

Experimento de la Doble Rendija de Young: Naturaleza Ondulatoria de la Luz

Juan Carlos Rojas Velásquez* and Thomas Andrade Hernández**

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

(Dated: 16 de octubre de 2023)

En el presente informe se exponen los resultados obtenidos luego de realizar el famoso experimento de la doble rendija de Thomas Young, mismo que permitió comprender la naturaleza tanto corpuscular como ondulatoria de la luz. Para este laboratorio se hizo énfasis en la naturaleza ondulatoria del fenómeno, observándose un patrón de interferencia peculiar. El principal valor que se pudo calcular en el experimento fue el de la longitud de onda del rayo de luz incidente, siendo de un aproximado de $\lambda_{Estimated} = 660 \pm 10$ nm, un valor muy próximo al reportado por el fabricante, $\lambda_{Fabric} = 670 \pm 5$ nm.

I. INTRODUCCIÓN

La luz como concepto ha sido uno de los campos más trabajados por la física desde sus orígenes. El surgimiento de las ecuaciones de Maxwell y los experimentos realizados por Henrick Hertz y Thomas Young fueron suficientes para cambiar la interpretación corpuscular de la luz que defendió Isaac Newton en su obra *Opticks*. La luz como onda ahora sufriría de efectos típicos de estos cuerpos, como la refracción, polarización e interferencias.

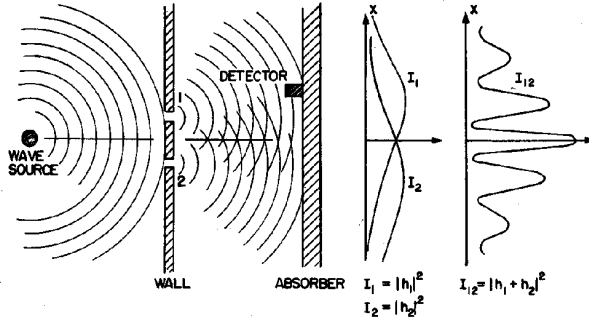


Figura 1. Esquema general del patrón de interferencia de la luz al atravesar una rendija doble. Los textos de izquierda a derecha se refieren a: la fuente de luz; un muro, en este caso la rendija doble; y un detector de luz junto con una placa de absorción para que la luz no se refracte. Más a la derecha se observan dos funciones que cada una describe tanto el patrón de intensidades de la luz por cada rendija y el patrón de intensidades de ambas rendijas, esto como consecuencia de la interferencia de ambas ondas. Obtenido de [1]

También conocido como difracción, la interferencia de la luz consigo misma lleva a la observación de eventos como el expuesto en la Figura 1. En esta imagen se

puede apreciar la forma en como dos ondas de luz interfieren la una con la otra, generando zonas de mayor intensidad (interferencia constructiva) o de menor intensidad (interferencia destructiva). Esta característica figura trazada por la interferencia recibe el nombre de patrón de interferencia.

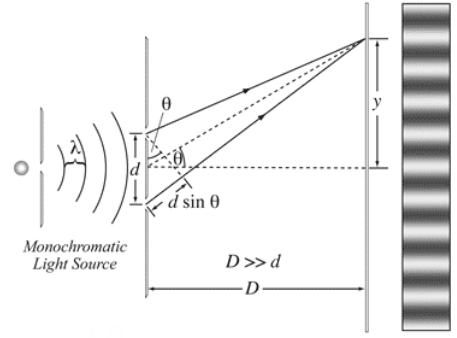


Figura 2. Descripción geométrica del fenómeno de la doble rendija. Esta interpretación se le atribuye al físico alemán Joseph von Fraunhofer. Definiendo algunas variables se tiene que D es la distancia entre la rendija doble y la placa de absorción de la Figura 1, d es la distancia entre las rendijas y y es la posición relativa del detector con respecto al punto de intensidad máxima de la luz difractada. Imagen obtenida de [2]

La forma en la que el patrón de interferencia de la Figura 1 se puede modelar de matemáticamente se deriva de las geometrías del montaje (ver la Figura 2) y el análisis realizado por el físico alemán Joseph von Fraunhofer. Una forma de relacionar distancias con ángulos se encuentra en la expresión (1):

$$\tan \theta = \frac{y}{D} \quad (1)$$

donde el ángulo θ se encuentra en radianes y la distancia y en milímetros. Esta relación es fundamental porque el modelo propuesto por Fraunhofer para el patrón de interferencia de la luz al pasar por la rendija doble consiste en una función con senos y cosenos, tal

* Correo institucional: jc.rojasv1@uniandes.edu.co

** Correo institucional: t.andrade@uniandes.edu.co

y como se muestra en la ecuación (2):

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

La forma en la que se predice la ubicación de los máximos es mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{d \sin \theta}{n} \quad (3)$$

donde θ es el ángulo en el que se halle un máximo y n el número del pico que es (se enumeran como si de una recta real se tratase, tomando el pico central como cero, los de la derecha como positivos y los de la izquierda como negativos). El propósito principal de esta práctica es, pues, observar esta naturaleza ondulatoria de la luz y con esa información calcular la longitud de onda del láser empleado.

II. METODOLOGÍA

El montaje se compone principalmente de un interferómetro con rendijas modulables de *TeachSpin* (ver la Figura 3). Este interferómetro posee una estructura interna muy parecida a la esquematizada en la Figura 4, donde se aprecia una gran variedad de configuraciones para ubicar cada una de las rendijas de interés.



Figura 3. Interferómetro de la marca *TeachSpin*.

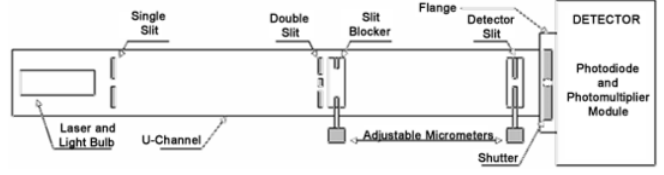


Figura 4. Estructura interna del interferómetro. De izquierda a derecha se tiene: el módulo que posee el láser que se utilizará para generar el patrón de interferencia; un orificio para ubicar una rendija inicial polarizante (no se usó); otro orificio para ubicar tanto una rendija doble y una rendija simple, esta última con capacidad de desplazamiento gracias a un micrómetro; y por último otro orificio para una rendija simple que hará de focalizador para que el detector solo mida un haz de luz.

El procedimiento general consistió en ubicar un láser de luz monocromática, con una longitud de onda reportada por el fabricante de $\lambda_{Fabric} = 670 \pm 5$ nm, cuyo haz de luz atravesó un total de tres rendijas: una rendija doble, una rendija simple con una gran apertura y una última rendija simple que hizo el papel del filtro detector. Al detector se le conectó un multímetro que registró el voltaje en todo momento, mientras la rendija detectora se desplazaba en saltos de 0.2 mm del punto de máximo voltaje para así mapear el patrón de interferencia. Los datos registrados fueron de distancia con una incertidumbre de 0.05 mm y de voltaje (directamente proporcional a la intensidad propia de la luz $I(x)$), con una incertidumbre de 0.001.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos del voltaje medido en función de la distancia del detector se presentan en la Figura 5. A este conjunto de datos se le realizó un cambio de unidades a radianes por medio de la ecuación (1), misma que llevó a la distribución que se encuentra en la Figura 6.

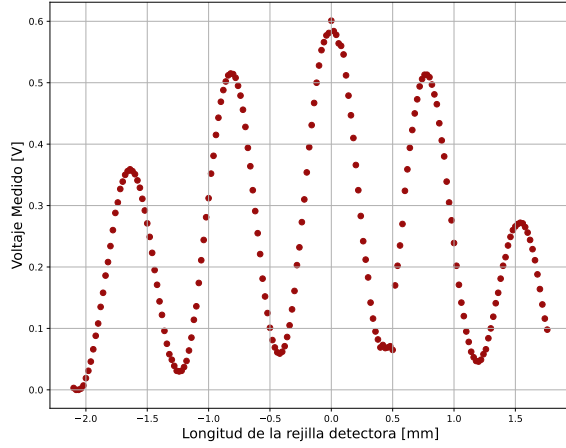


Figura 5. Datos obtenidos del patrón de interferencia de la luz del láser al atravesar una rendija doble. Se puede apreciar un comportamiento muy similar al bosquejado en la Figura 1. Las incertidumbres del voltaje y la distancia medida son $\sigma_V = 0.001$ V y $\sigma_y = 0.05$ mm respectivamente.

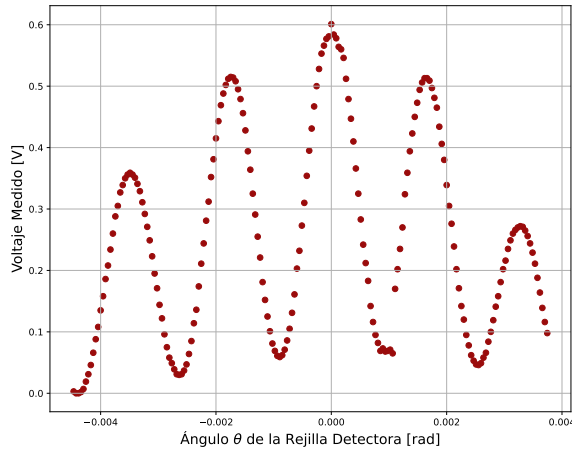


Figura 6. Patrón de interferencia del láser con respecto al ángulo de incidencia del haz de luz. La transformación de distancia a ángulos provocó una incertidumbre para los ángulos de $\sigma_\theta = 10^{-5}$ radianes.

Esta transformación de distancia a ángulo permitió llevar a cabo un ajuste de curva de la forma expuesta en la ecuación (2), este ajuste se aprecia en la Figura 7. La principal utilidad de este ajuste consiste en la posibilidad de calcular el valor de la longitud de onda del láser empleando la ubicación de los máximos de voltaje. Aplicando la ecuación (3) y realizando un promedio

entre los 4 picos observados se obtuvo un valor para la longitud de onda del láser de $\lambda_{Estimated} = 660 \pm 10$ nm, un valor significativamente cercano al reportado por el fabricante de 670 ± 5 nm, alejándose en un 1.5 % si se omiten las incertidumbres.

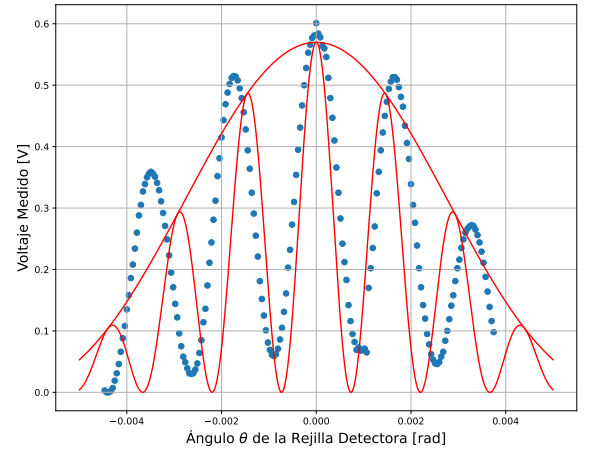


Figura 7. Ajuste de curva generado con la expresión 2. Se obtuvo como resultado para la constante I_0 el valor de 0.60 ± 0.09 . Dado que el ajuste fue realizado con datos de voltajes, las unidades de esta constante son voltios. Se observan dos curvas, una sinusoidal que corresponde a la doble rendija y una envolvente que describe el comportamiento esperado en el caso de una sola rendija.

IV. CONCLUSIONES

El propósito principal del experimento se cumplió en su totalidad. Como se pudo observar en las imágenes anteriormente expuestas, la manifestación ondulatoria de la luz es un resultado inmediato de la continuidad del patrón de interferencia registrado. Al ser un patrón continuo quiere decir que la luz no se dirige en línea recta hacia la rendija detectora luego de su difracción en la rendija doble, sino todo lo contrario. Cada uno de los haces de luz interactúa consigo, generando puntos con intensidad máxima, media y mínima. En el caso de tener un comportamiento corpuscular, este fenómeno sería totalmente diferente. Luego de atravesar la rendija doble, cada haz de luz se dirigiría en línea recta hacia la rendija detectora, mostrando como resultado una serie de puntos con la misma intensidad en un área acotada por un rectángulo. Además, como punto adicional, el valor obtenido para la longitud de onda del láser fue extremadamente cercano al original, mostrando así que el muestreo de datos fue lo suficientemente grande como para acercarnos al

valor esperado.

-
- [1] J. Branson, «Diffraction from two slits,» (2013).
 - [2] «How to derive path difference ($\delta y = d \sin \theta$) for double-slit interference?» (2015).
 - [3] J. C. Rojas Velásquez and T. Andrade Hernández, «Modern Phy Lab,» (2023).

que se puede encontrar en el repositorio de GitHub [3]. El procedimiento general se basó en la propagación de error partiendo de la incertidumbre de 0.05 nm del micrómetro y los 0.001 V del multímetro.

V. APÉNDICE DE CÁLCULO DE ERRORES

La totalidad de los cálculos de error fueron realizados en el código general de las prácticas de laboratorio