

TP 3: Redes de Difracción

Caorsi Juan Ignacio, jcaorsi@itba.edu.ar

Dib Ian, idib@itba.edu.ar

Moschini Rita, rmoschini@itba.edu.ar

Tamagnini Ana, atamagnini@itba.edu.ar

Grupo 4 - 27/05/2025

1. Resumen

En este informe se estudia el fenómeno de difracción e interferencia de la luz utilizando una red de difracción de transmisión. Para ello, en el trabajo de laboratorio se iluminó la red con un haz monocromático de láser He-Ne ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$) y con la luz policromática de una lámpara de vapor de mercurio.

El primer objetivo fue determinar la constante de red K , calculada a partir de la medición de la distancia entre la red y la pantalla y de la separación de los máximos de primer orden del patrón de interferencia del láser. El valor obtenido, $K = (5891 \pm 73,9) \text{ cm}^{-1}$ resulta coherente con el especificado por el fabricante ($K \approx 6000 \text{ cm}^{-1}$).

A continuación, empleando el valor de K previamente calculado, se midieron las posiciones de los primeros máximos de interferencia ($m = \pm 1$) para las líneas azul, verde y amarillo de la lámpara de mercurio. Las longitudes de onda determinadas fueron: $\lambda_{\text{azul}} = (437,7 \pm 7,6) \text{ nm}$, $\lambda_{\text{verde}} = (550,6 \pm 8,6) \text{ nm}$ y $\lambda_{\text{amarillo}} = (579,5 \pm 8,9) \text{ nm}$. Estos resultados concuerdan con los valores teóricos de 436 nm, 546 nm y 577 nm respectivamente, consultados en la bibliografía, ya que todas las mediciones caen dentro de sus incertidumbres.

2. Introducción

El carácter ondulatorio de la luz se evidencia en fenómenos que no pueden explicarse mediante un modelo basado únicamente en partículas, como la interferencia y la difracción (Hecht, 2017). Cuando dos o más ondas luminosas se superponen, las variaciones de fase originan zonas de máxima y mínima intensidad (interferencia). Por otro lado, al pasar un frente de onda por rendijas o estructuras periódicas, éste se “extiende” más allá de la geometría de la abertura, dando lugar a patrones de difracción. Estos efectos fueron estudiados sistemáticamente en el siglo XIX y constituyen la base de la óptica moderna.

En el presente trabajo se determina la constante de red K de una malla difractora de transmisión y, con ella, se medirán longitudes de onda del espectro del mercurio. Para ello se dispone una fuente láser (He-Ne, $\lambda = 632,8 \text{ nm}$) que ilumina perpendicularmente la red, y se registra en una pantalla la posición de los máximos laterales de interferencia. Más adelante, la misma red y un arreglo de lente y diafragma se emplean para observar las líneas espectrales de una lámpara de vapor de mercurio.

A continuación, siguiendo el desarrollo de Hecht, partimos de la condición de máximos de interferencia para una red de espaciamiento d y ángulo de difracción θ :

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

Definiendo la constante de red $K = \frac{1}{d}$ y considerando el primer orden ($m = 1$)), $\sin \theta = \frac{\lambda}{d} \longrightarrow K = \frac{1}{\lambda} \sin \theta$. Geométricamente, si Y es la mitad de la separación entre los primeros máximos en la pantalla y D la distancia red-pantalla, como se ve en la figura 1,

$$\sin \theta = \frac{Y}{\sqrt{Y^2 + D^2}} \implies K = \frac{1}{\lambda} \frac{Y}{\sqrt{Y^2 + D^2}}. \quad (2)$$

Estas expresiones se emplearán para calcular K con su incertidumbre, y posteriormente, despejando λ de la ecuación anterior, para obtener las longitudes de onda de las líneas azul, verde y anaranjada del mercurio.

3. Método Experimental

Se colocó de forma secuencial una lámpara de vapor de mercurio (la cual emitía un láser de He-Ne), una lente convergente que enfocaba la imagen, la red de difracción a estudiar y una pantalla sobre la cual visualizar los máximos de interferencia de primer orden de las distintas longitudes de onda.

3.1. Constante de la red

Para esta primera parte de la experiencia, se utilizó la pared del laboratorio como pantalla.

Como se observa en la figura 1, con la luz de la lámpara de vapor se iluminó la red de difracción, permitiendo la observación de varios puntos luminosos a ambos lados del máximo central correspondientes a los máximos de interferencia. Luego, se midieron la distancia Y entre el máximo de primer orden y el de orden cero, y la distancia D entre la pared y la red. Con estas mediciones directas, las ecuaciones desarrolladas anteriormente y el dato de que la longitud de onda del haz emitido por el dispositivo es $\lambda = 632,8 \text{ nm}$, se calculó la constante K de la red.

Vale la pena aclarar que, para obtener la distancia Y , se tomó la distancia $2Y$ entre los máximos de primer orden para tener un menor error relativo (al ser mayor el valor medido, su incerteza es menor en comparación). Además, de esta manera se tiene en consideración que la pared puede no encontrarse ubicada de forma perfectamente paralela a la red.

3.2. Longitud de onda de las líneas azules, verdes y rojas

En esta segunda parte del experimento, para determinar las longitudes de onda de los distintos componentes del haz emitido por la lámpara de mercurio, se armó la disposición experimental igual que se hizo para la primera parte, con la adición de una pantalla blanca en el extremo opuesto a la lámpara de vapor, un diafragma contiguo a la lámpara y previo a la red, y una lente convergente contigua al diafragma y también previa a la red (ver figura 2).

Se ajustó tanto la cantidad de luz que permitía pasar el diafragma, como su posición y la posición de la lente, de manera que las líneas de los máximos de interferencia de primer orden correspondientes a las distintas longitudes de onda se vieran con la mayor nitidez posible y sean a la vez lo más finas posibles (para obtener mediciones más precisas).

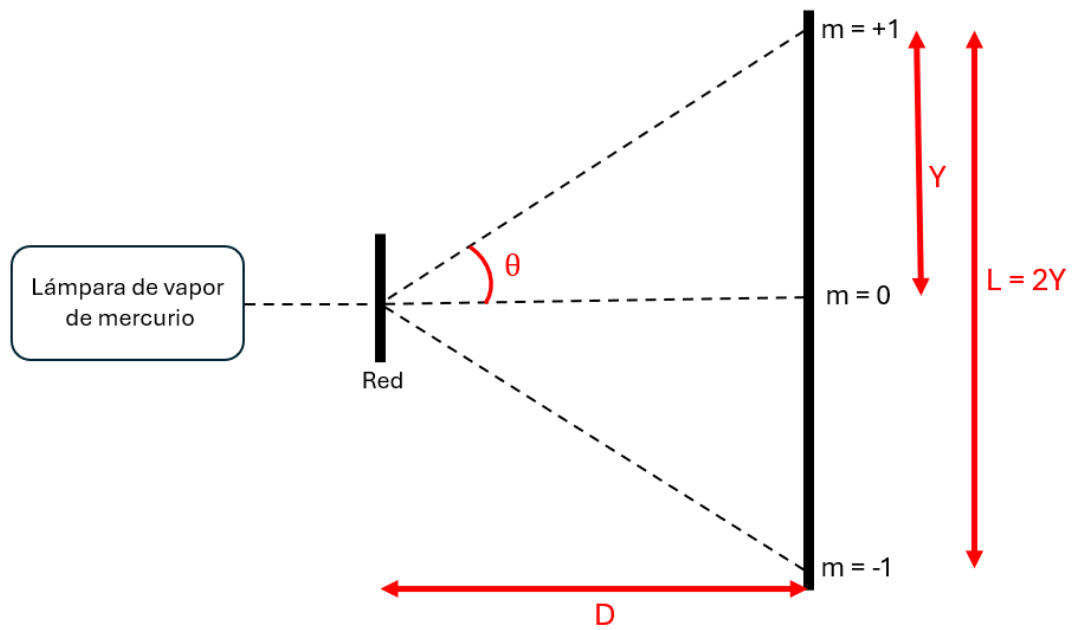


Figura 1: Diagrama de la disposición experimental para calcular la constante de la red, junto con las variables intervinientes.

Finalmente, se midieron la distancia D entre la pantalla y la red, y las distancias $2Y_{\text{azul}}$, $2Y_{\text{verde}}$ y $2Y_{\text{naranja}}$ entre los máximos de primer orden de cada color (es decir, de cada longitud de onda).

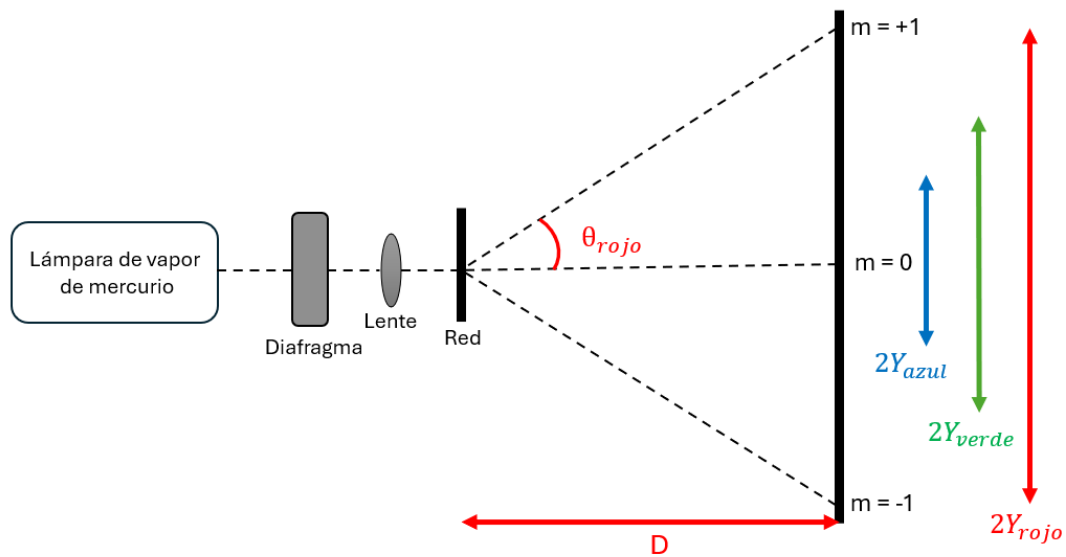


Figura 2: Diagrama de la disposición experimental para calcular las longitudes de onda, junto con las variables intervinientes.

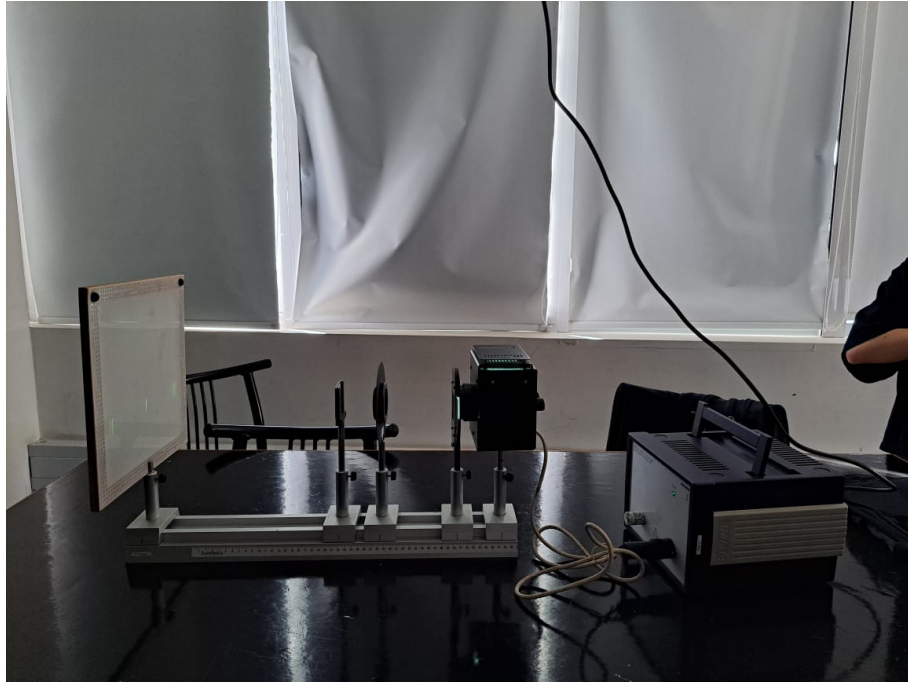


Figura 3: Foto de la disposición experimental en funcionamiento. De derecha a izquierda se pueden ver la fuente de alimentación, la lámpara de vapor de mercurio, el diafragma, la lente, la red de difracción y la pantalla.

4. Resultados

4.1. Constante de la red

Se midieron los valores $D = (169 \pm 0,1) \text{ cm}$ y $2Y = (139,40 \pm 1) \text{ cm}$. Reemplazando en la ecuación 2, se obtiene $K = (5891 \pm 73,9) \text{ cm}^{-1}$.

4.2. Longitud de onda de las líneas azul, verde y roja

Se midieron el valor $D = (29,6 \pm 0,1) \text{ cm}$ y los valores de Y presentados en la siguiente tabla:

Color	$Y \text{ (cm)}$
<i>Azul</i>	$7,9 \pm 0,1$
<i>Verde</i>	$10,15 \pm 0,1$
<i>Amarillo</i>	$10,75 \pm 0,1$

Tabla 1: Valores de las distancias entre el máximo de primer orden y el de orden cero de cada longitud de onda (Y , no $2Y$).

Reemplazando en la ecuación 2 se obtienen las longitudes de onda presentadas en la siguiente tabla:

Onda por color	λ (nm)
λ_{azul}	$437,7 \pm 7,6$
λ_{verde}	$550,6 \pm 8,6$
$\lambda_{amarillo}$	$579,5 \pm 8,9$

Tabla 2: Valores calculados de las longitudes de onda de tres colores.

5. Conclusiones

En la primera parte del experimento se obtuvo que la constante de la red es $K = (5891 \pm 73,9)cm^{-1}$, valor que resulta razonable al compararlo con la especificación del fabricante ($K \approx 6000 cm^{-1}$). Se estima que el error relativo de 1,25 % proviene de la determinación de la posición de los máximos y de la medición de la distancia red-pantalla.

Para las longitudes de onda de las líneas del mercurio se hallaron $\lambda_{azul} = (437,7 \pm 7,6)$ nm, $\lambda_{verde} = (550,6 \pm 8,6)$ nm y $\lambda_{amarillo} = (579,5 \pm 8,9)$ nm. Al comparar estos valores experimentales con los teóricos (436 nm, 546 nm y 577 nm respectivamente (University of Iowa, s.f.)), se observó que se encuentran dentro del rango de las incertidumbres experimentales. Las desviaciones relativas menores al 2 % pueden atribuirse a factores como la alineación imperfecta del montaje y la resolución limitada en la medición de la separación entre máximos.

6. Apéndice: Cálculo de Incertezas

6.1. Constante de la red

Dado que en esta primera parte la longitud de onda del haz emitido se considera como dato (un valor exacto), entonces su incerteza $\Delta\lambda$ es nula y ΔK se calcula como:

$$\Delta K = \sqrt{(\Delta y)^2 \left(\frac{D^2}{\lambda (Y^2 + D^2)^{\frac{3}{2}}} \right)^2 + (\Delta D)^2 \left(-\frac{YD}{\lambda (D^2 + Y^2)^{\frac{3}{2}}} \right)^2} \quad (3)$$

donde $\Delta y = \frac{\Delta L}{2}$ y, como los máximos de interferencia no son puntuales, tomamos $\Delta L \approx 2$ cm correspondiente al diámetro del punto de luz.

6.2. Longitud de onda de las líneas azul, verde y roja

En esta segunda parte, sabemos que $\Delta D = 0,1$ cm.

Para calcular la incerteza de cada longitud de onda utilizamos la siguiente ecuación:

$$\Delta\lambda = \sqrt{(\Delta K)^2 \left(-\frac{Y}{\sqrt{Y^2 + D^2} K^2} \right)^2 + (\Delta D)^2 \left(-\frac{YD}{K (D^2 + Y^2)^{\frac{3}{2}}} \right)^2 + (\Delta Y)^2 \left(\frac{D^2}{K (Y^2 + D^2)^{\frac{3}{2}}} \right)^2} \quad (4)$$

Se pueden ver los valores de cada longitud de onda junto a su respectiva incerteza en la tabla 2, en la sección de resultados.

Referencias

Hecht, E. (2017). *Optics* (5.^a ed.). Pearson Education.

University of Iowa. (s.f.). *7B10.20 - Spectral Lines/Spectroscopy - Mercury Emission Lines*. Instructional Resources Physics. Descargado de <https://instructional-resources.physics.uiowa.edu/demos/7b1020-spectral-linesspectroscopy-mercury-emission-lines> (Retrieved May 27, 2025)