

Red de Difracción

Javier Alejandro Salcedo Castañeda
Laboratorio III - Departamento de Física – Facultad de Ciencias
Universidad de Los Andes
Mérida, Venezuela
Mayo, 2025

RESUMEN:

Las redes de difracción son dispositivos ópticos esenciales que aprovechan los fenómenos de interferencia y difracción para descomponer la luz en sus longitudes de onda constituyentes. En esta práctica, se estudiará una red de difracción por transmisión con tres objetivos principales: caracterizar sus propiedades físicas (como el espaciado entre líneas y su poder de resolución), calibrar el sistema usando una lámpara de mercurio de espectro conocido, y aplicar estos conocimientos para identificar gases desconocidos mediante el análisis de sus espectros de emisión. Este experimento no solo ilustra los principios fundamentales de la óptica ondulatoria, sino que también demuestra una aplicación concreta de la espectroscopia en el análisis de materiales.

El estudio combina aspectos teóricos -como el principio de Huygens-Fresnel y la condición para interferencia constructiva- con técnicas experimentales de alineación óptica y medición angular precisa. Los resultados permitirán establecer relaciones cuantitativas entre las posiciones de los máximos de interferencia por difracción y las longitudes de onda características de cada fuente luminosa, proporcionando así una herramienta poderosa para la identificación espectral de sustancias.

I. OBJETIVOS

- Caracterización de una red de difracción.
- Estudio de fuente espectral para obtener curva de calibración de su espectro de emisión.
- Identificación de diferentes fuentes espectrales por su espectro de emisión.

II. MARCO TEÓRICO

Esta experiencia es una extensión del experimento de Young, en el que como principio fundamental se estudia la propagación de radiación electromagnética vista desde la óptica ondulatoria. Es primordial tener en cuenta el principio de Fresnel - Huygens, que establece que cada punto en un frente de onda actúa como una fuente de ondas secundarias que se propagan hacia adelante. El siguiente frente de onda en un instante posterior es la superficie que envuelve a todas estas ondas secundarias emitidas. (Fig. 1).

A su vez, cuando la radiación incide por una rendija ocurre difracción, que es el fenómeno por el cual una onda incidente se dispersa al pasar por una abertura estrecha, donde se forma

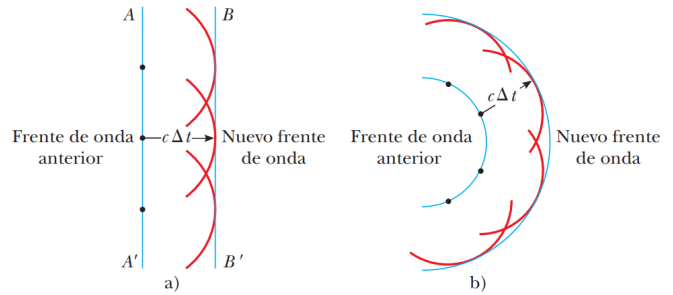


Fig. 1. Principio de Huygens en onda plana y onda esférica. [1]

una nueva fuente de luz, generando un patrón de interferencia característico con máximos y mínimos de intensidad (Fig. 2).

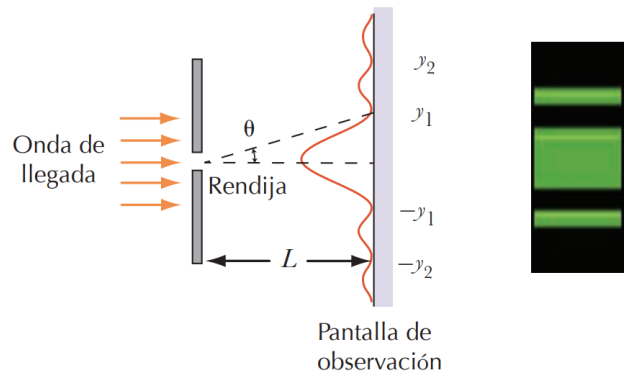


Fig. 2. Patrón de difracción en una sola rendija [1].

En esta experiencia se estudia una red de difracción, este es un dispositivo óptico que permite dispersar la luz en sus diferentes longitudes de onda al pasar por las ranuras, generando un espectro (Fig. 3). Este espectro se repite en distintos ángulos debido a la interferencia de las ondas luminosas, de manera similar al patrón observado en el experimento de doble rendija de Young. Esta se usa cuando se requiere un rango o una longitud de onda específica.

Existen dos tipos de redes de difracción, una que funciona en base a reflexión y por transmisión que es la que se estudiará, esta funciona permitiendo que la luz pueda

atravesarla por ranuras o hendiduras que tiene el material generándose efectos de dispersión e interferencia.

Al igual que en el experimento de Young (Fig. 2), se estudian los ángulos en los que se generan interferencia constructiva pudiéndose deducir una ecuación que habla de estas en base a la diferencia del camino óptico sea un múltiplo entero de la longitud de onda, esto se ve en la ecuación (1).

$$d \sin(\theta) = m\lambda \quad (1)$$

donde:

- d : espacio entre rendijas.
- θ : ángulo entre la red y el frente de onda de los rayos dispersados.
- λ : longitud de onda de la radiación incidente.
- m : orden de difracción.

La superposición de estas ondas crea un patrón de interferencia característico. Este patrón consiste en una serie de franjas brillantes (cuando estas están en fase) y oscuras (cuando están fuera de fase) en una pantalla colocada detrás de la rendija.

Para cada orden de difracción (máximo), deben satisfacerse dos criterios fundamentales:

- Cuando hay una diferencia de fase ($\Delta\phi$) equivalente a un múltiplo entero de 2π , las ondas están en sincronía o en fase.
- Cuando la diferencia de recorrido óptico (Δl) es proporcional a la longitud de onda de la luz.

Se debe de cumplir la relación de la ecuación 2.

$$\frac{\Delta\phi}{2\pi} = \frac{\Delta l}{\lambda} \quad (2)$$

Para este tipo de red, las rendijas esta espaciadas de forma igual así que de forma paralela y uniforme, por lo tanto la diferencia de fase debe ser uniformemente distribuida entre todas las rendijas, esto se representa con la ecuación 3

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{N} \quad (3)$$

N : Número total de ranuras de la red de difracción que están siendo iluminadas por la luz.

Sustituyendo en esta la ecuación 2 tenemos:

$$\Delta l = \frac{\lambda}{N} \quad (4)$$

Δl : Diferencia de camino óptico.

Como $\Delta l = d \sin(\theta_n)$ tenemos:

$$d \sin(\theta_m) = \frac{m\lambda}{N} \quad (5)$$

donde se incluye el subíndice m para el ángulo, ya que pueden existir diferentes máximos en función del orden de

difracción. Con esto se puede obtener la posición, el ancho de línea e intensidad de la onda que se dispersa.

Entre las características principales de las redes de difracción:

- Densidad de línea:

$$\sigma = \frac{1}{d} \quad (6)$$

- Numero de ranuras iluminadas:

$$N = \sigma W \quad (7)$$

W : ancho del haz de luz que ilumina la red.

- Ancho de línea:

Esta se obtiene derivando respecto a θ la ecuación 5 que seria:

$$\Delta\theta_m = \frac{m\lambda}{Nd \cos(\theta_m)} \quad (8)$$

- Poder de dispersión:

La dispersión angular de una rendija de difracción es el cambio del angulo respecto de la longitud de onda $d\theta = d\lambda$, esto se obtiene derivando la ecuación 8 respecto a λ :

$$\cos\theta \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{m}{d} \implies D = \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{m}{d \cos\theta_m} \quad (9)$$

- Poder de resolución:

El poder de resolución de una red es dado por la relación entre dos longitudes de onda al promedio de ellas (Ec. 10). El criterio usado es el de Rayleigh: " Cuando el máximo de un pico coincide con el mínimo del otro la estructura se considera resuelta".

$$R = \frac{\bar{\lambda}}{\Delta\lambda} = Nm \quad (10)$$

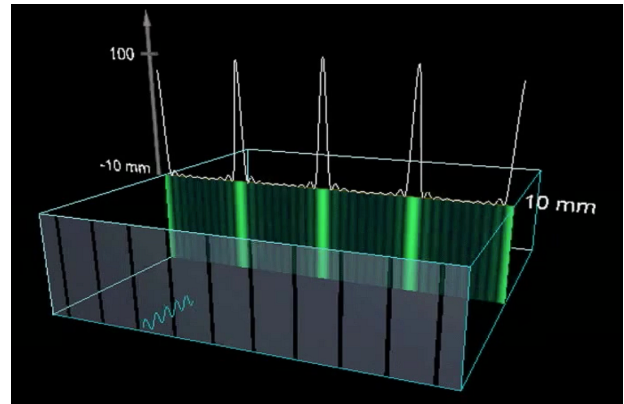


Fig. 3. Red de difracción y patrón de interferencia. [2]

III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Realizar el montaje del espectrómetro y su respectiva alineación óptica.
- Buscar las características de cada red de difracción: densidad de líneas, poder de dispersión y poder de resolución.
- Determinar la curva de calibración.
- Estudio de las fuentes desconocidas.

III-A. Realizar el montaje del espectrómetro y su respectiva alineación óptica.

Primero se debe realizar el montaje del experimento explicado en el diagrama de la figura 4. Se debe enfocar el telescopio para rayos paralelos usando un objeto lejano y eliminando el paralaje con el hilo de referencia. Es esencial nivelar el espectrómetro y alinear ópticamente todos los componentes, asegurando que estén a la altura correcta del eje óptico. La rendija del colimador debe ajustarse para obtener una imagen clara y estrecha. Finalmente, la rendija de difracción debe centrarse de forma perpendicular al colimador.

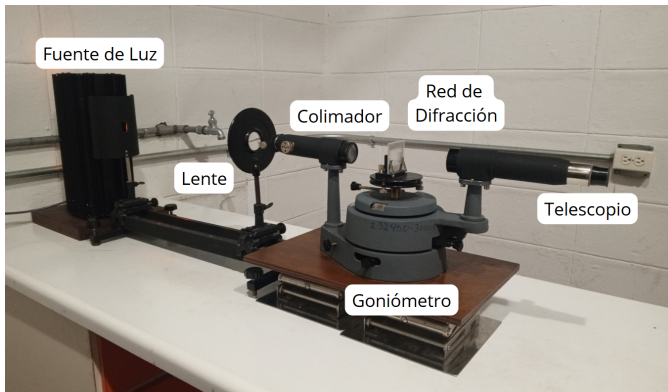


Fig. 4. Montaje experimental.

III-B. Caracterización de la red de difracción

Esto implica calibrar y alinear perpendicularmente la red con respecto al haz incidente. Este proceso se llevará a cabo utilizando una lámpara de sodio, cuyo espectro contiene dos líneas espectrales distinguibles que es el llamado doblete del sodio (Fig. 5). Para las cuales, el primer orden de interferencia, tanto del lado izquierdo como del derecho, se tiene que buscar el ángulo promedio del doblete respecto al orden cero y así, con el mismo ángulo de ambos lados, se logra alinear la red. Además, para la red se debe hallar el número de líneas iluminadas, su densidad de líneas, poder de dispersión y poder de resolución.

III-C. Determinar la curva de calibración

Se cambia la lámpara por una de mercurio para así poder determinar la curva que describe las bandas del espectro que resulta de la comparación de la longitud de onda teórica

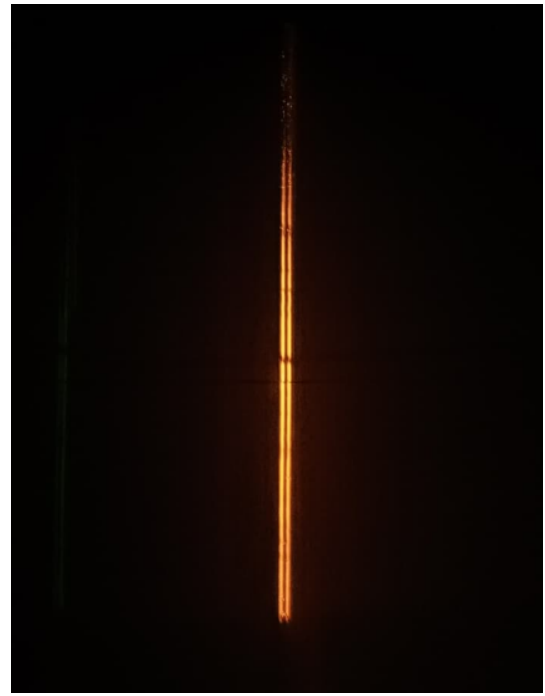


Fig. 5. Imagen del doblete del sodio.

contra el ángulo medido en radianes con el objetivo de tenerla como referencia para comparaciones posteriores. Se determinan los ángulos de cada banda del espectrómetro, esto se logra midiendo el ángulo de difracción para cada línea de emisión del mercurio de la interferencia del primer orden respecto al orden cero en la que se aprecia el haz de la luz incidente, también es posible determinar $\lambda_{experimental}$ para cada orden, sin embargo para esta experiencia solo se trabajará en el primer orden.

Haciendo una regresión lineal al gráfico se obtiene la pendiente m y la intersección b así obteniendo la curva de calibración:

$$\lambda(\theta) = m\theta + b \quad (11)$$

III-D. Estudio de las fuentes desconocidas

Se reemplazan la lámpara de mercurio y el riel óptico para la utilización los tubos de descarga del laboratorio. Para cada tubo de descarga se mide en el primer orden de interferencia el ángulo que tiene cada banda del espectro respecto a la banda del orden cero. Utilizando la curva de calibración del mercurio, se hace una extrapolación de los datos de cada tubo respecto a esta curva para poder determinar el gas que contiene cada tubo de descarga.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

IV-A. Buscar las características de cada red de difracción

Para la alineación de la red de difracción se usan los datos de la TABLA I, buscando obtener cual es el alguno de cada doblete del los primeros ordenes respecto al orden cero siendo estos reflejados en la TABLA II.

TABLA I
ÁNGULOS MEDIDOS DEL DOBLETE DE SODIO

| Orden | Cantidad de líneas | Línea | $\theta(\text{rad})$ |
|---------------|--------------------|-------|------------------------|
| 0 | 1 | Cent. | 1.380 |
| 1 | 2 | Izq. | 1.746 |
| | | Der. | 1.747 |
| -1 | 2 | Izq. | 1.012 |
| | | Der. | 1.013 |
| Incertidumbre | | | $\Delta\theta = 0,001$ |

TABLA II
ÁNGULOS RESULTADOS DE ALINEACIÓN

| Orden | $\bar{\theta}(\text{rad})$ |
|---------------|------------------------------|
| 1 | 0.368 |
| -1 | 0.367 |
| Incertidumbre | $\Delta\bar{\theta} = 0,001$ |

El número de líneas iluminadas N en este caso se obtiene con la ecuación 10 ya que es una forma conveniente de poder obtenerla y que N sea igual a R tiene sentido ya que un mayor número de líneas iluminadas implica un mayor poder de resolución, entonces para esta ecuación se tiene $m = 1$ y las $\lambda_{\text{tabuladas}}$:

$$\lambda_{Izq} = 589,0 \text{ nm} \quad (12)$$

$$\lambda_{Der} = 589,9 \text{ nm} \quad (13)$$

Resultando:

$$N = \frac{\bar{\lambda}}{\Delta\lambda} = \frac{589,6+589,0}{2} = 982,2 \approx 982 \quad (14)$$

La distancia entre líneas se obtiene con la ecuación 5 despejando d con $m = 1$ y donde en este caso $\lambda = 589,0$ y $\theta_m = 21,00 = 0,367$ es:

$$d = \frac{m\lambda}{N \sin(\theta_m)} = 1,67 \text{ mm} \quad (15)$$

La densidad de líneas se obtiene con la ecuación 6:

$$\sigma = \frac{1}{d} = 597,48 \text{ líneas/mm} \quad (16)$$

El poder de dispersión se obtiene con la ecuación 17:

$$D = \frac{m}{d \cos(\theta_m)} = 0,714 \text{ m}^{-1} \quad (17)$$

El poder de resolución se obtiene con la ecuación 10:

$$R = N = 982,2 \approx 982 \quad (18)$$

IV-B. Curva de calibración

En la tabla III se ven los datos obtenidos de la fuente de mercurio, para obtener $\lambda_{\text{experimental}}$ de la ecuación 1 se despeja λ . Y la gráfica de la curva está en la figura 6

TABLA III
CURVA DE CALIBRACIÓN PARA EL MERCURIO

| Orden 0 | | |
|-----------------|------------------------|--------------------------------------|
| Línea Espectral | $\theta(\text{rad})$ | |
| Haz de Luz | 1.398 | |
| Orden 1 | | |
| Línea Espectral | $\theta(\text{rad})$ | $\lambda_{\text{exp}}(\text{\AA})$ |
| Rosado | 0.268 | 4436.0 |
| Azul | 0.285 | 4703.0 |
| Azul claro | 0.320 | 5265.5 |
| Verde | 0.355 | 5812.3 |
| Amarillo | 0.376 | 6139.8 |
| Amarillo | 0.377 | 6166.9 |
| Naranja | 0.394 | 6428.6 |
| Naranja | 0.398 | 6491.5 |
| Rojo | 0.406 | 6617.0 |
| Incertidumbre | $\Delta\theta = 0,001$ | $\Delta\lambda_{\text{exp}} = 0,001$ |

De la gráfica se obtuvieron con la regresión lineal :

- $m = 15808,25$
- $b = 200,69$

Y la curva de calibración (Ec. 11) para el mercurio es:

$$\lambda(\theta) = 15808,25 \theta + 200,69 \quad (19)$$

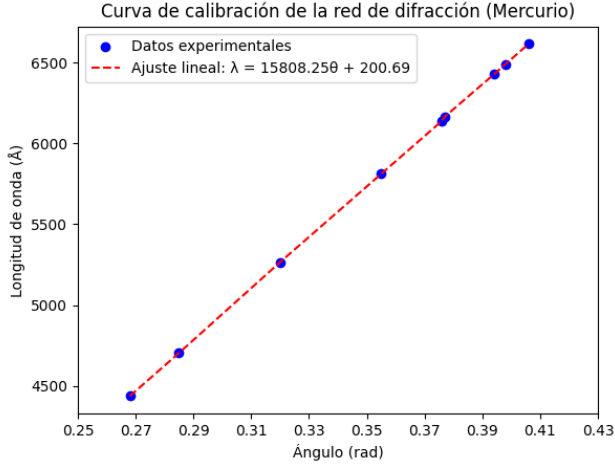


Fig. 6. Gráfica de la curva de calibración de la red de difracción (Mercurio).

IV-C. Estudio de las fuentes desconocidas

En las tablas IV, V y VI se ven los datos obtenidos para las diferentes fuente desconocidas.

TABLA IV
PRIMER FUENTE DESCONOCIDA (5C)

| Orden 0 | | |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------|
| Linea Espectral | $\theta(rad)$ | |
| Haz de Luz | 1.381 | |
| Orden 1 | | |
| Linea Espectral | $\theta(rad)$ | $\lambda_{exp}(\text{\AA})$ |
| Violeta | 0.252 | 4184.4 |
| Rosado | 0.259 | 4295.0 |
| Azul | 0.278 | 4595.4 |
| Azul claro | 0.291 | 4800.9 |
| Verde | 0.305 | 5022.2 |
| Amarillo | 0.311 | 5117.0 |
| Amarillo | 0.313 | 5148.7 |
| Naranja | 0.367 | 6002.3 |
| Naranja | 0.419 | 6824.3 |
| Incertidumbre | $\Delta \theta = 0,001$ | $\Delta \lambda_{exp} = 0,001$ |

Los datos de estas fuentes desconocidas se muestran en los gráficos 7, 8 y 9 donde simplemente se gráfica la curva y los datos.

IV-D. Comparación con espectro de diferentes gases

Con los datos obtenidos de las fuentes desconocidas, estos se comparan con los datos de diferentes gases que se encuentran en el manual [3].

TABLA V
SEGUNDA FUENTE DESCONOCIDA (6F)

| Orden 0 | | |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------|
| Linea Espectral | $\theta(rad)$ | |
| Haz de Luz | 1.381 | |
| Orden 1 | | |
| Linea Espectral | $\theta(rad)$ | $\lambda_{exp}(\text{\AA})$ |
| Morado | 0.250 | 4152.7 |
| Azul claro | 0.300 | 4943.2 |
| Naranja | 0.412 | 6713.7 |
| Incertidumbre | $\Delta \theta = 0,001$ | $\Delta \lambda_{exp} = 0,001$ |

TABLA VI
TERCERA FUENTE DESCONOCIDA (5B)

| Orden 0 | | |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------|
| Linea Espectral | $\theta(rad)$ | |
| Haz de Luz | 1.381 | |
| Orden 1 | | |
| Linea Espectral | $\theta(rad)$ | $\lambda_{exp}(\text{\AA})$ |
| Rosado | 0.272 | 4500.5 |
| Azul | 0.276 | 4563.8 |
| Azul claro | 0.309 | 5085.4 |
| Verde | 0.304 | 5006.4 |
| Amarillo | 0.311 | 5117.1 |
| Amarillo | 0.312 | 5132.9 |
| Naranja | 0.366 | 5986.5 |
| Naranja | 0.419 | 6824.3 |
| Incertidumbre | $\Delta \theta = 0,001$ | $\Delta \lambda_{exp} = 0,001$ |

- Fuente 5C se encontró similitud con el Helio.
- Fuente 6F se encontró similitud con el Hidrógeno y Deuterio.
- Fuente 5B se encontró similitud con el Criptón y Mercurio.

Estas comparaciones se encuentran en las gráficas 10, 11, 12, 13 y 14.

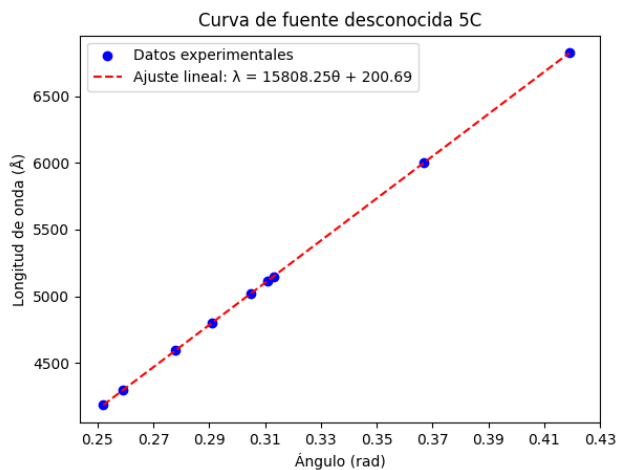


Fig. 7. Gráfica de los datos de la primera fuente desconocida (5C)

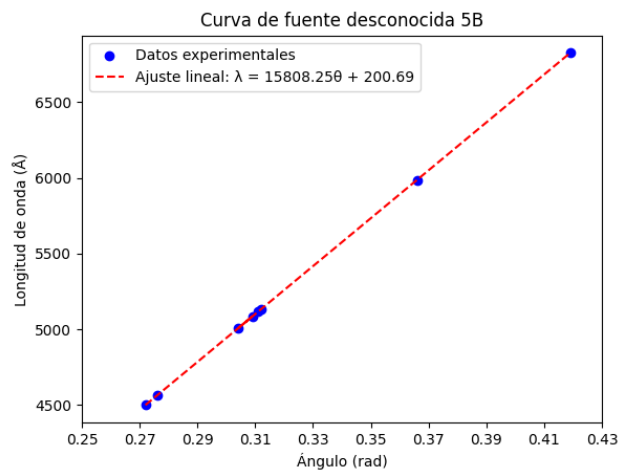


Fig. 9. Gráfica de los datos de la tercera fuente desconocida (5B)

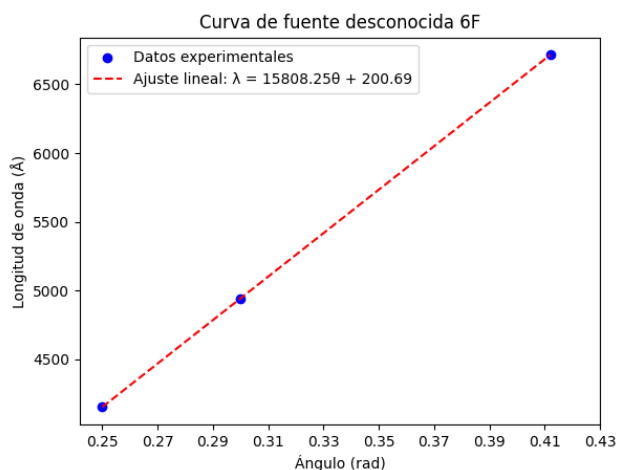


Fig. 8. Gráfica de los datos de la segunda fuente desconocida (6F)

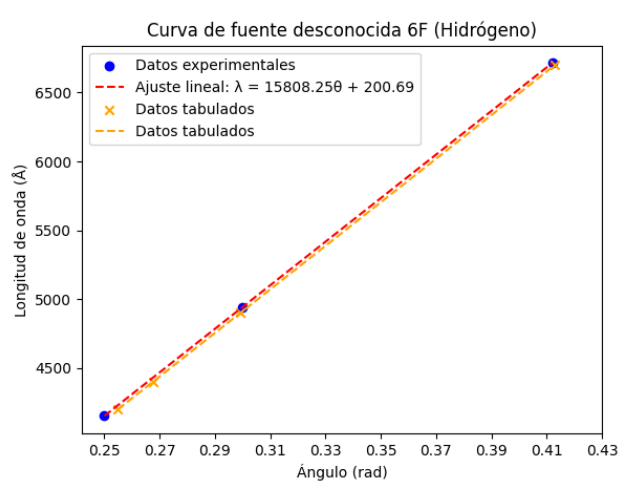


Fig. 11. Gráfica comparación en Fuente 6F y el Hidrógeno

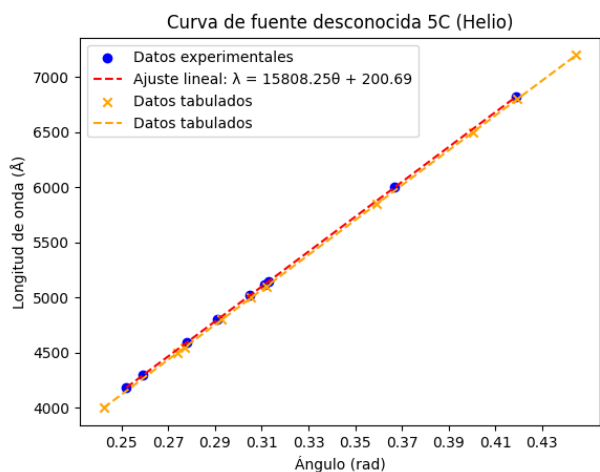


Fig. 10. Gráfica comparación en Fuente 5C y el Helio

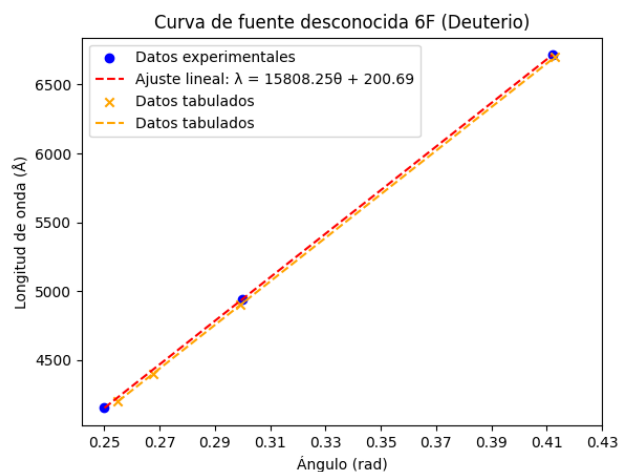


Fig. 12. Gráfica comparación en Fuente 6F y el Deuterio

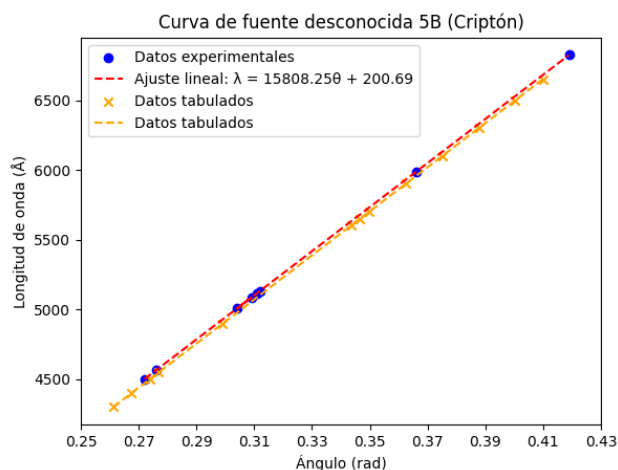


Fig. 13. Gráfica comparación en Fuente 5B y el Criptón

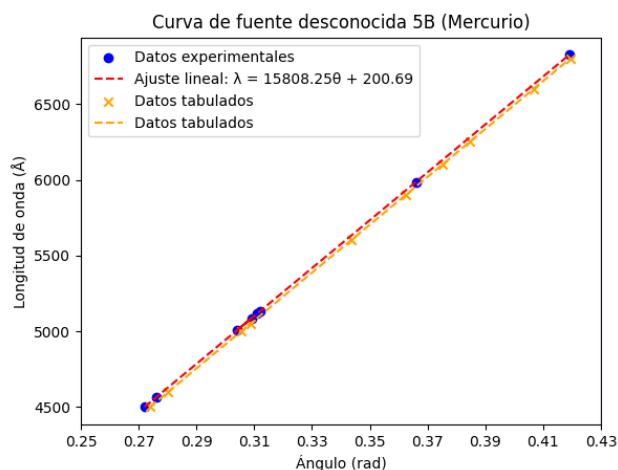


Fig. 14. Gráfica comparación en Fuente 5B y el Mercurio

CONCLUSIONES

En esta práctica se logró cumplir satisfactoriamente con los objetivos planteados. Primero, se consiguió alinear correctamente el espectrómetro y calibrar la red de difracción utilizando la lámpara de sodio como referencia. Posteriormente, se obtuvo la curva de calibración empleando el espectro del mercurio, lo que permitió establecer la relación entre las posiciones angulares de difracción y las longitudes de onda conocidas. Finalmente, esta curva de calibración fue fundamental para identificar los gases contenidos en las lámparas de fuentes desconocidas, determinando que correspondían a helio, hidrógeno/deuterio y una mezcla de criptón/mercurio.

Es importante destacar que los resultados presentan ciertas discrepancias atribuibles principalmente a limitaciones en la toma de mediciones. Particularmente, la condición de daltonismo del estudiante pudo afectar la identificación precisa de algunas líneas espectrales, ya sea no detectando ciertas longitudes de onda o percibiendo otras que normalmente no serían

visibles. Esta condición visual podría explicar tanto la ausencia de algunas líneas esperadas como la posible identificación errónea de ciertos colores en los espectros observados.

A pesar de estas limitaciones, el experimento demostró ser una herramienta valiosa para comprender los principios de la espectroscopia por red de difracción y su aplicación en la identificación de elementos. Los resultados obtenidos, aunque con ciertas variaciones, siguen mostrando concordancia con los valores teóricos esperados, validando la metodología empleada y los fundamentos físicos involucrados en el proceso de difracción e interferencia luminosa.

REFERENCIAS

- [1] F. W. Sears, M. W. Zemansky, H. D. Young, and R. A. Freedman, *Física Universitaria con Física Moderna*, 12th ed. México: Pearson Educación, 2009, vol. 2.
- [2] BYU Physics & Astronomy, "Fraunhofer Diffraction Through Multiple Slits," YouTube, 2020, [Consultado el día/mes/año en que accediste]. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=hP57EBr1Zlk>
- [3] Electro-Technic Products Inc., *Spectrum Tubes*, Electro-Technic Products Inc., 4642 N. Ravenswood, Chicago, Illinois 60640-4510, USA, [s.f.], documentación técnica de productos, Número de impresión: 085-0061-2.
- [4] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fundamentals of Physics*, 10th ed. United States of America: Wiley, 2014, vol. Extended.
- [5] R. A. Serway and J. W. Jewett, *Física para ciencias e ingeniería con Física Moderna*, 7th ed. México: Cengage Learning, 2009, vol. 2.
- [6] J. Martín and F. Dugarte, *Guías de laboratorio (Laboratorio III)*, Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, (Material no publicado).