

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 aborda el fenómeno óptico de la interferencia de la luz en el caso de redes de difracción. Para su estudio, se utilizaron haces de luz provenientes de un láser de He-Ne y una lámpara de mercurio. Los objetivos abarcan la determinación de la constante de la red de difracción y la medición de tres longitudes de onda de luz emitidas por la lámpara de mercurio. Se midió la distancia entre la pared y la red y la distancia entre los máximos de primer orden del patrón del haz de He-Ne, monocromático y de longitud conocida, para calcular la constante de red. Se obtuvo como resultado que $K = () \text{ cm}^{-1}$, valor coherente con lo informado por el fabricante de la red, que reporta $K = 6000 \text{ cm}^{-1}$.

Para determinar las longitudes de onda principales del espectro de la lámpara de vapor de mercurio se utilizó la misma red con su constante calculada anteriormente y se midieron las distancias entre los primeros máximos de interferencia ($m = 1; -1$) de cada color. Las longitudes de onda resultaron ser: $A = \text{nm}$ para el color azul; $v = \text{nm}$ para el color verde; $N = \text{nm}$ para el anaranjado; datos que se corresponden con... (algo)

2. INTRODUCCIÓN

El carácter ondulatorio de la luz se evidencia en fenómenos que no pueden explicarse mediante un modelo puramente corpuscular, como la interferencia y la difracción. 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 [Hecht, *Optics*].

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 ($m = 1$)), $\sin \theta = \frac{\lambda}{d} \rightarrow K = \frac{1}{\lambda} \sin \theta$. Geométricamente, si Y es la mitad de la separación entre los primeros máximos en la pantalla y D la distancia red-pantalla (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, invirtiendo la relación de (2), 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 $H_e N_e$), 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 del la lámpara de vapor se iluminó la red de difracción, permitiendo la observación de varios puntos luminosos correspondientes a los máximos de interferencia a ambos lados del máximo central. 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 calcularon el ángulo θ y la constante K de la red.

Vale la pena aclarar que para obtener la distancia Y se midió la distancia $2Y$ entre los máximos de primer orden, de manera que el error relativo sea menor es decir que al ser mayor el valor medido, su incerteza sea 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

Esta segunda parte del experimento tiene como objetivo 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 finitas posibles (para obtener mediciones más precisas).

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).

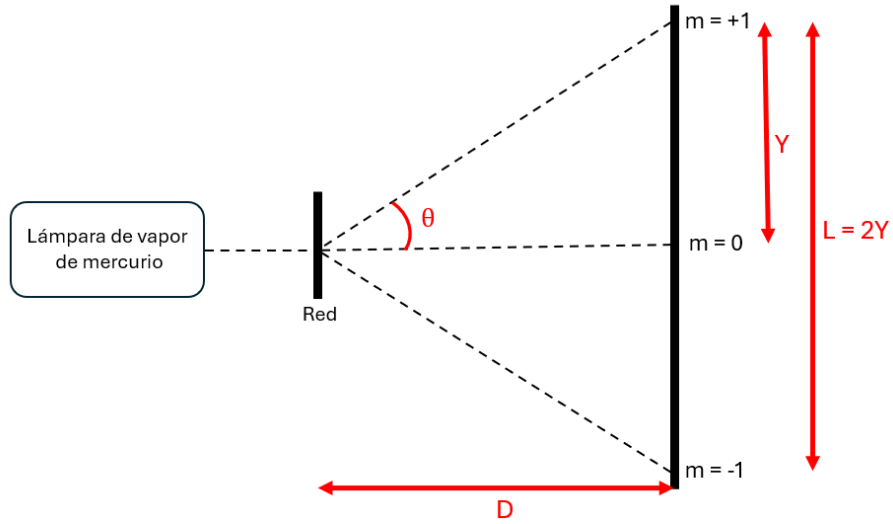


Figura 1: Diagrama de la disposición experimental para calcular la constante de la red, junto con las variables intervinientes.

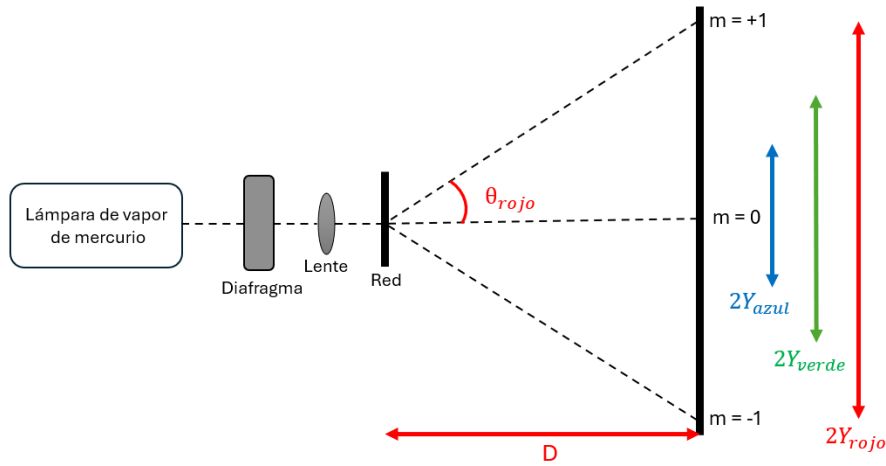


Figura 2: Diagrama de la disposición experimental para calcular las longitudes de onda, junto con las variables intervinientes.

4. RESULTADOS

Para más información sobre el desarrollo de las incertezas, ir al apéndice de incertezas, sección 6.

4.1. Constante de la red

Se midieron los valores

$$D = (169 \pm 0,1) \text{ cm}$$

$$2Y = (139,40 \pm 1) \text{ cm}$$

Reemplazando en la ecuación (1) se obtiene que

$$K = (6025 \pm 739) \frac{1}{\text{cm}}$$

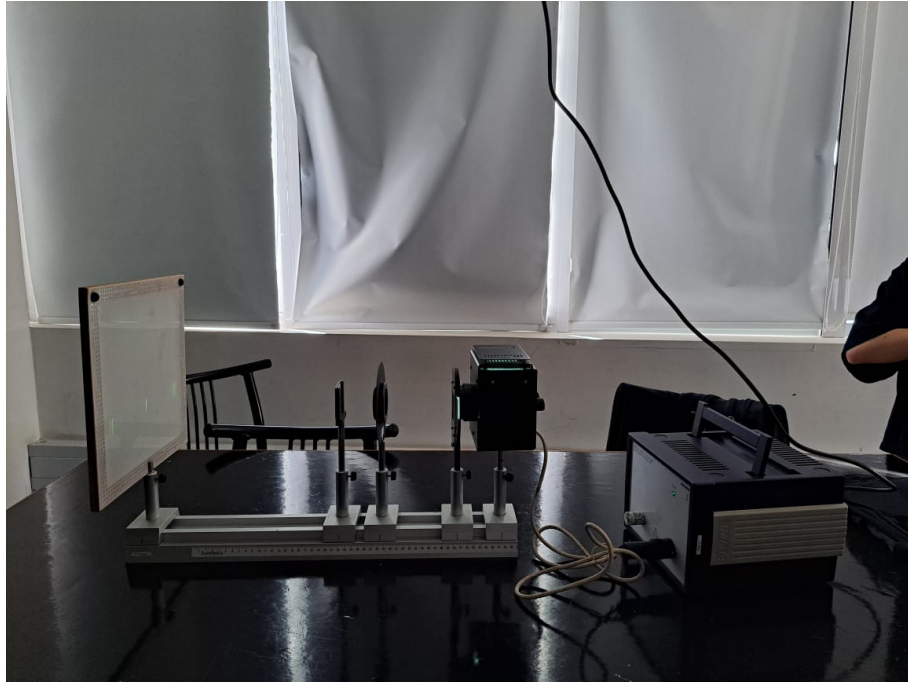


Figura 3: Foto de la disposición experimental en funcionamiento. De derecha a izquierda se pueden ver la fuente de alimentación, la lámpara de vapor de mercurio, el diafragma, la lente, la red de difracción y la pantalla.

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

Se midieron el valor $D = (29,60 \pm 0,1)$ cm y los presentados en la tabla 1:

Color	Y (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 tabla 2:

Onda por color	λ (nm)
λ_{azul}	$428,3 \pm 52,7$
λ_{verde}	$538,8 \pm 66,2$
$\lambda_{\text{amarillo}}$	$567,0 \pm 69,6$

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 de $K = 6025 \pm 739 \text{ cm}^{-1}$, valor que resulta razonable en comparación con la especificación del fabricante $K \approx 6000 \text{ cm}^{-1}$. La incertidumbre experimental proviene principalmente 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 $\lambda_{azul} = 428,3 \pm 52,7$ nm, $\lambda_{verde} = 538,8 \pm 66,2$ nm y $\lambda_{amarillo} = 567,0 \pm 69,6$ nm. Al analizar los valores teóricos de 436,0 nm, 546,1 nm y 577,0 nm respectivamente, se observó que caen dentro 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

Entonces los valores buscados fueron los siguientes:

6.1. Constante de la red

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

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

donde $\Delta y = \frac{\Delta L}{2}$. Como los máximos de interferencia "no son puntuales", la incerteza de esta medición no puede regirse acorde a la incerteza de la cinta métrica, por lo que se toma $\Delta L =$ "diámetro del punto de luz" ≈ 2 cm.

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 incerteza junto a su respectiva longitud de onda en la tabla 2, en la sección de resultados.