

# Estudio experimental de espectros apoyado del software Tracker para su correspondiente análisis

EDUCATIO PHYSICORVM



ISSN 1870-9095

Gladys Patricia Abdel Rahim Garzón<sup>1,2</sup>, Pablo Emilio Garzón Carreño<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas 1, Calle 68D Bis A Sur # 49F - 70 Bloque 6, piso 1 - Tecnológica, Bogotá, D. C.

E-mail: garahimg@udistrital.edu.co

(Recibido el 14 de diciembre de 2024, aceptado el 25 de febrero de 2025)

## Resumen

El objetivo de esta investigación es implementar un método novedoso para estudiar la interferencia y difracción de la luz donde permita encontrar las distancias del máximo central a los mínimos secundarios del patrón de difracción utilizando herramientas tecnológicas como Tracker. Se utilizó un láser de longitud de onda de  $\sim 632,8$  nm y un sistema de varias rendijas. Se usó una cámara de un celular para realizar la captura del patrón de difracción. Con el software Tracker se obtuvieron las tablas y gráficas para realizar el estudio. Se calculó la longitud de onda del rayo láser. Además, se determinó la relación entre el desplazamiento del máximo central y los máximos secundarios. También se analizó la relación entre el ángulo de dispersión y el orden del patrón de difracción. Los errores en la medición de la longitud de onda con cada una de las rendijas no supera el  $\sim 3\%$ .

**Palabras clave:** Difracción, interferencia, láser, Tracker, Ley de Bragg.

## Abstract

The aim of this research is to implement a novel method to study the interference and diffraction of light where it allows to find the distances from the central maximum to the secondary minima of the diffraction pattern using technological tools such as Tracker. A  $\sim 632,8$  nm wavelength laser and a multiple slit system were used. A camera of a cell phone is used to perform the diffraction pattern capture. With the Tracker software the tables and graphs were obtained to carry out the study. The wavelength of the laser beam is calculated. In addition, the relationship between the shift of the central maximum and the secondary maxima was determined. The relationship between the scattering angle and the order of the diffraction pattern was also analyzed. The errors in wavelength measurement with each of the slits do not exceed  $\sim 3\%$ .

**Keywords:** Diffraction, interference, laser, Tracker, Ley de Bragg.

## I. INTRODUCCIÓN

Varios autores que han realizado estudios sobre las dificultades de los procesos de enseñanza - aprendizaje sobre el comportamiento ondulatorio sobre ondas y partículas [1]. Varios autores hacen propuestas de cómo abordar y mostrar la importancia de los cursos de óptica, ondas y física moderna a todo nivel académico [2, 3].

El programa de Ingeniería Eléctrica de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, implica un profundo conocimiento tanto de los conceptos de ondas como de física moderna temarios que se aplican a posteriores cursos del ámbito profesional.

Una de las grandes dificultades de los estudiantes de *Tecnología en electricidad de media y baja tensión (por ciclos propedéuticos)* de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, que ve la materia de *Física III: ondas y física moderna* [4]. Donde se ve estos dos cursos en un semestre académico, mientras que en otras universidades se ve en dos semestres académicos.

Cabe destacar que la Universidad Distrital tiene muy buenos equipos de ondas y de física moderna que se utilizan

poco, debido a la falta de tiempo (paros o permisos académicos) [5].

Por lo anterior es importante implementar varias actividades novedosas que proporcionen la facilidad de los procesos académicos y de acuerdo a varios autores es utilizando las herramientas TIC para la toma de datos con una exactitud mayor [6, 7, 8, 9]. Para la adquisición de los datos experimentales se utilizó el software Tracker.

En este estudio se comparó los distintos patrones de difracción al momento de empezar a aumentar el ancho de la rendija se observó cómo se difractaba la luz y los puntos brillantes disminuían su ancho acercándose al punto de máxima intensidad hasta convertirse un punto brillante. Se obtuvo la relación entre el ancho de la rendija y el ángulo de dispersión y además se observó que al medir la longitud de onda del láser utilizado se determinó que usando herramientas computacionales como Tracker, los errores en los cálculos son mucho menor que los calculados cuando se utiliza la vista (a ojo) para hallar distancias entre puntos de máxima intensidad y determinar la longitud de onda del láser donde llegan hasta errores hasta el  $\sim 80\%$  [7, 8], mientras que usando Tracker para hallar el mismo valor se obtuvo errores hasta el  $\sim 3,13\%$ .

## II. INSTRUCCIONES PARA EL USAR EL SOFTWARE TRACKER

Tracker es un paquete construido sobre una plataforma Java *Open Source Physics (OSP)*. Incluye, múltiples cuadros de referencia, puntos de calibración, líneas de perfil para el análisis del espectro y patrones de interferencia.

La Fig. 1 muestra el archivo inicial donde permite importar la imagen siguiendo la siguiente ruta: “menú/archivo/abrir/escritorio/ y se busca el archivo en .jpg”.

La Fig. 2 muestra la imagen importada que se va estudiar.

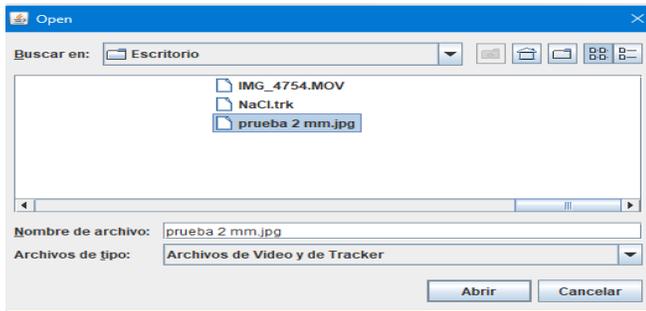


FIGURA 1. Comando para importar a imagen.

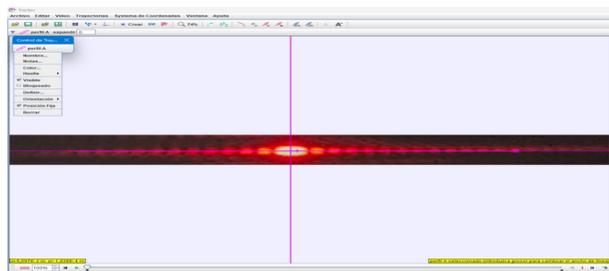


FIGURA 2. Comando importar imagen y plano cartesiano.

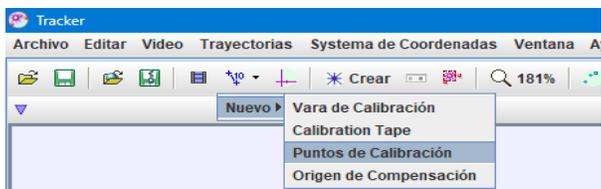


FIGURA 3. Comando "Puntos de Calibración".

La Fig. 2 se observa la imagen cargada donde se coloca el plano cartesiano ( $x, y$ ) ubicándose el centro de la luz más brillante en el punto  $(0,0)$ . La Fig. 3 se muestra el comando

"Puntos de Calibración" haciendo "clics" en  y finalmente "Nuevo/Puntos de Calibración".



FIGURA 4. Selección de los puntos de calibración  $x_1$  y  $x_2$ .

La Fig. 4 indica los "Puntos de calibración/Ejes/Solo X/paso 0:  $x_1$ (m) y  $x_2$ (m)" y se escribe los valores de los puntos de calibración previamente calculados. Cabe notar que un punto de calibración es un cuadro rojo pequeño que se abre cuando con el cursor del mouse y la tecla "shift" se aprestan y se da un "clic". De acuerdo al presente trabajo, este cuadro rojo se coloca al lado izquierdo del punto de mayor intensidad y el otro punto se coloca al lado derecho de este punto dando nuevamente un "clic". Ambos puntos se ubican sobre el eje  $x$  del plano cartesiano.

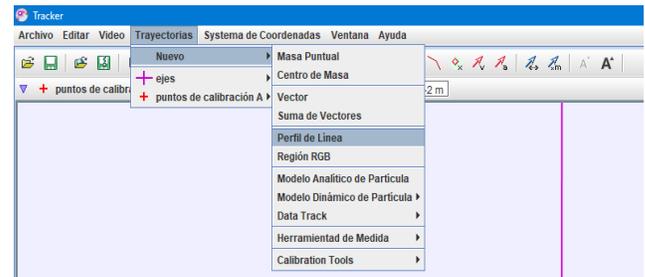


FIGURA 5. Comando "Perfil de Línea".

En la Fig.5 se muestra el comando "Perfil de línea" y se arrastra el mouse ("shift"- "arrastrar") apareciendo una línea que abarca toda la imagen capturada. La Fig. 6 observa la imagen ya calibrada, la gráfica y la tabla de datos respectivos.

Finalmente, en la Fig. 6 se observa la gráfica ( $I$  vs.  $x$ ) que puede ser aumentada al dar en el botón derecho del mouse dos "clics".

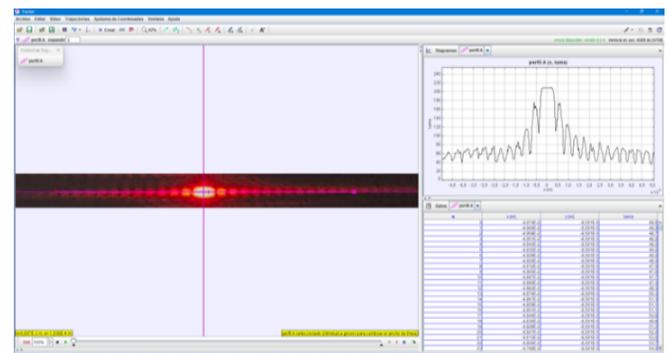


FIGURA 6. Imagen calibrada lista para analizarla.

## III. INSTRUCCIONES PARA EL USAR EL SOFTWARE TRACKER

### A. Materiales y Montaje

La Fig. 7 muestra el montaje experimental que consta de un láser de 632,8 nm, una rendija de ancho variable entre  $0 \leq d \leq 1,6$  mm, una pantalla de color blanco (tablero) y una regla o flexómetro (Fig. 8). La distancia entre el láser y la pantalla es de 1,54 m y la distancia entre la rejilla y la pantalla es de  $L = 1,25$  m.

Lo más importante en el montaje es percatarse que el haz de luz pase a través de la rendija.

### B. Patrones de difracción de una rendija

La Fig. 9 muestra varias imágenes correspondientes a los patrones de difracción. Pero en este trabajo solo se calculó la longitud de onda del láser con la rendija de 0,2 mm y 0,4 mm. En esta misma imagen se puede observar que al aumentar el ancho de la rendija el punto central de máxima intensidad disminuye hasta llegar a aquel punto en el que el patrón se pierde y la relación entre el ancho de la rendija y la longitud de onda se hace mayor. Por lo tanto, se puede decir que el ancho del punto más brillante y el siguiente punto va disminuyendo conforme aumenta el ancho de la rendija.

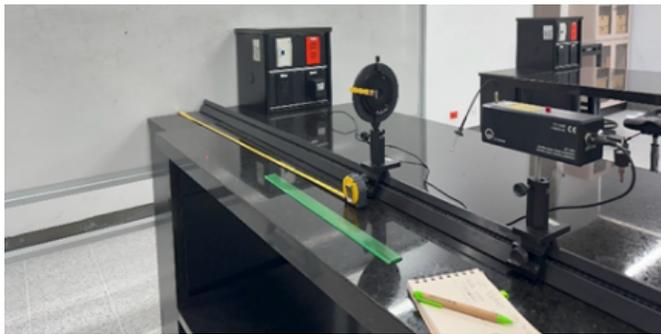


FIGURA 7. Montaje experimental.



FIGURA 8. Rendija de ancho variable.

$d$  (ancho de la rendija)

Patrones de difracción

$\leq 0,1$  mm

$=0,1$  mm

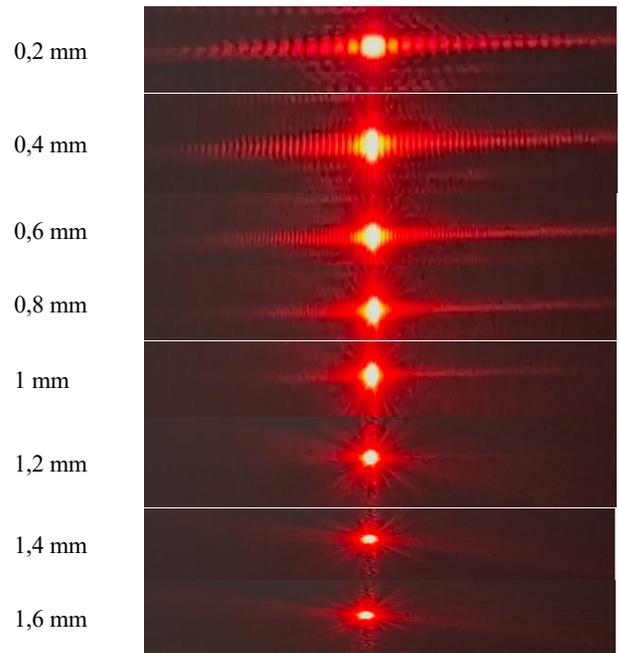


FIGURA 9. Difracción de diferentes anchos de rendija.

### C. Cálculo de la longitud de onda del ancho de una rendija de 0,2 mm

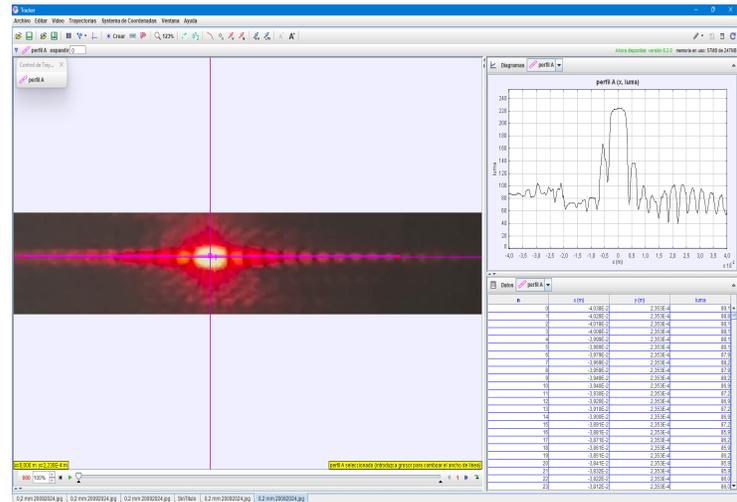
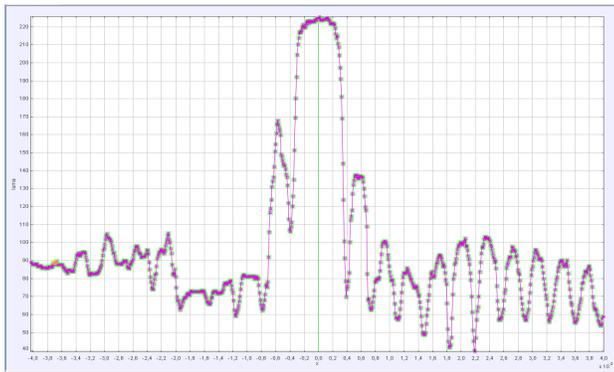


FIGURA 10. Análisis realizado por Tracker para la rendija de 0,2 mm de ancho, analizado con Tracker.

La Fig. 10 muestra la gráfica donde en el eje y es "luma" o "brillo percibido" en función de la posición (eje x).

Para realizar la gráfica de la Fig. 11 se debe calcular los "Puntos de Calibración" que corresponde a la distancia que va desde el máximo central ( $n = 0$ ) hasta el máximo secundario ( $n = 1$ ) que se nombrará como "desplazamiento".



**FIGURA 11.** Gráfico proporcionado por el software “Tracker” tras señalar la línea de la imagen que se quiere analizar.

De acuerdo a la teoría la difracción de Fraunhofer o también difracción del campo lejano se tiene que para cuando  $\theta < 1$ . Donde  $sen\theta \approx tan\theta$ , así:

$$n\lambda = d\text{sen}\theta, \tag{1}$$

es lo mismo que

$$n\lambda = d\tan\theta. \tag{2}$$

Donde,  $\tan\theta \approx \theta$ , así:

$$n\lambda = d\frac{x}{L}, \tag{3}$$

$$x = \frac{\lambda L}{d}n. \tag{4}$$

Por lo tanto, para determinar el desplazamiento y de acuerdo a la ecuación (4), se tiene que:

$$x = \left[ \frac{(125 \times 10^{-2})(632,8 \times 10^{-9})}{0,2 \times 10^{-3}} \right] \text{m} = 3,955 \times 10^{-3} \text{ m},$$

donde el ángulo  $\theta$  es:

$$\tan\theta = \frac{3,955 \times 10^{-3} \text{ m}}{1,25 \text{ m}},$$

$$\theta = 0,18^\circ < 1^\circ.$$

La conversión de  $\theta$  de grados a rad, sería igual a:

$$\theta = \frac{0,18^\circ}{180^\circ} \pi = 3,16 \times 10^{-3} \text{ rad.}$$

Este procedimiento se repite hasta la sexta franja brillante para completar la Tabla I.

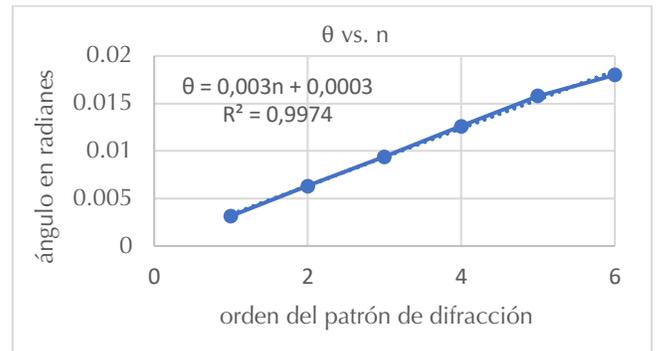
**TABLA I.** Datos calculados para la rendija de 0,2 mm, x distancia en m,  $\theta$  en grados y radianes.

n	x(m)	$\theta$	$\theta$ [rad]
+1	$3,9 \times 10^{-3}$	$0,18^\circ$	$3,16 \times 10^{-3}$
+2	$7,9 \times 10^{-3}$	$0,36^\circ$	$6,32 \times 10^{-3}$

+3	$11,86 \times 10^{-3}$	$0,54^\circ$	$9,40 \times 10^{-3}$
+4	$15,82 \times 10^{-3}$	$0,72^\circ$	$1,26 \times 10^{-2}$
+5	$19,77 \times 10^{-3}$	$0,90^\circ$	$1,58 \times 10^{-2}$
+6	$23,73 \times 10^{-3}$	$1,08^\circ$	$1,08 \times 10^{-2}$

De acuerdo a la Tabla I en  $n = +6$  los “Puntos de Calibración” serían igual a:

$$x_1 = -23,73 \times 10^{-3} \text{ m y } x_2 = 23,73 \times 10^{-3} \text{ m.}$$



**FIGURA 12.** Gráfico de desplazamiento vs ángulo de dispersión.

La Fig. 12 muestra el ajuste de la gráfica de  $\theta$  vs.  $n$  y de acuerdo a la teoría de la difracción de Fraunhofer, se tiene que:

$$\theta = \frac{\lambda}{d}n, \tag{5}$$

y

$$\theta = 0,003n. \tag{6}$$

Por lo tanto,  $\frac{\lambda}{d} = 0,003$  con  $n = 0,1,2,3,4, \dots$

$$\theta = 0,003n. \tag{7}$$

Así, los ángulos donde ocurre la interferencia destructiva son:  $\theta = 0,003^\circ$ ,  $\theta = 0,006^\circ$ ,  $\theta = 0,009^\circ$ .

Para determinar la longitud de onda se toma los puntos de máxima intensidad que se muestran en la Figura 11; además, se obtiene que:

**TABLA II.** Datos de las posiciones de los puntos máximo de intensidad secundarios de la Fig. 11.

el ancho  $\Delta x = 0,29 \times 10^{-3} \text{ m}$

y la irradiancia  $I_0 = 225 \text{ luma}$

Posiciones x(m)		
n	Izquierda	Derecha
$\pm 1$	$-5,83 \times 10^{-3}$	$5,27 \times 10^{-3}$
$\pm 2$	$-1,01 \times 10^{-2}$	$9,0 \times 10^{-3}$
$\pm 3$	$-1,24 \times 10^{-2}$	$1,22 \times 10^{-2}$
$\pm 4$	$-1,77 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-2}$

$\pm 5$	$-2,11 \times 10^{-2}$	$2,06 \times 10^{-2}$
$\pm 6$	$-2,56 \times 10^{-2}$	$2,33 \times 10^{-2}$
$\pm 7$	$-2,96 \times 10^{-2}$	$3,06 \times 10^{-2}$
$\pm 8$	$-3,28 \times 10^{-2}$	$3,42 \times 10^{-2}$
$\pm 9$	$-3,67 \times 10^{-2}$	$3,79 \times 10^{-2}$

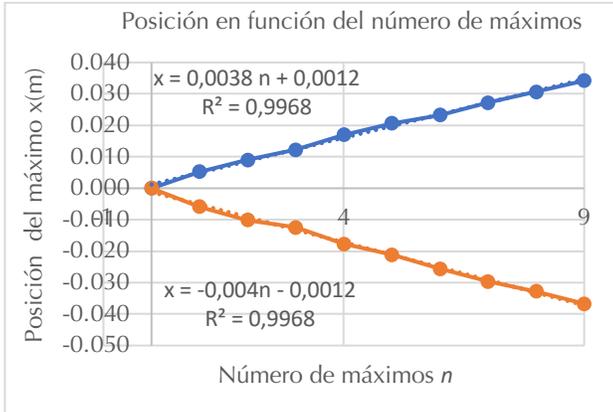


FIGURA 13. Gráfica de posición de los máximos en función orden del patrón de difracción.

La Fig. 13 muestra dos líneas rectas con sus respectivos ajustes realizados en Excel con los datos de  $(x_{izquierda}, n)$  y de  $(x_{derecha}, n)$  de la Tabla II.

Donde se usará el valor de la pendiente ( $m$ ) junto con la ecuación (4) para determinar la longitud de onda.

Donde  $d = 0,2 \text{ mm}$ ,  $L = 125 \text{ cm}$  y el valor de la pendiente  $m = 0,0038 \text{ m}$ , así:

$$m = \frac{\lambda L}{d}, \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{md}{L}, \quad (9)$$

$$\lambda = \left[ \frac{(0,0038)(2 \times 10^{-4})}{1,25} \right] \text{m} = 608 \text{ nm}.$$

El error relativo es:

$$e\% = \left| \frac{632,8 - 608}{632,8} \right| \times 100\% = 3,9\%.$$

Tomando el valor absoluto de la pendiente  $m = 0,004 \text{ m}$  (Fig. 13), ósea los datos del lado izquierdo de la Tabla II, y usando la ecuación (9), se obtiene:

$$\lambda = \left[ \frac{(4 \times 10^{-3})(2 \times 10^{-4})}{1,25} \right] = 640 \text{ nm},$$

$$e\% = \left| \frac{632,8 - 640}{632,8} \right| \times 100\% = 1,13\%.$$

Donde el error relativo es un error muy aceptable con relación otros trabajos que se han montado en la web [11, 12].

#### D. Cálculo de la longitud de onda del ancho de una rendija de 0,4 mm

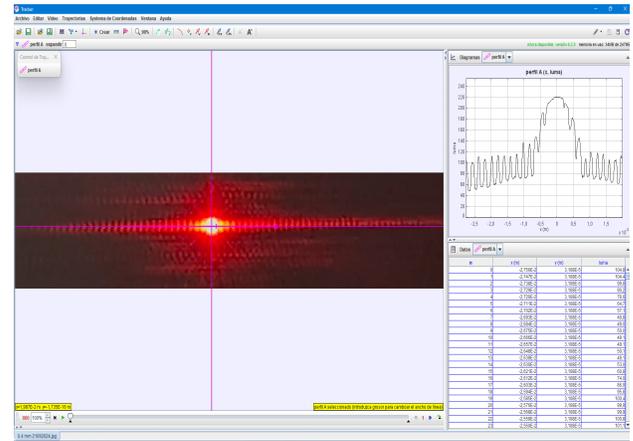


FIGURA 14. Patrón de difracción con una rendija de 0,4 mm de ancho, analizado con Tracker.

La Fig. 15 muestra la gráfica de "luma" o "brillo percibido" en función de la posición para un ancho de la rendija de 0,4 mm, para  $x = 0$ :

el ancho  $\Delta x = 1,4 \times 10^{-4} \text{ m}$ ,

y la irradiancia  $I_0 = 221 \text{ luma}$ .

Se calcula el desplazamiento para obtener los "Puntos de Calibración" y con la ecuación (4) se obtiene:

$$x = \left[ \frac{(125 \times 10^{-2})(632,8 \times 10^{-9})}{0,4 \times 10^{-3}} \right] \text{m},$$

$$x = 1,9775 \times 10^{-3} \text{ m}.$$

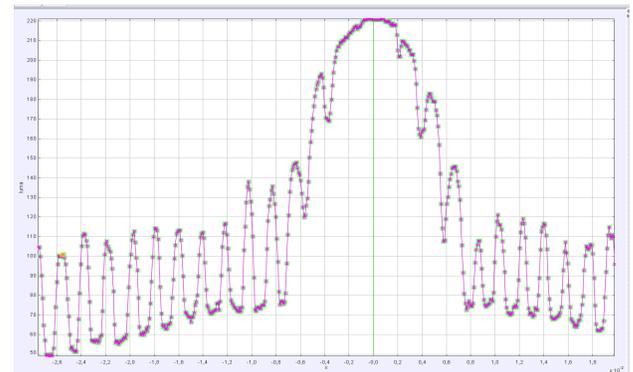


FIGURA 15. Gráfico proporcionado por el software "Tracker" donde muestra la imagen que se quiere analizar.

Y el ángulo  $\theta$  es:

$$\tan \theta = \frac{1,9775 \times 10^{-3} \text{ m}}{1,25 \text{ m}},$$

$$\theta = 0,0906^\circ,$$

convirtiendo  $\theta$  de grados a rad, sería igual a:

$$\theta = \frac{0,0906^\circ}{180^\circ} \pi = 1,58 \times 10^{-3} \text{ rad}.$$

Este procedimiento se repite hasta la décima franja brillante y los datos se consignan en la Tabla III.

**TABLA III.** Datos calculados para la rendija de 0,4 mm,  $x$  distancia en m,  $\theta$  en grados y radianes.

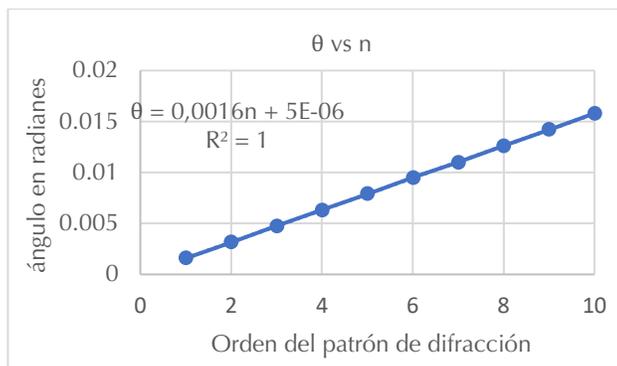
n	x(m)	$\theta$	$\theta[\text{rad}]$
+1	$1,9775 \times 10^{-3}$	0,090°	$1,58 \times 10^{-3}$
+2	$3,9 \times 10^{-3}$	0,18°	$3,16 \times 10^{-3}$
+3	$5,9 \times 10^{-3}$	0,27°	$4,74 \times 10^{-3}$
+4	$7,9 \times 10^{-3}$	0,36°	$6,32 \times 10^{-3}$
+5	$9,9 \times 10^{-3}$	0,45°	$7,90 \times 10^{-3}$
+6	$11,86 \times 10^{-3}$	0,54°	$9,48 \times 10^{-3}$
+7	$13,84 \times 10^{-3}$	0,63°	$1,10 \times 10^{-2}$
+8	$15,52 \times 10^{-3}$	0,72°	$1,26 \times 10^{-2}$
+9	$17,79 \times 10^{-3}$	0,81°	$1,42 \times 10^{-2}$
+10	$19,775 \times 10^{-3}$	0,9°	$1,58 \times 10^{-2}$

De acuerdo a la Tabla III los "Puntos de Calibración" serían iguales a:  $x_1 = -19,77 \times 10^{-3}$  m y  $x_2 = 19,77 \times 10^{-3}$  m.

El valor que tomaría la relación entre:  $\frac{d}{\lambda} = 625$ , entre mayor es la rendija esa relación se hace mayor es como si,  $\lambda = \frac{d}{625}$ .

La Fig. 16 muestra el ajuste de la gráfica de  $\theta$  vs.  $n$  y de acuerdo a la ecuación (5) se tiene que  $\theta = 0,0016 n$ .

Por lo tanto,  $\frac{\lambda}{d} = 0,0016$  con  $n = 1,2,3,4, \dots$  Así, los ángulos donde ocurre la interferencia destructiva son:  $\theta = 0,0016^\circ$ ,  $\theta = 0,0032^\circ$ ,  $\theta = 0,0048^\circ \dots$

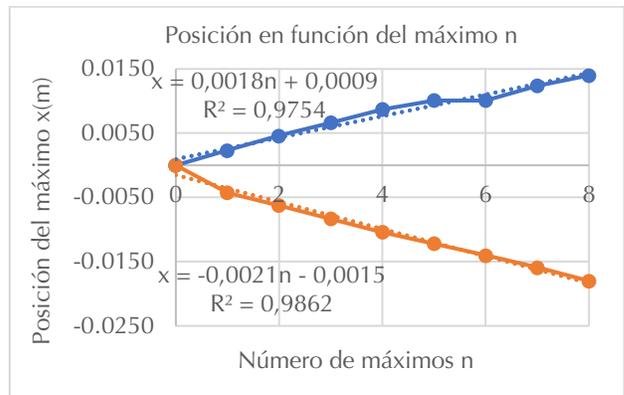


**FIGURA 16.** Gráfico de desplazamiento vs ángulo de dispersión.

**TABLA IV.** Datos de la posición de los puntos máximo de intensidad secundarios de la Fig. 15.

n	Posiciones x(m)	
	Izquierda	Derecha
±1	$-4,27 \times 10^{-3}$	$2,35 \times 10^{-3}$
±2	$-6,24 \times 10^{-3}$	$4,59 \times 10^{-3}$
±3	$-8,30 \times 10^{-3}$	$6,65 \times 10^{-3}$
±4	$-1,04 \times 10^{-2}$	$8,71 \times 10^{-3}$
±5	$-1,22 \times 10^{-2}$	$1,01 \times 10^{-2}$
±6	$-1,4 \times 10^{-2}$	$1,24 \times 10^{-2}$

±7	$-1,59 \times 10^{-2}$	$1,40 \times 10^{-2}$
±8	$-1,80 \times 10^{-2}$	$1,58 \times 10^{-2}$
±9	$-1,97 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-2}$
±10	$-2,19 \times 10^{-2}$	$1,94 \times 10^{-2}$



**FIGURA 17.** Gráfica de posición de los máximos en función orden del patrón de difracción.

Con la ecuación (9),  $d = 0,4$  mm el ancho de la rendija,  $L = 125$  cm la distancia desde la pantalla y la pendiente, se obtiene:

$$\lambda = \left[ \frac{(0,0018)(4 \times 10^{-4})}{1,25} \right] \text{ m} = 576 \text{ nm},$$

$$e\% = \left| \frac{632,8 - 576}{632,8} \right| \times 100\% = 8,9\%,$$

y con  $m = 0,0021$  Figura 17, se tiene:

$$\lambda = \left[ \frac{(0,0021)(4 \times 10^{-4})}{1,25} \right] \text{ m} = 672 \text{ nm},$$

$$e\% = \left| \frac{632,8 - 672}{632,8} \right| \times 100\% = 6,2\%.$$

La cual son errores aceptables.

#### IV. LABORATORIO DE DIFRACCIÓN POR UNA DOBLE RENDIJA

Este experimento fue realizado por Young es fundamental para comprender la dualidad del comportamiento de la luz y la materia. Este estudio revela como las partículas subatómicas pueden exhibir comportamientos de onda, algo difícil de comprender y asimilar cuando se expone el tema.

El experimento se realizó disparando luz a través de dos rendijas, creando un patrón de interferencia sobre una pantalla de color blanco, por lo que llevó a la comprensión de la naturaleza ondulatoria de la luz.

Lo interesante del experimento es que posteriormente se comprueba la naturaleza ondulatoria de la luz y la de los electrones con el experimento realizado por Davisson y Germer. Generando avances en muchas disciplinas científicas y la tecnológicas como la computación cuántica y la criptografía cuántica.

Estas innovaciones prometen transformar áreas como la seguridad de la información y el procesamiento de datos a gran escala. De acuerdo a lo anterior se realizará el cálculo de la longitud de onda de la fuente de luz utilizando una rendija simple y doble.

### A. Materiales y Montaje

Las Figuras 18, 19 y 20 muestra los materiales y el montaje experimental. La cual consta de un láser de 632,8 nm, una rejilla que tiene tres ranuras dobles de anchura 0,12 mm, 0,24 mm y 0,48 mm con un espaciamiento de 0,6 mm, 0,6 mm y 1,2 mm, respectivamente y una pantalla de color blanco.



FIGURA 18. Montaje experimental.



FIGURA 19. Soporte para la rendija.



Figura 20. Rendijas dobles

### B. Anchura de la rendija de 0,12 mm y espaciamiento de 0,6 mm

Los datos iniciales del experimento, son: el ancho de la rendija 0,12 mm, la separación entre las rendijas  $d = 0,6$  mm, longitud del láser  $\lambda = 638,8$  nm y la distancia entre la pantalla y la rejilla  $L = 68,5$  cm.

Se calcula el desplazamiento para obtener los "Puntos de Calibración" y con la ecuación (4) se obtiene:

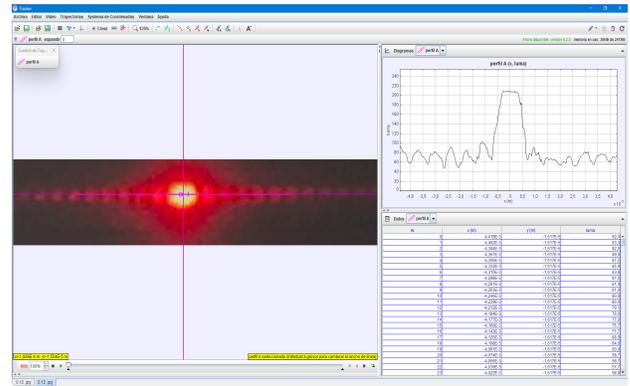


FIGURA 21. Patrón de difracción de la doble rendija.

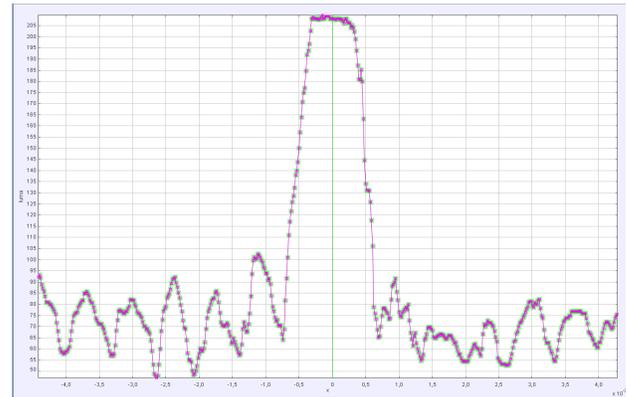


FIGURA 22. Gráfico proporcionado por el software "Tracker" tras señalar la línea de la imagen que se quiere analizar.

$$x = \left[ \frac{(68,5 \times 10^{-2})(632,8 \times 10^{-9})}{0,6 \times 10^{-3}} \right] m = 0,072 \text{ cm,}$$

donde el ángulo  $\theta$ , es:

$$\tan \theta = \frac{0,072 \text{ cm}}{68,5 \text{ cm}},$$

$$\theta = 0,0602^\circ,$$

realizando la conversión de grados a rad:

$$\theta = \frac{0,0602^\circ}{180^\circ} \pi = 1,05 \times 10^{-3} \text{ rad.}$$

Lo anterior corresponde al valor del ángulo medido en el punto medio entre las dos rendijas.

El procedimiento anterior se repite hasta el cuarto orden del patrón de difracción y los datos son registrados en la Tabla V.

TABLA V. Datos calculados para la rendija de 0,6 mm,  $x$  distancia en m,  $\theta$  en grados y radianes.

n	x(cm)	$\theta$	$\theta[\text{rad}]$
+1	0,072	0,0602 <sup>0</sup>	1,05 × 10 <sup>-3</sup>
+2	0,144	0,12 <sup>0</sup>	2,09 × 10 <sup>-3</sup>
+3	0,216	0,18 <sup>0</sup>	3,14 × 10 <sup>-3</sup>
+4	0,288	0,24 <sup>0</sup>	4,19 × 10 <sup>-3</sup>

De acuerdo a la Tabla V los "Puntos de Calibración" serían iguales a:  $x_1 = -0,288$  m y  $x_2 = 0,288$  m.

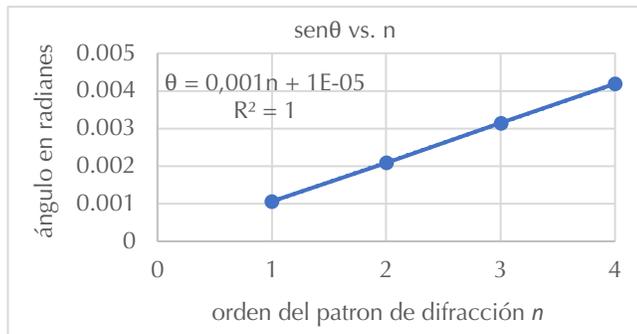


FIGURA 23. Gráfico de desplazamiento vs. ángulo de dispersión.

La Fig. 23 muestra el ajuste de la gráfica de  $\theta$  vs.  $n$  y de acuerdo a la ecuación (5) se tiene que  $\theta = 0,001 n$ . Por lo tanto,  $\frac{\lambda}{d} = 0,001$  con  $n = 1,2,3,4, \dots$ . Así, los ángulos donde ocurre la interferencia destructiva son:  $\theta = 0,001^\circ$ ,  $\theta = 0,002^\circ$ ,  $\theta = 0,003^\circ$ .....

TABLA VI. Datos de las posiciones de los puntos máximos de intensidad secundarios de la figura 22.

n	Posiciones x(m)	
	Izquierda	Derecha
±1	$-1,12 \times 10^{-3}$	$9,64 \times 10^{-4}$
±2	$-1,73 \times 10^{-3}$	$1,47 \times 10^{-3}$
±3	$-2,35 \times 10^{-3}$	$2,33 \times 10^{-3}$
±4	$-3 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-3}$
±5	$-3,71 \times 10^{-3}$	$3,75 \times 10^{-3}$

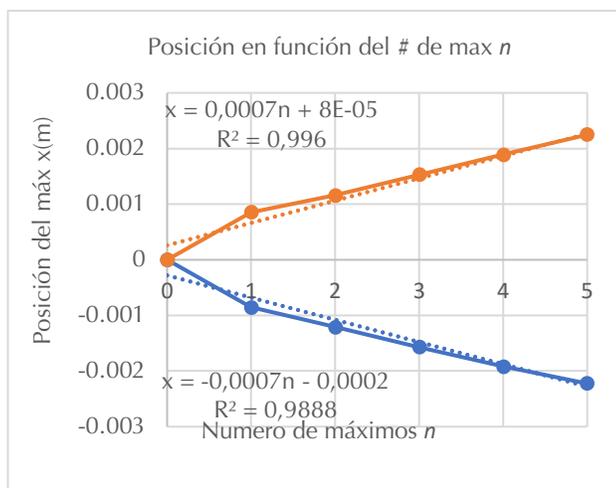


FIGURA 24. Gráfica de posición de los máximos en función orden del patron de difracción

Con las ecuaciones obtenidas de la Fig. 24 y con la ecuación (9) se obtiene la longitud de onda utilizada en el experimento, así:

$$\lambda = \left[ \frac{(7 \times 10^{-4})(0,6 \times 10^{-3})}{68,5 \times 10^{-2}} \right] \text{ m} = 613 \text{ nm},$$

cuyo error relativo es:

$$e\% = \left| \frac{632,8 - 613}{632,8} \right| \times 100\% = 3,13\%.$$

Al igual que en caso anterior es un error relativo muy aceptable.

### C. Anchura de la rendija de 0,24 mm y espaciamiento 0,6 mm

Los datos iniciales del experimento, son: el ancho de la rendija 0,24 mm, la separación entre las rendijas  $d = 0,6$  mm, longitud del láser  $\lambda = 638,8$  nm y la distancia entre la pantalla y la rejilla  $L = 68,5$  cm.

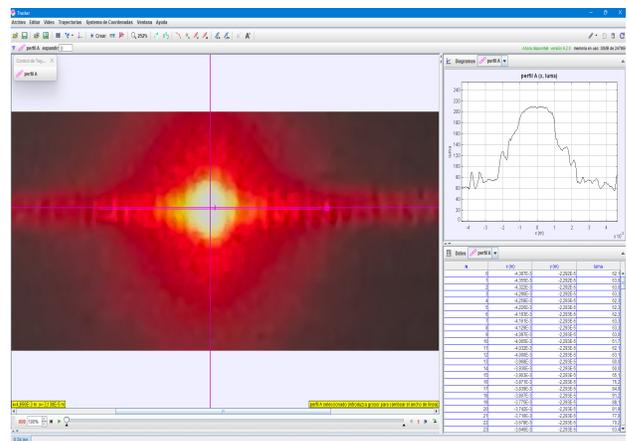


FIGURA 25. Patrón de difracción la doble rendija de 0,24 mm de ancho, analizado con Tracker.

Los valores de los puntos de calibración serán los mismos del caso anterior debido a que los datos para hallar dicha variable son los mismos. Con la Fig. 26 se obtiene:

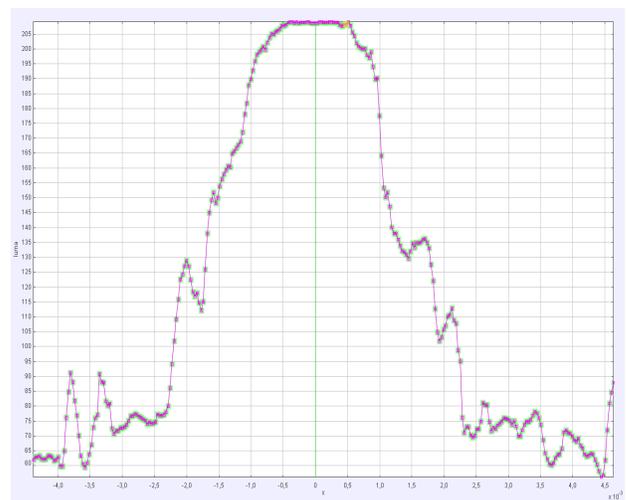


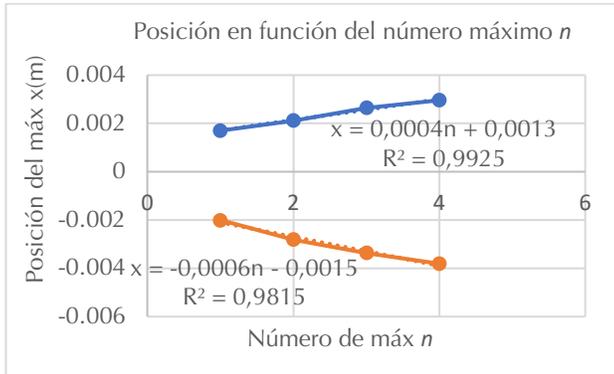
FIGURA 26. Gráfico proporcionado por el software "Tracker" donde muestra la línea de la imagen que se quiere analizar.

el ancho

$$\Delta x = 0,42 \times 10^{-4} \text{ m}$$

y la irradiancia

$$I_0 = 219 \text{ luma}$$



**FIGURA 27.** Gráficas de posición de los máximos en función orden del patrón de difracción.

**TABLA VII.** Datos de las posiciones de los puntos intensidad secundarios de la Figura 27.

n	Posiciones x(m)	
	Izquierda	Derecha
±1	$-2 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-3}$
±2	$-2,81 \times 10^{-3}$	$2,12 \times 10^{-3}$
±3	$-3,36 \times 10^{-3}$	$2,64 \times 10^{-3}$
±4	$-3,81 \times 10^{-3}$	$2,96 \times 10^{-3}$

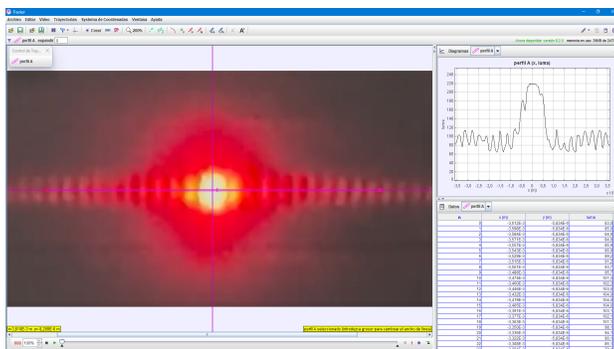
Luego la longitud de onda es:

$$\lambda = \left[ \frac{(6 \times 10^{-4})(0,6 \times 10^{-3})}{68,5 \times 10^{-2}} \right] \text{ m} = 701 \text{ nm},$$

$$e\% = \left| \frac{632,8 - 525,55}{632,8} \right| \times 100\% = 16\%.$$

#### D. Anchura de la rendija de 0,48 mm y espaciamiento de 1,2 mm

Los datos iniciales del experimento, son: el ancho separación de la rendija  $d = 1,2 \text{ mm}$ , la longitud de onda del láser es  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  y la distancia entre el láser y la rejilla es de,  $L = 68,5 \text{ cm}$ .



**FIGURA 28.** Gráfico del brillo percibido en función de la longitud de onda de la luz del láser.

Se calcula el desplazamiento para obtener los puntos de calibración (Figura 3) y de acuerdo a la ecuación (4)

$$x = \left[ \frac{(68,5 \times 10^{-2})(632,8 \times 10^{-9})}{1,2 \times 10^{-3}} \right] \text{ m},$$

$$x = 0,36122 \times 10^{-3} \text{ m},$$

donde  $\theta = 0,0304^\circ$ ,

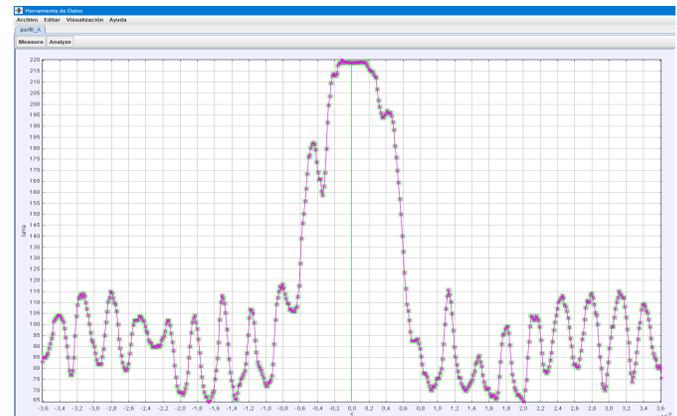
realizando la conversión entre grados a rad

$$\theta = \frac{0,0304^\circ}{180^\circ} \pi = 5,3 \times 10^{-3} \text{ rad}.$$

Que corresponde al ángulo medido en el punto medio entre dos rendijas.

De acuerdo a la Tabla VIII los "Puntos de Calibración" serían igual a:  $x_1 = -3,612 \times 10^{-3} \text{ m}$  y  $x_2 = 3,612 \times 10^{-3} \text{ m}$ .

El procedimiento anterior se repite hasta el décimo orden del patrón de difracción y los datos son registrados en la Tabla 8.



**FIGURA 29.** Gráfico proporcionado por el software "Tracker" tras señalar la línea de la imagen que se quiere analizar.

**Tabla VIII.** Datos calculados para la rendija de 1,2 mm, x distancia en m,  $\theta$  en grados y radianes.

n	x(cm)	$\theta$	$\theta[\text{rad}]$
+1	$0,3612 \times 10^{-3}$	$0,030^\circ$	$5,3 \times 10^{-4}$
+2	$0,7224 \times 10^{-3}$	$0,0609^\circ$	$1,06 \times 10^{-3}$
+3	$1,0836 \times 10^{-3}$	$0,091^\circ$	$1,59 \times 10^{-3}$
+4	$1,4448 \times 10^{-3}$	$0,122^\circ$	$2,13 \times 10^{-3}$
+5	$1,8061 \times 10^{-3}$	$0,152^\circ$	$2,65 \times 10^{-3}$
+6	$2,1672 \times 10^{-3}$	$0,183^\circ$	$3,19 \times 10^{-3}$
+7	$2,5284 \times 10^{-3}$	$0,183^\circ$	$3,19 \times 10^{-3}$
+8	$2,8896 \times 10^{-3}$	$0,183^\circ$	$3,19 \times 10^{-3}$
+9	$3,258 \times 10^{-3}$	$0,183^\circ$	$3,19 \times 10^{-3}$
+10	$3,612 \times 10^{-3}$	$0,183^\circ$	$3,19 \times 10^{-3}$

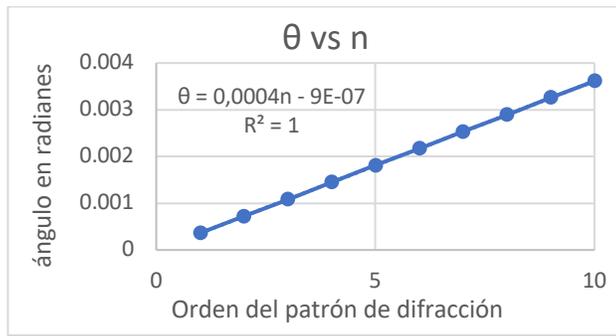


FIGURA 30. Gráfico de desplazamiento vs ángulo de dispersión.

La Figura 30 se indica el valor que tomaría la relación  $\frac{d}{\lambda} = 2500$ . Además, se muestra el ajuste de la gráfica de  $\theta$  vs.  $n$  y de acuerdo a la ecuación (5) se tiene que  $\theta = 0,0004 n$ . Por lo tanto,  $\frac{\lambda}{a} = 0,0004$  con  $n = 1,2,3,4, \dots$

Así, los ángulos donde ocurre la interferencia destructiva son:  $\theta = 0,0004^0$ ,  $\theta = 0,0008^0$ ,  $\theta = 0,0012^0 \dots$

TABLA IX. Datos de las posiciones de los puntos intensidad secundarios de la Fig. 28.

n	Posición $x(m)$	
	Izquierda	Derecha
±1	$-4,49 \times 10^{-4}$	$4,08 \times 10^{-4}$
±2	$-7,94 \times 10^{-4}$	$1,13 \times 10^{-3}$
±3	$-1,18 \times 10^{-3}$	$1,49 \times 10^{-3}$
±4	$-1,51 \times 10^{-3}$	$1,82 \times 10^{-3}$
±5	$-1,83 \times 10^{-3}$	$2,15 \times 10^{-3}$
±6	$-2,15 \times 10^{-3}$	$2,45 \times 10^{-3}$
±7	$-2,48 \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-3}$
±8	$-2,81 \times 10^{-3}$	$3,12 \times 10^{-3}$
±9	$-3,14 \times 10^{-3}$	$3,42 \times 10^{-3}$
±10	$-3,42 \times 10^{-3}$	

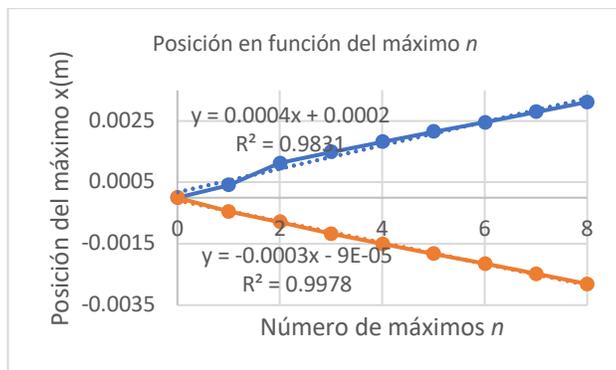


FIGURA 31. Gráfica de posición en función del número  $n$ .

La longitud de onda del láser se obtiene usando la ecuación (9) y con el valor de la pendiente de la Fig. 31.

$$\lambda = \left[ \frac{(4 \times 10^{-4})(1,2 \times 10^{-3})}{68,5 \times 10^{-2}} \right] m = 700 \text{ nm},$$

$$e\% = \left| \frac{632,8 - 700,72}{632,8} \right| \times 100\% = 10,73\%.$$

## V. CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra el desarrollo de dos laboratorios de física moderna usando la herramienta tecnológica de Tracker. Se mostró el comportamiento de la luz láser cuando pasa a través de una rendija de ancho variable entre  $0 \leq d \leq 1,6$  mm. Donde el ancho del brillo principal disminuye al aumentar el ancho de la rendija, se calculó de los ángulos donde ocurre interferencia destructiva para el experimento de una y dos rendijas donde se mostró que Tracker es una herramienta muy útil para medir con buena precisión los puntos de máximo y mínimo de intensidad.

Con los “brillos percibidos” y la posición se calcula los desplazamientos y los ángulos de dispersión entre el máximo central y cada uno de los máximos secundarios, esto con el fin de obtener los puntos de calibración que se coloca en el Tracker y poder obtener el valor del ancho total del patrón de difracción. Esto permite obtener la gráfica de “luma” vs.  $x$ ” y en consecuencia los valores de los máximos de intensidad.

Posteriormente se obtienen las gráficas de posiciones de los máximos en función de número de máximos ( $n$ ) y con el valor de la pendiente y la ecuación (9) se establece longitud de onda y se determinó el error relativo donde para la primera experiencia con una rendija de 0,2 mm el error fue de ~3,9% y ~1,13% y con una rendija de 0,4 mm el error fue de ~8,8% y ~6,2%.

De acuerdo con el experimento de la doble rendija de ancho 0,12 mm se obtuvo el error relativo de ~3,13%, con ancho de 0,24 mm el error fue de ~16% y con el ancho 0,48 mm fue de ~10,73%. La cual se obtienen errores muy bajitos si comparamos trabajos sobre este tema que algunos docentes o estudiantes han subido a la web.

Por lo anterior ha presentado una forma eficaz de calcular entre muchas cosas la longitud de onda cuando pasa a través de una rendija simple o doble con mucha exactitud utilizando el software Tracker. Se sugiere realizar la misma experiencia para calcular el grosor de un cabello.

## REFERENCIAS

- [1] Savall, F., Domènech, J. L., Martínez, J., ¿Los profesores de física y química disponen de un modelo que explique la formación de los espectros atómicos? [«https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/308324/398339»](https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/308324/398339) Consultado el 04 de Diciembre del 2024.
- [2] Molina, C. D., Calvo, A. F., Pamplona, L. E., Desarrollo de un módulo experimental de difracción de la luz para un laboratorio de física controlado de forma remota, 15, 100-111 (2017).
- [3] Bravo, S. y Pesa, M., Evaluación del aprendizaje de interferencia y difracción de la luz en ellaboratorio de física, Investigações em Ensino de Ciências, (2016).
- [4] Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas,

Tecnología en Electricidad de Media y Baja Tensión (Por ciclos propedéuticos)

<https://ftecnologica.udistrital.edu.co/tecnologia-electricidad/index.php/programa/plan-estudios> Consultado el 04 de Diciembre del 2024.

[5] Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Tecnología en Electricidad de Media y Baja Tensión (Por ciclos propedéuticos),

<https://ftecnologica.udistrital.edu.co/laboratorios/ciencias-basicas/index.php/laboratorios> Consultado el 04 de Diciembre del 2024.

[6] Abdel Rahim, G. P. y Moreno, M. A., *Uso de Tracker como herramienta de análisis en experimentos caseros para el aprendizaje de la física mecánica*, Rev. Digit. Educ. Ing. **17**, 1–17 (2022).

[7] Abdel Rahim, G. P. y Moreno, M. A., *Cálculo de las ecuaciones del movimiento parabólico usando Tracker*, Rev. Digit. Educ. Ing. **17**, 45–51, (2021).

[8] Rahim, G. P. A. y Garzón, P. E., *Uso de los Simuladores*

*de Phet y Tracker para el Estudio de Movimiento Oscilatorio*, Góndola Ens. Apren. Cienc. **18**, 404–418 (2023).

[9] Abdel Rahim, G. P., *Propuesta para la enseñanza del movimiento oscilatorio usando herramientas computacionales*, Latin-American Journal of Physics Education **16**, 2308-1 - 9 (2022).

[10] Brown, D., *Tracker*, <https://physlets.org/tracker/>, Consultado el 04 de Diciembre del 2024.

[11] Universidad Nacional de Colombia, Informe de Práctica de laboratorio física: oscilaciones, ondas y óptica [https://www.academia.edu/108940657/Laboratorio\\_Difracci%C3%B3n](https://www.academia.edu/108940657/Laboratorio_Difracci%C3%B3n), Consultado el 04 de Diciembre del 2024.

[12] Peña, D. A. y Villamil, M., *Difracción de la luz láser por dos rendijas*,

[https://www.academia.edu/29220864/Difracci%C3%B3n\\_de\\_la\\_luz](https://www.academia.edu/29220864/Difracci%C3%B3n_de_la_luz), Consultado el 04 de Diciembre del 2024.