



---

# Física Experimental 2

## - Óptica -

### Interferencia Difracción de la Luz

Integrantes:

- Gulnara Nocetti
- Pedro Escudero

## 1. Introducción

### 1.1. Objetivos

Estudiar el fenómeno de difracción de la luz, a través del cual luego se observarán los patrones que se generan con un objeto opaco y una red de difracción. Se buscará determinar el espesor de un cabello y la longitud de onda de un láser de baja potencia, aplicando la teoría electromagnética.

### 1.2. Conceptos importantes

#### 1.2.1. Difracción

La difracción es el fenómeno en el cual la luz desvía su trayectoria rectilínea al impactar con rendijas u objetos de tamaño comparable con su longitud de onda, esto resulta en la curvatura y dispersión de las ondas alrededor de esos obstáculos, generando patrones de interferencia.

#### 1.2.2. Principio de Huygens-Fresnel

El principio de Huygens <sup>Fresnel</sup> <sup>esféricas</sup> establece que cada punto en un frente de onda actúa como una fuente puntual de ondas secundarias que se propagan en todas las direcciones, este principio proporciona una forma de comprender la propagación y el comportamiento de las ondas en diferentes situaciones.

#### 1.2.3. Difracción de Fraunhofer

Cuando la distancia entre un objeto que difracta la luz y el punto de observación (pantalla) de la misma es grande, el patrón que se genera en la pantalla debido a la interferencia del frente de onda con el objeto nos da información de dicho objeto, este es el modelo de Fraunhofer. Por otro lado, cuando la distancia mencionada es pequeña, la imagen que se proyecta en la pantalla es similar a la forma geométrica del objeto que difracta.

#### 1.2.4. Difracción por una rendija simple

En la práctica se tomará una distancia entre el objeto que difracta la luz y la pantalla de tal manera que no encontremos bajo las hipótesis de la difracción de Fraunhofer. Además, la fuente de luz es monocromática (de color único) y con luz colimada (rayos de luz paralelos entre sí).

Teniendo en cuenta esto, se toman los puntos de apertura como emisores de onda puntuales, observando que las ondas emitidas de estos puntos, al ser la distancia hacia la pantalla muy grande, se parecen a la apertura de los ángulos de cada fuente puntual ( $\alpha \approx \beta$ ). Aproximando entonces los ángulos, se obtienen fórmulas de diferencia de fase con cada onda, y junto a una expresión de intensidad de la luz (valor medio del cuadrado del campo eléctrico de la onda), se obtiene una expresión de la intensidad:

$$I(\theta) = I_0 \text{sinc}^2 \left( \frac{a \pi \sin(\theta)}{\lambda} \right) \quad (1)$$

Donde  $I_0$  es la intensidad de la onda que llega,  $\theta$  el ángulo la horizontal y el camino óptico (medidos desde  $a$ ), vistos en la Figura 1.

¿Qué es  $a$ ?

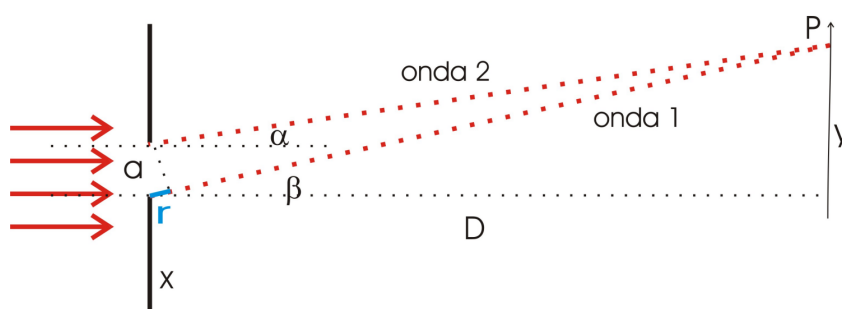


Figura 1: Difracción por Rendija Simple

Finalmente, los mínimos de intensidad ( $m$ ) se dan en los puntos que cumplen:

$$m\lambda = a \sin(\theta) \quad (2)$$

En particular con las consideraciones de la practica (en este caso, que la distancia a la pantalla es grande respecto a la rendija  $a$ ), podemos aproximar  $\sin(\theta) \approx \text{tg}(\theta)$  pues  $\theta \approx 0$ , obteniendo:

$$Y = \frac{m\lambda D}{a} \quad (3)$$

Sabiendo entonces, que mínimo se mide, la distancia a la pantalla y la distancia hacia el mínimo, se puede despejar la longitud de onda según el ancho de la rendija o viceversa.

Si en lugar de una rendija de ancho  $a$ , tenemos un objeto opaco del mismo ancho, el patrón de difracción es el mismo y la distancia entre los mínimos se obtiene de la misma manera.

### 1.2.5. Difracción por una red

Una red de difracción se compone de aperturas u obstáculos uniformemente distribuidos, los cuales pueden estar dispuestos en forma horizontal, vertical o en una cuadrícula equidistante. En términos generales, se identifican por la cantidad de aperturas u obstáculos por milímetro, y tienen la capacidad de difractar en una o múltiples direcciones.

El patrón de luz que se trasmite se distingue por la magnitud de la difracción originada por una sola abertura, así como la magnitud resultante de la interferencia de  $N$  aberturas distanciadas a lo largo de una separación  $a$ . Esta interferencia posibilita la observación de  $m$  órdenes de ondas que emergen de la red.

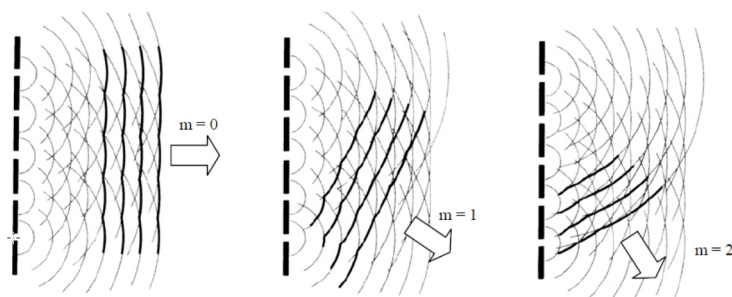


Figura 2: Frentes de Onda siendo Difractados por una Red

citar las figuras en el texto

Se puede demostrar que la intensidad de la luz queda determinada por la expresión 4:

$$I(\theta) = \frac{I_0}{N^2} \left( \frac{\sin(\beta)}{\beta} \right)^2 \left( \frac{\sin(N\alpha)}{\alpha} \right)^2 \quad (4)$$

Siendo  $N$  el número de rendijas simples,  $\beta$  la diferencia de fase de ondas difractadas por una rendija simple y  $\alpha$  es la diferencia de fase de ondas difractadas por las  $N$  rendijas. De la expresión, resulta en un patrón de interferencia en el cual se presentan máximos de franjas brillantes. Dichos máximos cumplen:

$$m\lambda = a \sin(\theta) \quad (5)$$

Es análogo a lo visto en la ecuación 2, recordando que  $a$  es la distancia entre cada rendija. Se destaca que, nuevamente, es posible aproximar el seno, obteniendo una expresión idéntica a lo visto en 3, pero en este caso  $Y$  corresponde a los máximos de intensidad.

## 2. Metodología implementada

Para la realización de esta experiencia se emplearon diversos materiales y herramientas. Se utilizó un láser monocromático de baja potencia ( $< 5mW$ ) con una longitud de onda  $\lambda_{ref} = (532 \pm 10) nm$  como fuente de luz. Además, se incorporó una red de difracción bidimensional con una densidad de 5000 líneas por pulgada para el análisis de patrones de difracción. Para sostener y posicionar los componentes, se emplearon soportes y cinta de papel. Para medir las distancias se utilizó una cinta métrica, una regla de metal y una hoja milimetrada. El software LoggerPro junto con una PC se implementaron para el registro y análisis de datos obtenidos en el experimento.

Los objetos para colocar sobre las plataformas deslizables han de quedar correctamente fijados para evitar errores de medición, y se asumirá como nulas las vibraciones adyacentes que puedan alterar la posición de los objetos relativos a la práctica.

Una vez ubicado todo correctamente, se coloca el objeto difractor a una distancia  $D$  de la pared y el haz de luz del láser dirigido hacia el difractor, procurando que el ángulo que se forma entre el máximo central y el medido sea siempre menor a  $10^\circ$  para cumplir con la hipótesis de aproximar el  $\sin(\theta)$ .

### 2.1. Red de Difracción

Para la primera parte se utilizó una red de difracción como objeto difractor como se muestra en la Figura 3 con el fin de obtener un valor experimental para la longitud de onda  $\lambda$  del puntero láser.

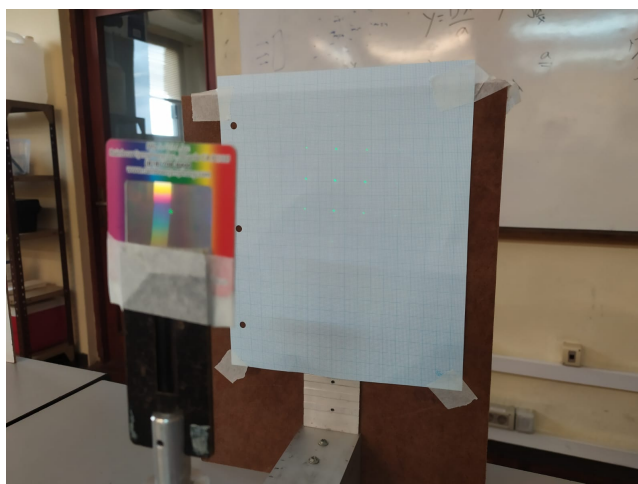


Figura 3: Dispositivo experimental: Red de difracción apuntada por el láser

Se tomaron medidas de  $L$  (distancia entre los máximos de orden 1 y el máximo central) variando  $D$  (distancia entre la red de difracción y la pared). En cada caso se midió  $D$  con la regla en  $cm$  y se hizo un promedio de las medidas de  $L$  para obtener  $Y$ . Se repite este procedimiento obteniendo un total de 10 medidas  $Y(D)$ .

## 2.2. Difracción por un objeto opaco

Como puede apreciarse en la figura 4, para este experimento se utilizó un set-up similar, con el objetivo de medir el ancho de un pelo. Fue reemplazada la red de difracción utilizada en el experimento anterior por un cabello humano colocado tenso en un soporte de tal manera que se interponga entre el láser y la pantalla difractando las ondas de la luz. Se buscó una distancia óptima entre el láser y el pelo para que la nitidez de los máximos y mínimos del haz de luz refractados en la pantalla se observen con claridad y así facilitar las medidas. Se repite la metodología utilizada previamente y a partir de la ecuación 3 se despeja el ancho requerido, con la diferencia que al ser el objeto difractor se miden las distancias entre los mínimos proyectados en la pantalla. Se tomaron un total de 10 medidas, las cuales se consideraron suficientes y adecuadas tomando como criterio que estas eran las que se observaron con mayor nitidez para no perder precisión.

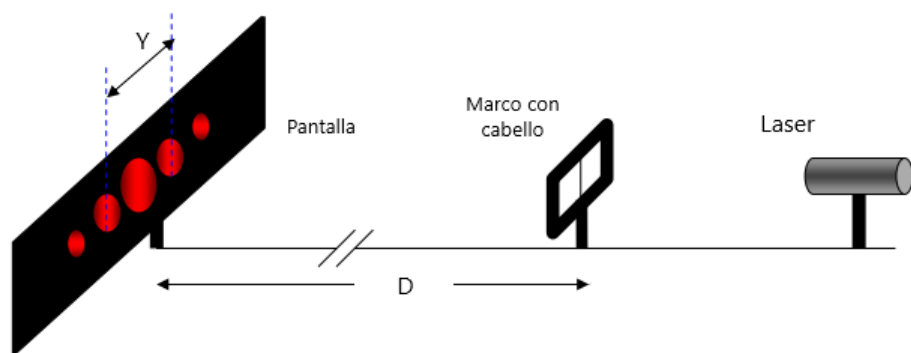


Figura 4: Dispositivo experimental: Difracción por un objeto opaco

### 3. Análisis de datos

#### 3.1. Red de difracción

A partir de los datos experimentales se obtuvo la gráfica presentada en la figura 5, donde los puntos corresponden a los valores para  $Y$  con  $m = 1$  en función de  $D$ .

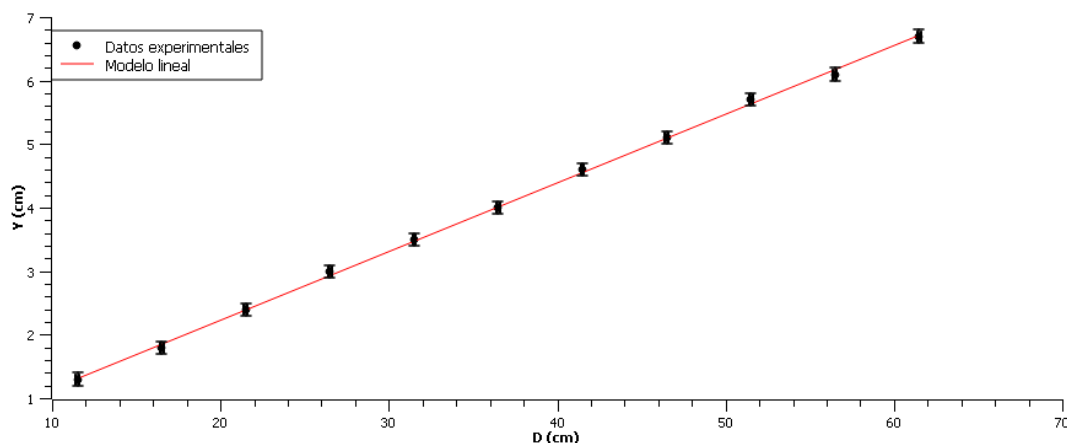


Figura 5: Distancia entre máximos ( $Y$ ) según la distancia entre la pantalla y el objeto difractor ( $D$ )

##### 3.1.1. Cálculo de $\lambda$ con su incertidumbre

Como estamos en la difracción de Fraunhofer, realizando varias medidas y utilizando la ecuación 3 se puede obtener mediante el método de mínimos cuadrados el valor que buscamos y calcular su incertidumbre. Se tiene entonces que:

$$y = Ax + B \text{ donde:}$$

$$y = Y; y = Y; A = \frac{m\lambda}{a}; x = D$$

Con  $m = 1$  y  $a = 508 \times 10^{-6} \text{ cm}$ . Por lo tanto el valor experimental para la longitud de onda del láser quedaría determinado por:

$$\lambda = A \times a \pm \delta\lambda \quad (6)$$

y su incertidumbre se calcula como  $\delta\lambda = \delta A \times a$ . Observar que el valor de  $a$  se obtiene a partir de la cantidad de líneas por  $\text{cm}$  indicada en la red de difracción, por lo tanto no tiene incertidumbre.

Del ajuste lineal se tiene que el valor de la pendiente es  $A = 0,108 \pm 0,002$  con un coeficiente de correlación lineal  $R^2 = 0,9994$ . Con estos datos somos capaces de hallar el valor experimental de la longitud de onda  $\lambda$  del puntero láser utilizado, a partir de la ecuación 6. Se tiene entonces que  $\lambda = (548,6 \pm 0,1) \text{ nm}$ .

Podemos calcular el error relativo  $\varepsilon_r$  entre el valor experimental  $\lambda$  y el valor de referencia  $\lambda_{ref}$  para compararlos cuantitativamente. Se obtuvo que  $\varepsilon_r = 3 \times 10^{-2}$ , dado el orden del mismo, se considera que el valor experimental es una buena aproximación del valor real.

### 3.2. Difracción por un objeto opaco

Como pueden ser observados en la Figura 6, fueron obtenidos en este experimento 10 datos correspondientes a distancias entre mínimos de intensidad, de los cuales se obtiene el valor de la pendiente  $A = 0,3527 \pm 0,0044$  con un buen ajuste de los valores al modelo teórico, lo cual nos brinda el coeficiente de correlación  $R^2 = 0,9985$

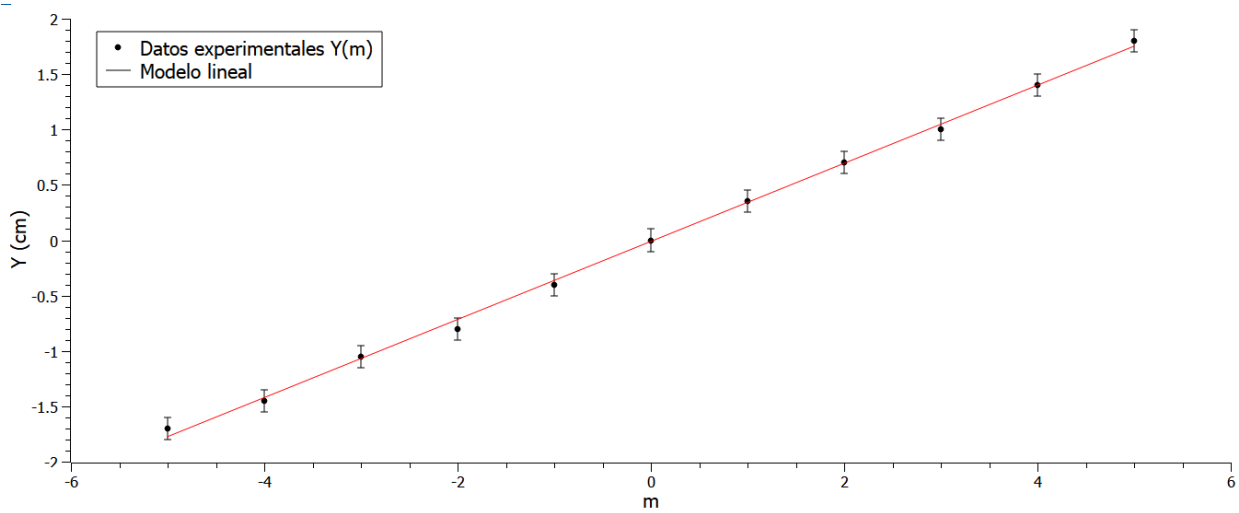


Figura 6: Distancia entre mínimos ( $Y$ ) según su orden ( $m$ )

#### 3.2.1. Cálculo del espesor del cabello con su incertidumbre

A partir de la ecuación 2, considerando la distancia  $D$  entre el el objeto mucho mayor a  $a$  y asumiendo  $\theta$  pequeño, se deduce que la pendiente hallada anteriormente es  $A = \frac{D\lambda_{ref}}{a}$ , con lo que conociendo el valor de la longitud de onda podemos despejar el ancho deseado.

$$a = \frac{\lambda_{ref} D}{A} \pm \delta_a \quad (7)$$

Para hallar la incertidumbre  $\delta_a$  utilizamos propagación de incertidumbres:

$$\delta_a = \sqrt{\left(\frac{\lambda_{ref}}{A}\right)^2 \delta_D^2 + \left(\frac{D}{A}\right)^2 \delta_{\lambda_{ref}}^2 + \left(\frac{-D\lambda_{ref}}{A^2}\right)^2 \delta_A^2} \quad (8)$$

Donde:  $A = 0,3527$ ;  $\delta_A = 0,0044$ ;  $D = 11,5cm$ ;  $\delta_D = 0,1cm$ .

Por lo tanto el valor final de  $a$  es:

$$a = (17,34618 \pm 0,0041)\mu m$$

Este valor obtenido se encuentra entre los limites esperados, ya que el diámetro de un cabello humano varía entre 15 (muy fino) y 170 (extremadamente grueso) micrómetros.



---

## 4. Conclusiones

A través de los aspectos abordados durante el laboratorio, logramos investigar el fenómeno de la difracción en profundidad. Este estudio se llevó a cabo considerando suposiciones fundamentales acerca de las áreas donde se puede observar este fenómeno que fue el foco de nuestro análisis, basándonos en los resultados obtenidos podemos afirmar que las hipótesis fueron eficientes ya que llegamos a resultados acordes con los valores de referencia esperados.

En cuanto al experimento para hallar el valor de la longitud de onda del láser, deducimos calculando el error relativo con el valor real  $\lambda_{ref}$  indicado en las escrituras, que el resultado es confiable. El error puede ser debido tanto a las incertidumbre de los instrumentos de medida como a la dificultad para visualizar de manera exacta los puntos de interés, además de haber utilizado aproximaciones para realizar los cálculos.

En el caso del experimento para hallar el espesor del cabello, dados los puntos obtenidos experimentalmente se logro observar la relación lineal de los parámetros involucrados, evidenciando el comportamiento teórico que deberían seguir de acuerdo a la ecuación 3. También se observó que la dificultad para visualizar los puntos de interés fue mayor en el caso de la red, sobre todo a medida que nos alejamos del máximo central, dado que la intensidad de luz disminuye. No contamos con un valor de referencia para comparar con el valor experimental hallado pero observando su magnitud podemos decir que es coherente.





---

## 5. Anexo

### 1. Tabla de datos de difracción con Red de Difracción:

$Y(cm)$	$D(cm)$
$1,3 \pm 0,1$	$11,5 \pm 0,1$
$1,8 \pm 0,1$	$16,5 \pm 0,1$
$2,4 \pm 0,1$	$21,5 \pm 0,1$
$3 \pm 0,1$	$26,5 \pm 0,1$
$3,5 \pm 0,1$	$31,5 \pm 0,1$
$4 \pm 0,1$	$36,5 \pm 0,1$
$4,6 \pm 0,1$	$41,5 \pm 0,1$
$5,1 \pm 0,1$	$46,5 \pm 0,1$
$5,7 \pm 0,1$	$51,5 \pm 0,1$
$6,1 \pm 0,1$	$56,5 \pm 0,1$
$6,7 \pm 0,1$	$61,5 \pm 0,1$

### 2. Tabla de datos de difracción por un cabello:

$Y(cm)$	$m$
$-1,7 \pm 0,05$	-5
$-1,45 \pm 0,05$	-4
$-1,05 \pm 0,05$	-3
$-0,8 \pm 0,05$	-2
$-0,4 \pm 0,05$	-1
$0,35 \pm 0,05$	1
$0,7 \pm 0,05$	2
$1 \pm 0,05$	3
$1,4 \pm 0,05$	4
$1,8 \pm 0,05$	5



---

## 6. Referencias:

- Física Experimental 2 Práctica 2: Óptica (interferencia y difracción de la luz)
- Wikipedia - Pelo <https://es.wikipedia.org/wiki/Pelo>