airy, usaremos la placa de aluminio en el que perforaremos con el alfiler un pequeño agujero y colocaremos en el bastidor de diapositivas para poner en el soporte. En nuestro caso, usaremos la misma placa de la otra práctica de difracción para ahorrar material.

En la observación cualitativa de la Mancha de Poisson, usaremos la placa de vidrio con el obstáculo circular.

A mayores, haremos uso del microscopio de medición para medir el ancho de la rendija y el alto y ancho de la abertura circular para así tener valores con los que comparar nuestro resultado.

Mostramos un ejemplo de montaje experimental para la sección de medición del tamaño de una rendija:

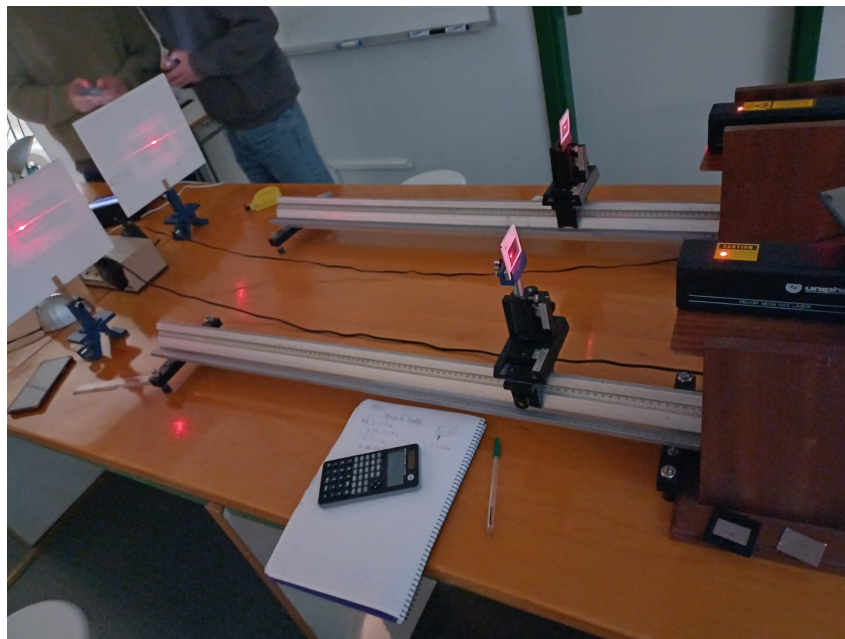


Figura 1: Esquema del montaje experimental.

## 2.2. Procedimiento

Con el montaje y material comentado en la sección anterior, comenzamos con la intención de observar y medir el ancho de una rendija a través de la medición de mínimos en la proyección del patrón de difracción formado por la rendija. En este caso, solamente nos preocupa una dimensión, el eje  $x$ , así que lo que deberíamos hacer es medir la distancia de la rendija a la pantalla y a continuación, en la proyección de la distribución de intensidad en la pantalla, medir con la regla la posición de varios mínimos así como que mínimo representa. Una vez hecho esto, repetimos para otra distancia  $D$  rendija-pantalla distinta.

Se medirían las posiciones  $x_{min}$  frente a  $n$  para, en un ajuste, lineal del tipo  $x_{min} = An + B$  obtener las constantes  $A$  y  $B$ . De ellas, a partir de  $A$  obtendríamos el tamaño de la rendija  $a$  ya que:

$$a = D \frac{\lambda}{A} \quad ; \quad s(a) = \sqrt{\left(\frac{\lambda}{A}\right)^2 s(D)^2 + \left(\frac{\lambda D}{A^2}\right)^2 s(A)^2} \quad (4)$$

En nuestro caso, nosotros no tomamos las medidas directas de posición  $x_{min}$ , sino que tomamos  $\Delta x$  (distancia entre mínimos) a la hora de medir, lo cual es directamente  $A$ . Por ello, podemos calcularlo directamente con la ecuación anterior. Sin embargo, para obtener la regresión lineal y la gráfica debemos reconstruir las  $x_{min}$ , y es lo que haremos; tras ello, realizaremos la regresión y obtendremos  $a$ .

Así, tendríamos tres tipos de medida para cada dimensión:  $a$  calculado de forma directa  $a = D \frac{\lambda}{\Delta x_{media}}$ ,  $a$  por regresión lineal y  $a$  medida directamente con el microscopio. Con las dos primeras, haremos la media para comparar con la obtenida con el microscopio.

En el caso rectangular realizaremos lo mismo que antes pero por duplicado, para la componente horizontal tomaremos los  $x_{min}$  y para la componente vertical los  $y_{min}$ . Realizando de nuevo todo el proceso de cálculo directo, por regresión lineal y medida directa con el microscopio que comentamos antes.

A continuación, nos tocará presenciar el efecto de la Mancha de Airy, así, con la lámina de Aluminio perforada por nosotros con un alfiler observaremos el patrón formado. Dependiendo del tamaño del agujero, el patrón será más amplio angularmente o más pequeño. Cuanto más grande el agujero, más concatenados los anillos, cuanto más pequeño el agujero, más amplios estos anillos. Esto lo observamos con distintos tamaños de agujeros y viene dado por los términos de la ecuación 3.

El caso final será observar el punto central de máximo luminoso en la sombra del círculo iluminado por el láser. Esto es la Mancha de Poisson. Jugaremos con la distancia para que el área de sección luminosa del láser y el del círculo sean similares y se pueda observar con claridad. Sacaremos una fotografía buscando que se observe el punto central luminoso.

## 3. Discusión y Resultados

### 3.1. Rendija

Procederemos midiendo el tamaño entre mínimos, tal y como se muestra en la imagen.

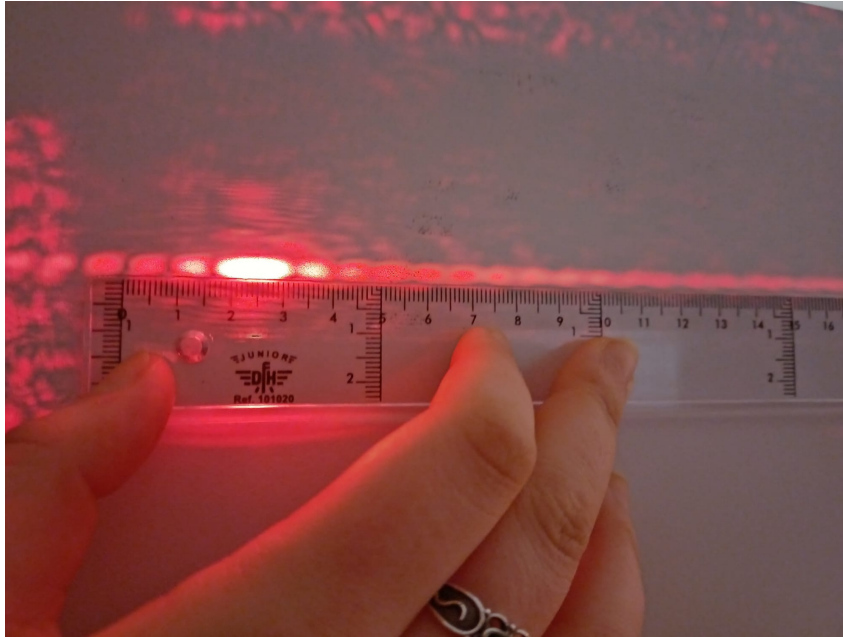


Figura 2: Fotografía del fenómeno observado.

Recordamos que hemos hecho dos sets de medidas, uno para  $D_1 = 194,8$  cm y otro para  $D_2 = 342,0$  cm.

La media de las medidas directas  $\Delta x$  que hemos tomado, nos revela directamente  $A$ , que, al operarla, llegaríamos a  $a$ . Los resultados directos serían:

$D_1 = 194,8$ cm		$D_2 = 342,0$ cm	
$A_1$ (m)	$a_1$ (m)	$A_2$ (m)	$a_2$ (m)
$(8,17 \pm 0,29) \cdot 10^{-3}$	$(1,51 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$	$(1,40 \pm 0,05) \cdot 10^{-2}$	$(1,55 \pm 0,06) \cdot 10^{-4}$

Cuadro 1: Datos Directos

La media del resultado sería:

$$a = (1,53 \pm 0,05) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Ahora procedemos al ajuste lineal para los datos en  $D_1$ :

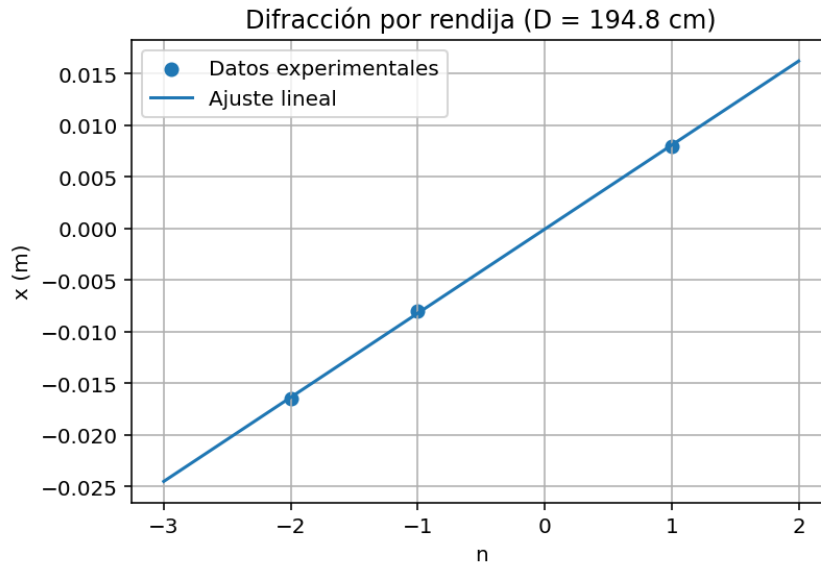


Figura 3: Ajuste lineal Rendija  $D_1 = 194,8$  cm

Este ajuste nos devuelve:

$$A_1 = (8,14 \pm 0,12) \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$B_1 = (-7,14 \pm 0,17) \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Lo cual nos lleva a que:

$$a = (1,51 \pm 0,02) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Hacemos el ajuste lineal para los datos en  $D_2$ :

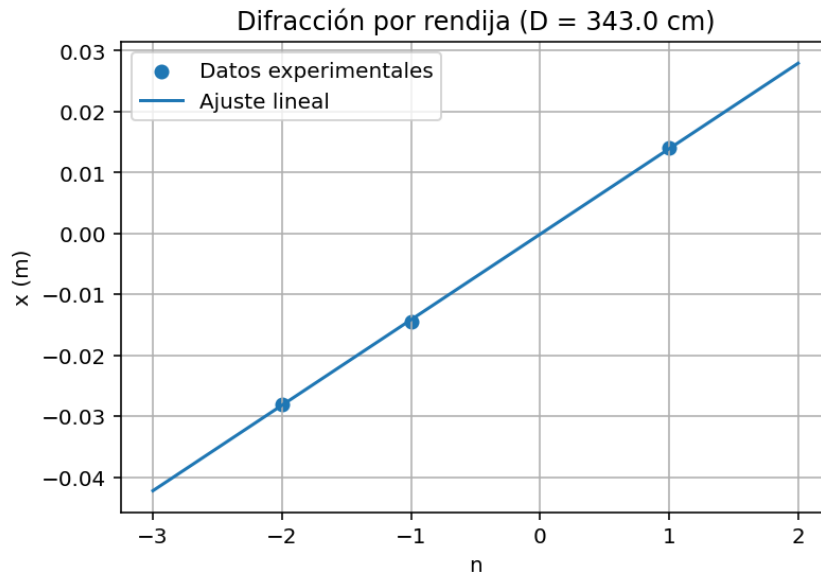


Figura 4: Ajuste lineal Rendija  $D_2 = 342,0$  cm

Este ajuste nos devuelve:

$$A_2 = (1,40 \pm 0,02) \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$B_2 = (-1,43 \pm 2,60) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Obtenemos:

$$a = (1,54 \pm 0,02) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

La media de los resultados obtenidos con el ajuste lineal son:

$$a = (1,53 \pm 0,02) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Y, combinando el resultado directo con el lineal, tenemos la media final:

$$a = (1,53 \pm 0,03) \cdot 10^{-4} \text{ m} \tag{5}$$

Comparamos en la siguiente tabla este resultado obtenido en la ecuación 5 con la obtenida de la media de tomas de  $a$  con el microscopio:

$a$ [ajustado] ( $10^{-4}$ m)	$a$ [microscopio] ( $10^{-4}$ m)
$1,53 \pm 0,03$	$1,72 \pm 0,01$

Cuadro 2: Resultados medidas rendija.

Se aprecia de forma directa que los datos, pese a ser similares, no acaban de cuadrar; comentaremos estas discrepancias junto a las de los resultados para la abertura rectangular en la sección final de conclusiones.

### 3.2. Abertura Rectangular

Esta sección es similar a la anterior, solo que al ser un caso bidimensional, la cantidad de datos y resultados será mayor. Comenzaremos obteniendo los resultados directos y ajustes tanto para la componente horizontal como para la vertical de nuestros datos a  $D_1 = 154,4$  cm y posteriormente repetiremos lo mismo para  $D_2 = 342,8$  cm. Finalmente, recopilaremos todos los datos en una tabla que nos servirá para apreciar y comentar aquello obtenido.

La distribución para este caso se muestra a continuación:

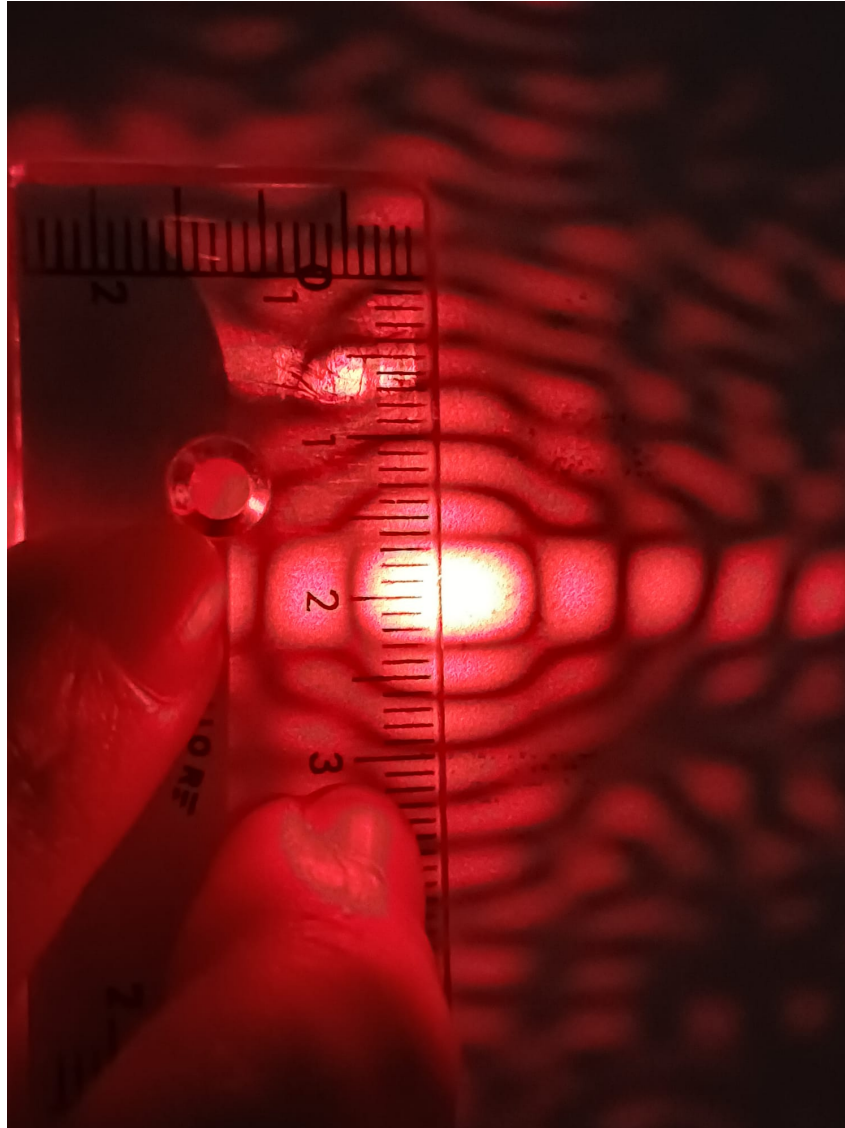


Figura 5: Fotografía del fenómeno observado.

Con las medidas de  $D_1$  empezamos, primero las medidas directas de la componente horizontal ( $A_1^H$ , relacionada con  $a_1$ ) y vertical ( $A_1^V$ , relacionada con  $b_1$ ).

$D_1 = 154,4 \text{ cm}$			
$A_1^H \text{ (m)}$	$a_1 \text{ (m)}$	$A_1^V \text{ (m)}$	$b_1 \text{ (m)}$
$(6,00 \pm 0,05) \cdot 10^{-3}$	$(1,63 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$	$(3,17 \pm 0,29) \cdot 10^{-2}$	$(3,09 \pm 0,28) \cdot 10^{-4}$

Cuadro 3: Datos Directos

El ajuste de la componente horizontal en esta longitud quedaría como:

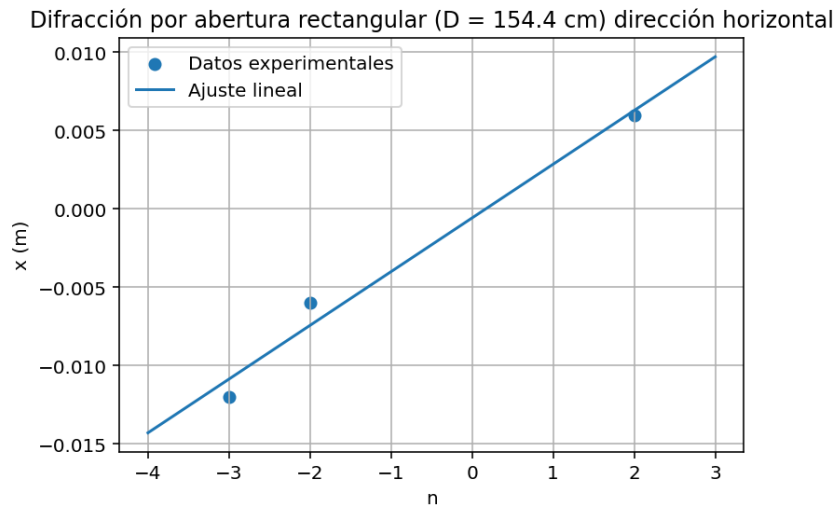


Figura 6: Ajuste lineal horizontal Abertura Rectangular  $D_1 = 154,4$  cm

Las constante que se obtienen así son:

$$A_1^H = (3,43 \pm 0,49) \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$B_1^H = (-5,71 \pm 0,12) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Conseguimos:

$$a = (2,85 \pm 0,41) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Hacemos ajuste de la componente vertical en la misma longitud y queda:

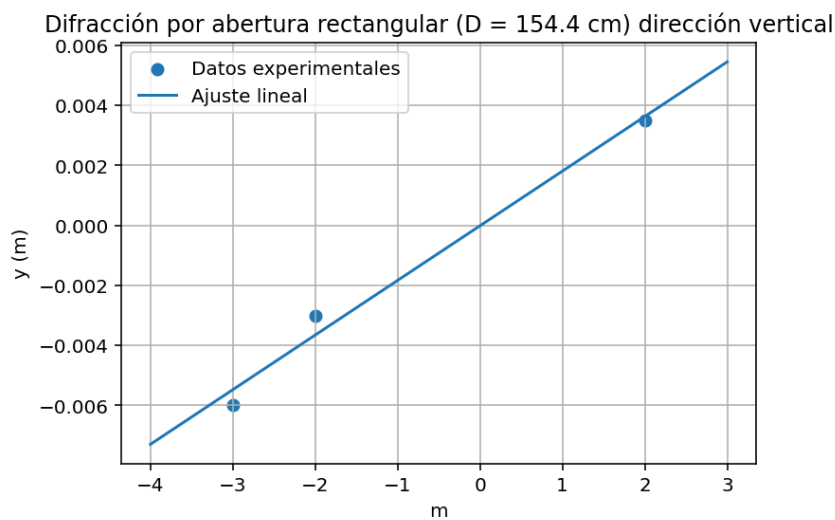


Figura 7: Ajuste lineal vertical Abertura Rectangular  $D_1 = 154,4$  cm

Las constante que se obtienen así son:

$$A_1^V = (1,82 \pm 0,23) \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$B_1^V = (-1,191 \pm 0,54) \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Conseguimos:

$$b = (5,36 \pm 0,67) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Procedemos haciendo lo mismo pero para nuestra segunda distancia de medidas,  $D_2$ . Primero las medidas directas.

$D_2 = 342,8 \text{ cm}$			
$A_1^H \text{ (m)}$	$a_1 \text{ (m)}$	$A_1^V \text{ (m)}$	$b_1 \text{ (m)}$
$(1,30 \pm 0,05) \cdot 10^{-2}$	$(1,67 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$	$(7,17 \pm 0,29) \cdot 10^{-3}$	$(3,03 \pm 0,12) \cdot 10^{-4}$

Cuadro 4: Datos Directos

El ajuste de la componente horizontal en esta longitud quedaría como:

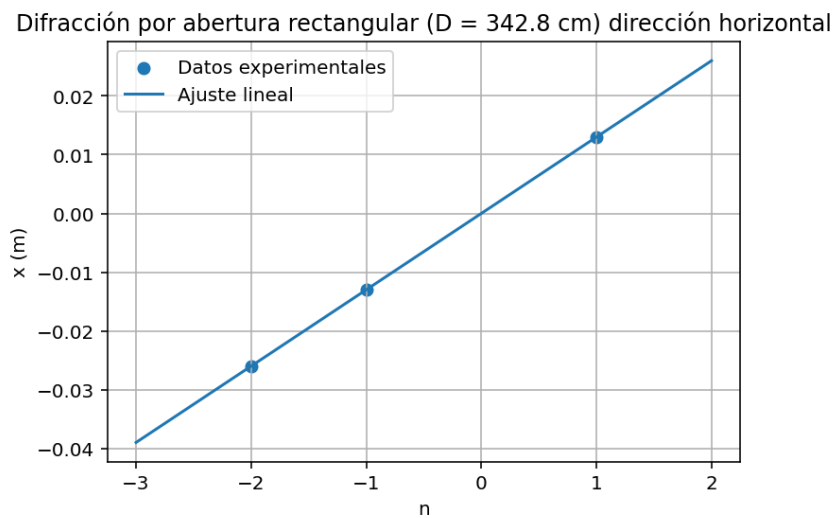


Figura 8: Ajuste lineal horizontal Abertura Rectangular  $D_2 = 342,8 \text{ cm}$

Las constantes que se obtienen así son:

$$A_2^H = (1,30 \pm 0,05) \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$B_2^H = (0,00 \pm 0,05) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Conseguimos:

$$a = (1,67 \pm 0,05) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Hacemos ajuste de la componente vertical en la misma longitud y nos queda:

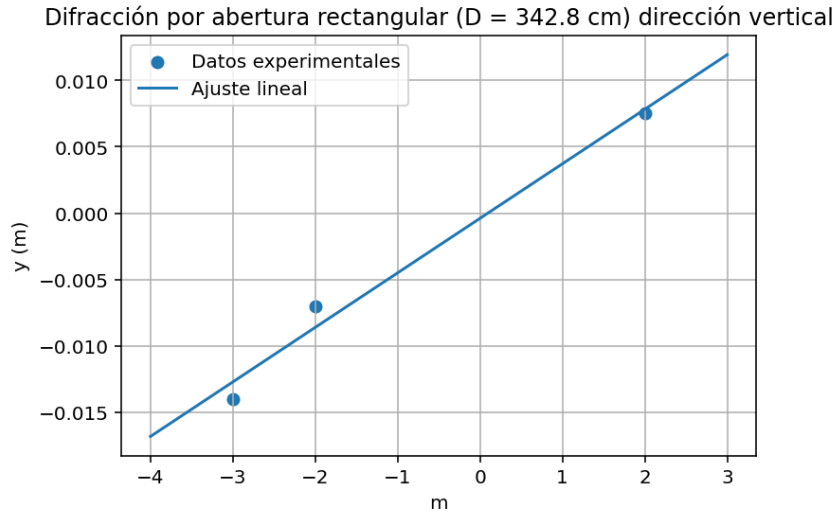


Figura 9: Ajuste lineal vertical Abertura Rectangular  $D_2 = 342,8$  cm

Las constante que se obtienen así son:

$$A_2^V = (4,11 \pm 0,56) \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$B_2^V = (-3,93 \pm 0,13) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Conseguimos:

$$b = (5,28 \pm 0,72) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Entonces hacemos la media de nuestros resultados y comparamos con la media de los resultados obtenidos por medición con el microscopio:

$a$ [ajustado] ( $10^{-4}$ m)	$a$ [microscopio] ( $10^{-4}$ m)
$1,95 \pm 0,10$	$2,13 \pm 0,06$

Cuadro 5: Resultados medidas abertura rectangular.

$b$ [ajustado] ( $10^{-4}$ m)	$b$ [microscopio] ( $10^{-4}$ m)
$4,19 \pm 0,45$	$2,23 \pm 0,06$

Cuadro 6: Resultados medidas abertura rectangular.

El resultado de la anchura parece razonable, pero el de la altura del rectángulo es absurdo, casi el doble. Hablaremos de ello más adelante.

### 3.3. Mancha de Airy

En este apartado se ha estudiado el patrón de difracción producido por aberturas circulares de muy pequeño tamaño, observándose la denominada mancha de Airy. Se debería obtener una estructura con simetría radial caracterizada por un máximo central intenso (disco de Airy) rodeado de anillos concéntricos de intensidad decreciente.

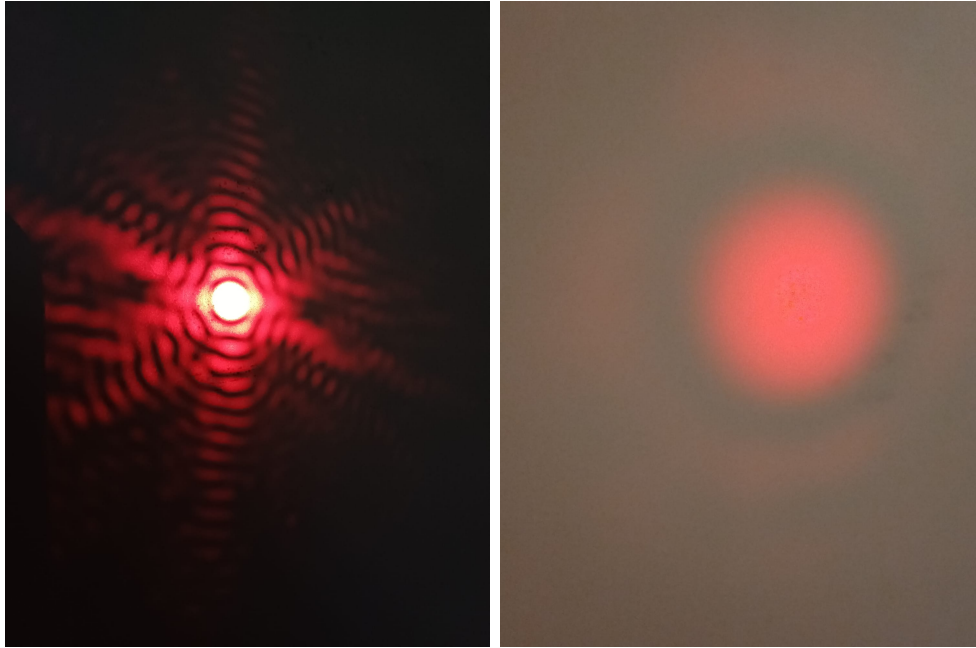


Figura 10: Mancha de Airy.

Sin embargo, como se aprecia en la imagen del fenómeno, esto no es así. No es así porque, como pudimos ver en el microscopio, la perforación no fue circular perfecta, sino una especie de mancha proto-rectangular; afectando evidentemente a la rotura de esta simetría.

El radio angular del primer mínimo de intensidad viene dado por la expresión 3. Esta relación muestra que el tamaño del disco de Airy es inversamente proporcional al diámetro del orificio. Esto se observa experimentalmente ya que, al disminuir el tamaño de la abertura el patrón de difracción se ensancha, aumentando el tamaño del disco central y la separación entre anillos. Y al revés, aberturas de mayor tamaño producen patrones más concentrados.

### 3.4. Mancha de Poisson

En este apartado se ha observado la denominada mancha de Poisson, que consiste en la aparición de un punto brillante en el centro de la sombra proyectada por un obstáculo circular opaco. A pesar de que, desde un punto de vista de la óptica geométrica, dicha región debería permanecer completamente oscura, experimentalmente se detecta una intensidad no nula en el centro de la sombra, lo cual sirve para mostrar la naturaleza ondulatoria de la luz.

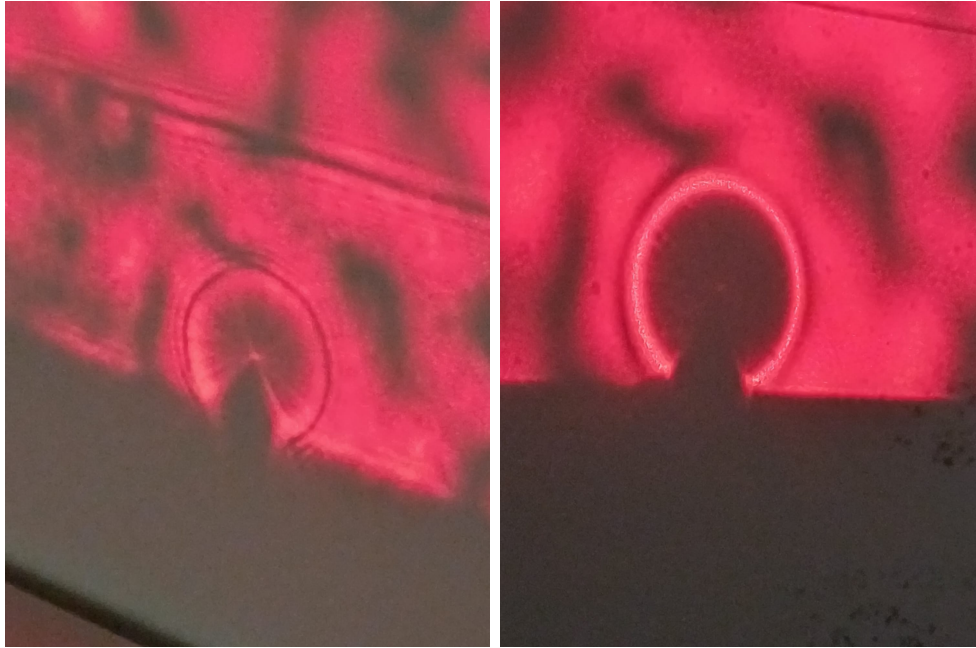


Figura 11: Mancha de Poisson.

Este fenómeno se explica mediante la teoría ondulatoria de la luz. Según el principio de Huygens-Fresnel, todos los puntos del frente de onda que rodean el obstáculo actúan como fuentes secundarias que emiten ondas esféricas. En el punto central de la sombra, las contribuciones de todas estas ondas llegan con la misma fase, produciendo interferencia constructiva y dando lugar a un máximo de intensidad.

En este apartado, se ha comprobado la presencia de este punto brillante en el centro de la sombra, observándose además una distribución aproximadamente simétrica alrededor del mismo. La calidad de la mancha observada depende de factores como la alineación del sistema, la homogeneidad del haz incidente y nuestra propia precisión.

## 4. Conclusiones

En esta práctica se ha estudiado el fenómeno de la difracción de Fraunhofer como manifestación de la naturaleza ondulatoria de la luz, empleándolo tanto para la determinación de dimensiones características de aperturas como para la observación de patrones de difracción de la luz.

En el caso de la rendija, los resultados obtenidos mediante el análisis del patrón de difracción permiten estimar su anchura con un valor del orden de  $10^{-4}$  m. La concordancia entre los valores obtenidos por medida directa y por ajuste lineal es notable, lo que indica una buena consistencia interna del método experimental. Sin embargo, al comparar con la medida obtenida mediante microscopio, se observa una discrepancia apreciable, aunque del mismo orden de magnitud.

Para la abertura rectangular, el comportamiento es más irregular. Mientras que la estimación de la anchura presenta resultados razonables y comparables con los obtenidos mediante el microscopio, la determinación de la altura muestra una desviación significativa,

llegando a valores claramente incompatibles. Esto sugiere una mayor sensibilidad del método a errores experimentales en este caso, especialmente en la identificación y medición de los mínimos en la dirección vertical.

Estas discrepancias pueden explicarse por diversas fuentes de error. En primer lugar, el modelo teórico empleado se basa en varias aproximaciones, como la condición de ángulo pequeño ( $\sin \theta \approx \frac{x}{D}$ ) y el régimen ideal de Fraunhofer, que en la práctica solo se cumple de forma aproximada debido a las distancias finitas del montaje. Además, la determinación experimental de los mínimos presenta una incertidumbre en sí misma, ya que no se trata de puntos perfectamente definidos sino de regiones oscuras cuya localización exacta depende de nuestra propia decisión y ojo de observador.

Por otro lado, el uso de diferencias entre mínimos ( $\Delta x$ ) en lugar de posiciones absolutas introduce correlaciones entre los datos que pueden afectar a la precisión de los ajustes realizados. A esto se suma el hecho de que el número de mínimos claramente identificables es muy pequeño (tres en cada set de medidas, pues eran los únicos bien apreciables), lo que limita la calidad de los ajustes lineales, en nuestros casos basados únicamente en tres puntos.

También deben considerarse errores asociados al montaje experimental, como posibles desalineaciones del haz láser, desviaciones respecto a la incidencia perpendicular sobre la placa o imprecisiones en la medida de la distancia entre la placa y la pantalla. Todos estos factores contribuyen a la acumulación de errores que explican las diferencias observadas entre los valores experimentales y los medidos directamente con el microscopio.

En cuanto a los fenómenos cualitativos, se ha podido observar la mancha de Poisson, verificando experimentalmente la existencia de un máximo de intensidad en el centro de la sombra de un obstáculo circular, en concordancia con la teoría ondulatoria. Por otro lado, la observación de la mancha de Airy se ha visto limitada por la falta de idealidad de las perforaciones en la placa de aluminio empleadas, lo que ha no nos ha dejado obtener un patrón con simetría radial perfecta, aún así, similar.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman la validez del modelo ondulatorio de la luz y muestran cómo la difracción constituye una herramienta útil para la determinación de dimensiones microscópicas, aunque hemos comprobado que su aplicación experimental requiere de un cuidado y precisión considerables en las condiciones experimentales y de las fuentes de error asociadas.