

# Medición de la longitud de onda de una lámpara de sodio y de un láser He-Ne mediante el estudio de interferencia con biprisma de Fresnel

Rodriguez Arianna, Cardoso Magalí Alejandra, Martínez Agustín Pablo

arinnarodri2004@gmail.com, magali4076@gmail.com, fontamartinex@gmail.com

Laboratorio 2C, 2°C. 2023

Departamento de Física, FCEyN, UBA

En este trabajo se determinó la longitud de onda de la luz de una lámpara espectral de sodio y de la luz de un láser He-Ne por separado, ambos a través del fenómeno de interferencia producido por un biprisma de Fresnel, utilizando la relación  $y_m = \lambda \frac{L}{a} m$ . Con la lámpara de sodio se obtuvo una longitud de onda  $\lambda_{\text{sodio}} = (547 \pm 22) \text{ nm}$ , que, teniendo 2 sigmas como criterio, no tuvo diferencias significativas comparado con su valor tabulado  $\lambda_{\text{tab}} = (589,0 \pm 0,3) \text{ nm}$ . Luego, para el láser se obtuvo  $\lambda_{\text{láser}} = (662 \pm 51) \text{ nm}$  que, teniendo 1 sigma como criterio, tampoco tuvo diferencias significativas comparado con su valor tabulado  $\lambda_{\text{tab}} = (632,8 \pm 0,1) \text{ nm}$ . Habiendo analizado, además, las métricas de bondad y residuos de cada experimento, se consideró que el método fue confiable. Por último, se observó que el error relativo de  $\lambda_{\text{sodio}}$  fue 4%, menor al del  $\lambda_{\text{láser}}$  que fue 8%.

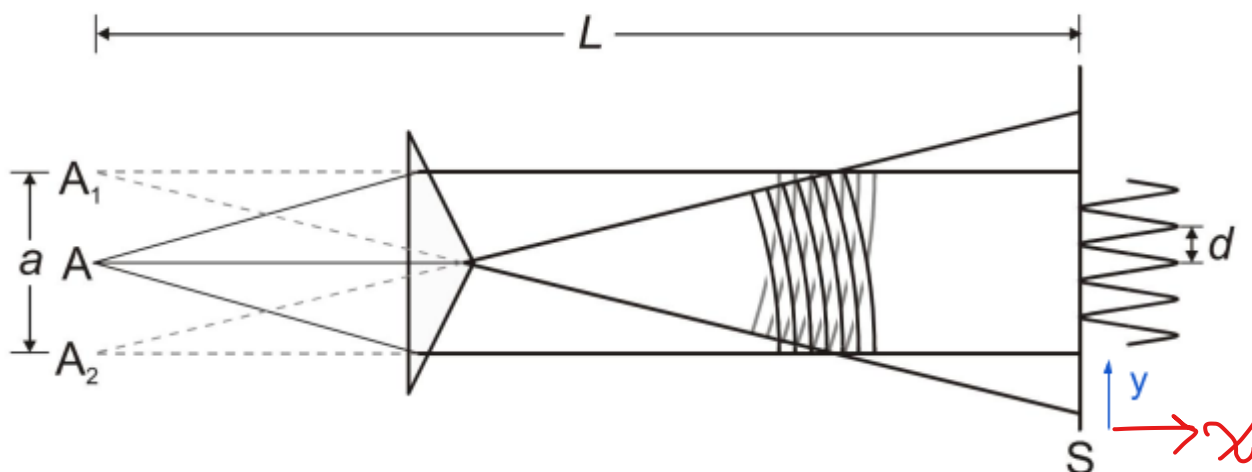
## 1. Introducción

Empezaron un poco bruto la introducción.

Como se indica en la Fig. 1, cuando la luz de una fuente  $A$  incide sobre dos prismas de base común (Biprisma de Fresnel), se generan, separadas por una distancia  $a$ , dos fuentes virtuales de luz  $A_1$  y  $A_2$ , coherentes entre sí [1]. Las ondas emitidas por éstas, interfieren entre sí, dando lugar en una pantalla ubicada a distancia  $L$  de las fuentes, a un patrón de intensidad de franjas claras (donde hay interferencia constructiva) y de franjas oscuras (donde hay interferencia destructiva), con interfranja de longitud  $d$ .

una

Intenten que no queden espacios así grandes en blanco. Pueden achicar un poco la imagen si es necesario.



**Fig. 1.** Desde la fuente  $A$ , inciden rayos sobre el biprisma, que se transmiten y se reflejan dando lugar a 2 fuentes secundarias y virtuales  $A_1$  y  $A_2$ , con distancia  $a$  entre sí. Los rayos procedentes de ellas interfieren y puede observarse a una distancia  $L$  sobre una pantalla  $S$  el patrón de interferencia con distancia  $d$  entre máximos. En azul se indica el sistema de referencia. Imagen tomada de [2].

Partiendo desde el principio de superposición de ondas planas [3] y suponiendo una diferencia de fase inicial nula y misma amplitud  $A$  para ambas fuentes virtuales, la intensidad  $I$  observada en cada punto de la pantalla está dada por

$$I = 4A \cos^2\left(\frac{\delta}{2}\right), \quad (1)$$

donde  $\delta$  es la diferencia de camino óptico entre los haces de luz de cada fuente,

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} (r_1 - r_2), \quad (2)$$

siendo  $r_1$  y  $r_2$  los caminos recorridos por cada haz hasta algún punto  $y$  en la pantalla, y  $\lambda$  la longitud de onda. Para una distancia  $L$  mucho mayor a  $a$ , se puede aproximar la ecuación anterior como

Más prolijo: 'A partir de la ecuación 1, se observa que los máximos ...'

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} a \frac{y}{L}. \quad (3)$$

Teniendo en cuenta que, observando la Ecuación (1), se obtendrán máximos de intensidad en el patrón de interferencia para valores de  $\delta$  múltiplos de  $2\pi$ , se llega fácilmente a la relación

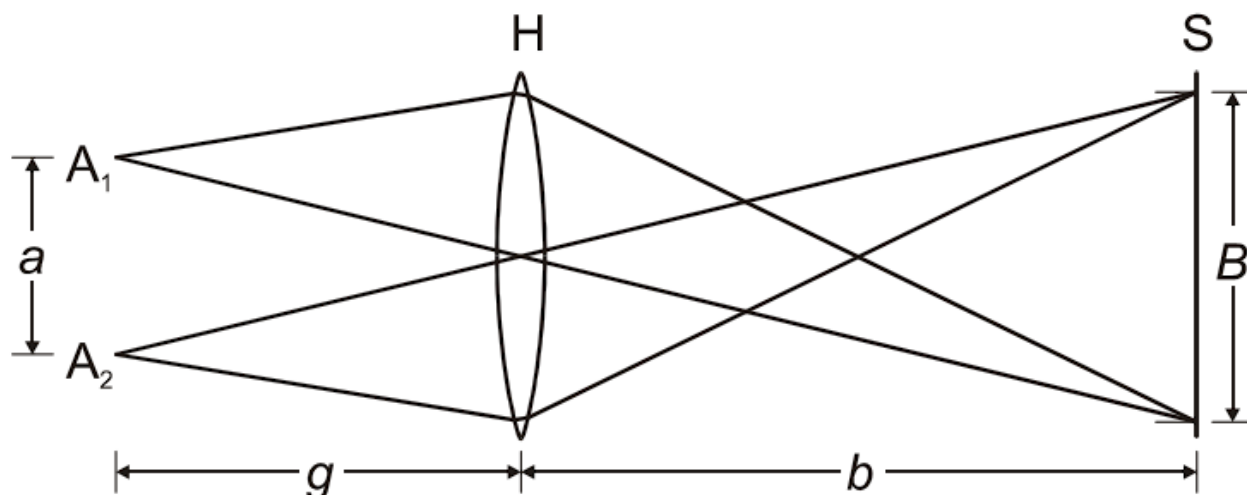
$$y_m = \lambda \frac{L}{a} m, \quad (4)$$

que permite determinar  $\lambda$  a partir de la medida de los  $m$ -ésimos máximos de interferencia  $y_m$ , la separación entre fuentes  $a$  y la distancia a la pantalla  $L$ .

Para aplicar la Ecuación (4), se supone conocida la distancia  $a$ . Ésta se puede determinar mediante un montaje óptico como se muestra en la Fig. 2.

Tienen que describirla en el texto, aunque ya este descrita en el epígrafe. Recuerden que las figuras y el texto son independientes. Uno debería poder entender una sin la otra.

Capaz de acá en adelante se puede dar por sabido. No es tan relevante para el trabajo central en sí. Pero esta bien.



No están explicando qué está haciendo con el lente.

**Fig. 2.** Caminos de los haces procedentes de las fuentes virtuales  $A_1$  y  $A_2$ , con distancia  $a$  entre sí, para generar una imagen nítida sobre la pantalla de observación  $S$  atravesando una lente  $H$ . La lente dista  $g$  de las fuentes y  $b$  de la pantalla, donde podrán verse las imágenes de  $A_1$  y  $A_2$  con distancia  $B$  entre sí, siendo  $B > a$ . Imagen tomada de [2].

Utilizando la ecuación del aumento de una lente  $H$ ,  $a$  depende de las siguientes distancias:  $g$ , de las fuentes a la lente;  $b$  de la lente a la pantalla; y  $B$ , entre las imágenes sobre la pantalla de las fuentes virtuales.

$$a = g \frac{B}{b}. \quad (5)$$

Luego, conociendo la distancia focal  $f$  de la lente, se obtiene la siguiente relación por la Ecuación de lentes:

$$\frac{1}{g} = \frac{1}{f} - \frac{1}{b}. \quad (6)$$

A partir de las Ecuaciones (5) y (6) se puede reescribir a la Ecuación (4) de la siguiente manera:

$$y_m = \lambda \frac{b^2}{f \cdot B} m. \quad (7)$$

El objetivo de esta experiencia fue determinar la longitud de onda  $\lambda$  de un haz de luz cuasi-monocromático, emitido por una lámpara espectral de sodio; y de un láser He-Ne. Para ello, se utilizó cada luz como fuente para generar interferencia mediante un biprisma de Fresnel.

Este sí se considera monocromático.

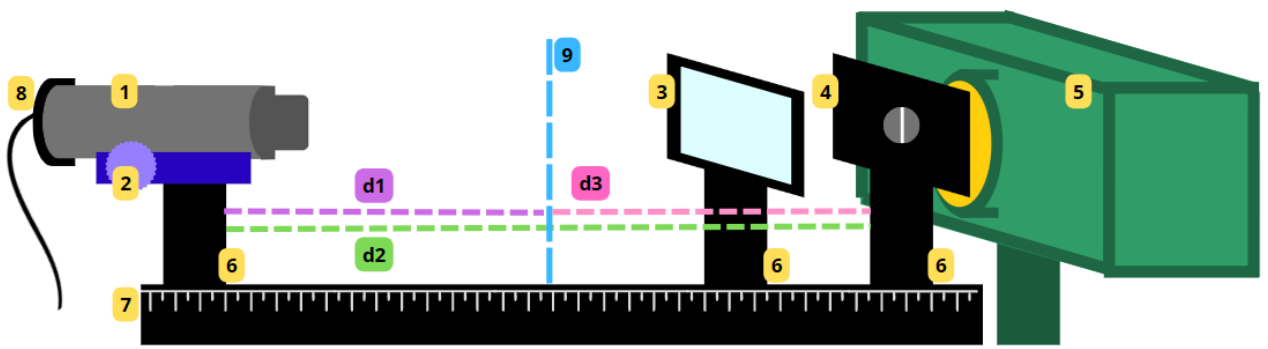
## 2. Experimento 1: Medición de longitud de onda de lámpara de sodio

### 2.1. Desarrollo experimental

Con el fin de obtener, utilizando la Ecuación (4), la longitud de onda de la luz proveniente de una lámpara de sodio, se utilizó un sistema como el que se muestra en la Fig. 3 para realizar interferencia mediante biprisma de Fresnel, teniendo este tipo de luz como fuente principal y obteniendo con este interferómetro, 2 fuentes virtuales coherentes entre sí.

Esto lo dirían en resultados. No es relevante ahora.

Idem que antes, describan la figura en el texto.



**Fig. 3.** Esquema del sistema para estudiar interferencia con Biprisma de Fresnel y lámpara de sodio. Con el microscopio (1) montado sobre un riel (2) que se utiliza para enfocar, se observa el plano (9) donde interfieren los rayos y, acercándolo al biprisma (3), se observan las fuentes virtuales en el mismo plano de la rendija (4) por la que pasa la luz de la lámpara de sodio (5) para aproximarla como una fuente puntual. La distancia de enfoque del sist. cámara-microscopio es  $d1 = (14,7 \pm 0,1)$  cm; luego, para observar interferencia, la separación entre (9) y (4) debe ser  $d3 = (14,7 \pm 0,1)$  cm y la distancia entre (1) y (4) debe ser  $d2 = (25,5 \pm 0,1)$  cm. Los instrumentos están sobre torretas (6) montadas sobre un riel con división milimétrica (7).  $d1$ ,  $d2$  y  $d3$  se miden con el riel milimetrado y se consideran como las distancias entre los bordes enfrentados de las torretas. El fenómeno se observa por computadora mediante una cámara (8) conectada al microscopio.

Hubo 3 pasos importantes para comenzar: primero, se utilizó una rendija con un ancho tal que pueda aproximarse como una fuente puntual y que permita el paso de la luz con suficiente intensidad para que las mediciones sean observables; segundo, en el armado, el centro de todos los componentes (la cámara, el microscopio, el biprisma, la rendija y la fuente principal) se colocó en un mismo eje longitudinal, a la misma altura y perpendicular al eje del riel; y tercero, se calibró el microscopio. No aporta mucho

En cuanto a las distancias: por un lado,  $d1$ ,  $d2$  y  $d3$  se midieron con el riel milimetrado y se consideraron como las distancias entre los bordes enfrentados de las torretas que sostenían a los elementos entre los que se quería conocer la distancia. Por otro lado, se consideró obtener  $a$  mucho más chica que  $L$  (Fig. 2) para que valga la Ecuación (3), y se logró que  $a$  sea 3 órdenes menores que  $L$ .

### 2.1.1. Distancia entre fuentes virtuales

No tiene mucho sentido estas subsubsecciones. Podrían estar incluidas en la 2.1

En esta primera observación, se ubicó el microscopio a distancia  $d1 = (14,7 \pm 0,1)$  cm de la rendija (que fue la distancia de enfoque hallada) con el biprisma en medio (Fig.1), observando así, en el mismo plano vertical de la rendija, a las dos fuentes virtuales separadas por  $a = (0,394 \pm 0,014)$  mm. Luego, con la imagen tomada como referencia en la calibración, en la fotografía tomada se estableció, con el programa Image J, una relación directa entre la distancia real y la cantidad de píxeles de la imagen. Además, se verificó que el centro de los componentes estuvieran en un mismo eje.

Mantengan siempre la misma cantidad de cifras significativas. Hasta acá venían usando una.

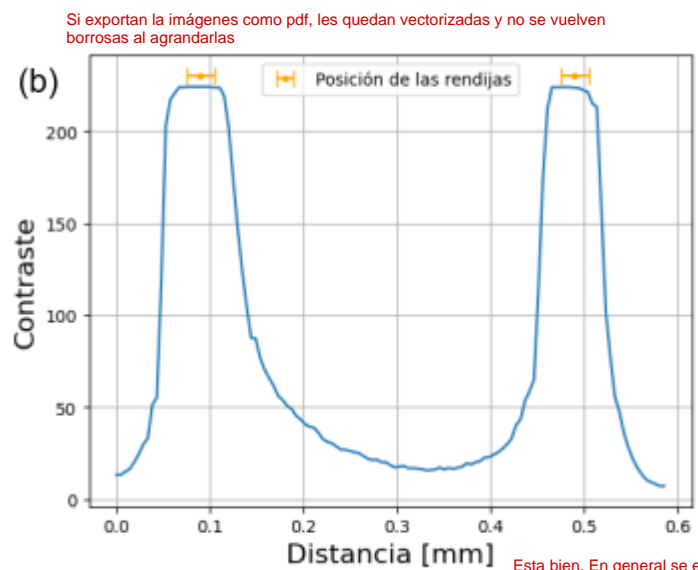
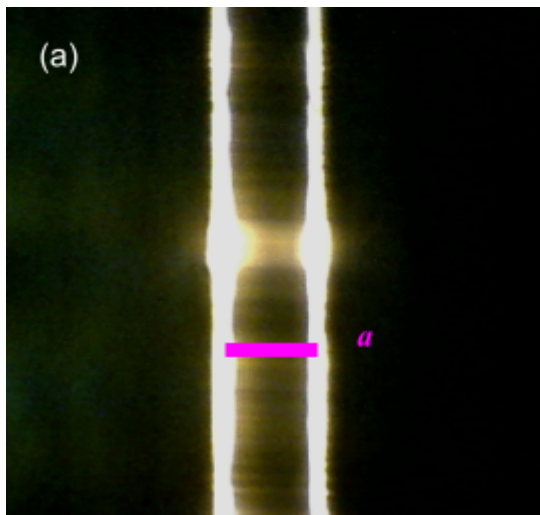
### 2.1.2. Patrón de interferencia

Para la segunda observación, se alejó al microscopio de la rendija hasta una distancia  $d2 = (25,5 \pm 0,1)$  cm, observando así el plano donde se producía la interferencia (Fig. 3). De

esta manera, éste plano y las fuentes quedaron separados por  $d3 = (10,8 \pm 0,1)$  cm. Una vez visualizada la interferencia, se reguló la precisión fina de la rendija y se guardó la imagen dada por la cámara, obteniendo así el patrón de interferencia deseado para el análisis.

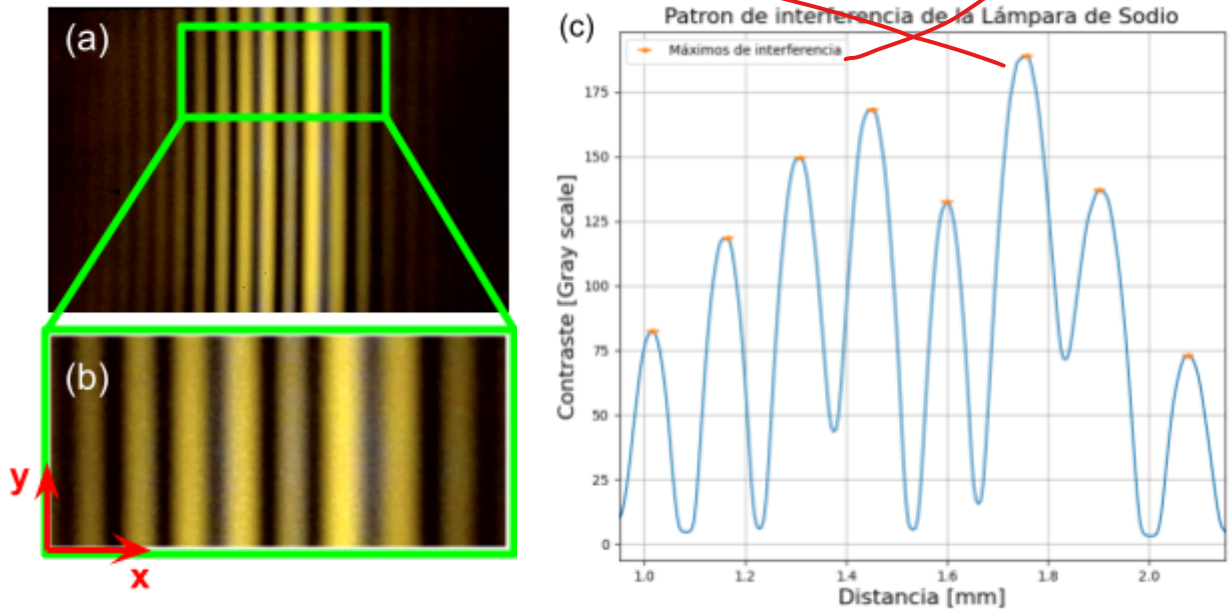
## 2.2. Resultados y discusión

A partir de 2.1.1 se obtuvo la Fig. 4 en la que se visualizaron las 2 fuentes virtuales y se marcó la distancia  $a$  entre ellas. La fotografía se analizó con el programa Image J, y se realizó el gráfico de contraste en función de distancia, utilizando la imagen de referencia guardada en la calibración. Finalmente se obtuvo  $a = (0,394 \pm 0,014)$  mm.



**Fig. 4.** En (a) se muestra la fotografía de la observación, mediante microscopio, de las fuentes virtuales producidas por un biprisma, alumbrado con rayos de una lámpara de sodio. Se marcó en fucsia la distancia  $a$  entre ellas. Luego en (b) se presenta el gráfico del análisis de contraste de la fotografía con el programa Image J para determinar con mayor precisión las posiciones. En naranja se indican los máximos con sus errores.

De la segunda observación se obtuvo la fotografía de la Fig. 5a, en la que se visualizó el patrón de interferencia producida por el biprisma, por el que pasaron los rayos de la lámpara de sodio. Con el programa Image J, se analizó un fragmento del patrón de interferencia en el que se consideró confiable el contraste entre franjas oscuras y claras (Fig. 5b). Con los datos extraídos de este análisis, se realizó un gráfico de contraste en función de la distancia (Fig. 5c), con el sist. de referencia que se indicó en el fragmento en la Fig. 5b.



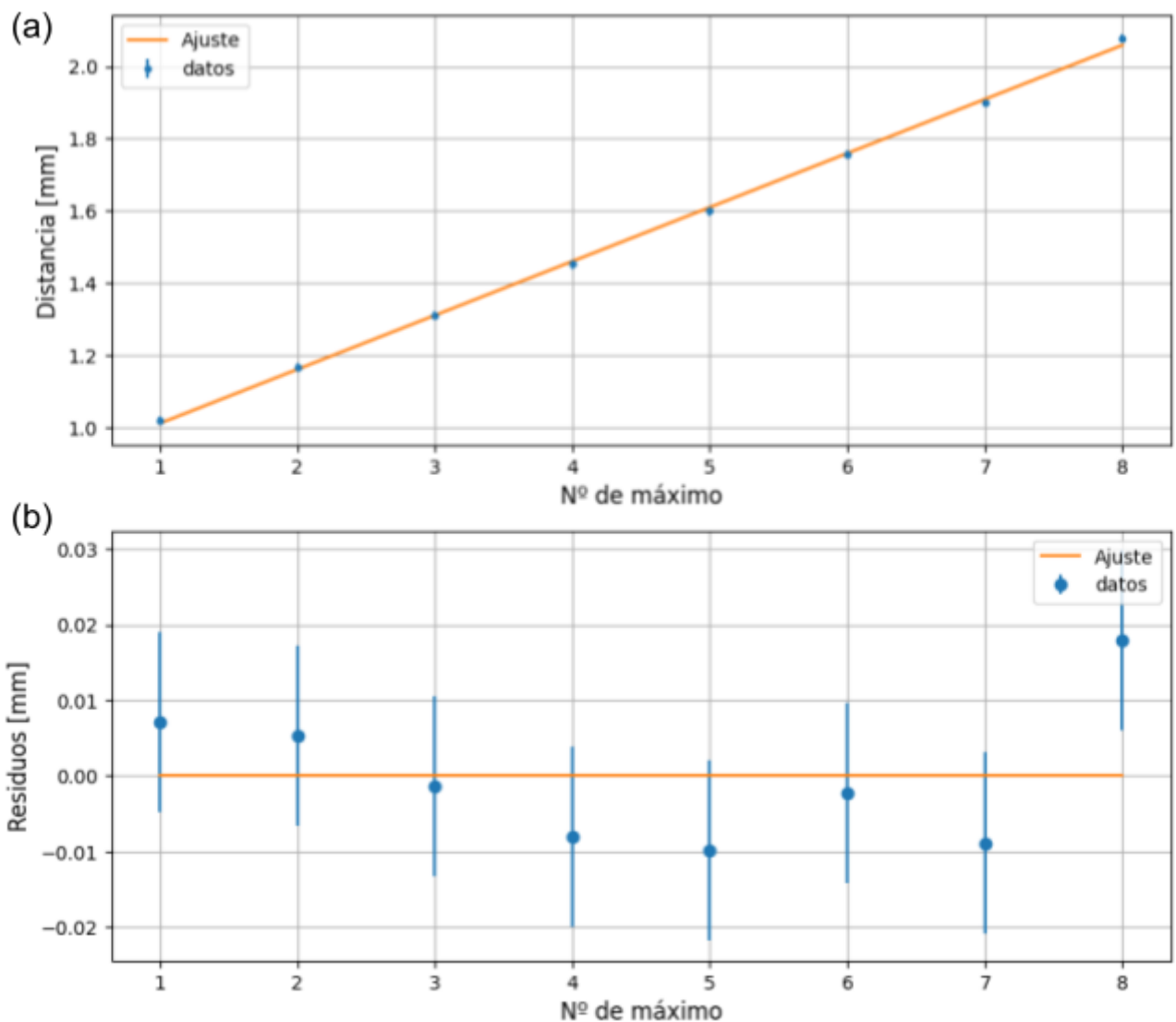
Esta bien presentada esta figura.

**Fig. 5.** En (a) se muestra la fotografía de la observación, mediante microscopio, del patrón de interferencia producido por los rayos de una lámpara de sodio que atravesaron un biprisma. En verde, se indica el segmento del patrón que se analizó (b), en el que en rojo se indica el sistema de referencia utilizado para el gráfico. En (c) se muestra el gráfico del análisis de contraste del segmento con el programa Image J, en el que se marcan con naranja los máximos de interferencia con sus respectivos errores. Observando este gráfico, se puede aproximar, a simple vista, que la interfranja se mantiene constante, y que la intensidad va disminuyendo hacia los extremos.

Va en texto esto

A partir de los máximos extraídos de la Fig. 5c, se realizó un ajuste lineal (Fig. 6a) utilizando la Ecuación (4), con la distancia de cada máximo en función del n° de máximo.

No dejen espacios en blanco



**Fig. 6.** El gráfico (a) corresponde al ajuste lineal del gráfico de la Fig. 5, con la distancia en función del nº de máximo. Los errores no alcanzan a visualizarse debido a la escala. Luego, se adjuntan los residuos del ajuste que parecen mostrar una distribución aleatoria (b), lo que indicaría que se trató de un buen ajuste.

De este ajuste se obtuvo el parámetro  $p = \lambda \frac{L}{a}$ . Luego, habiendo medido  $L$  como  $d3 = (14,7 \pm 0,1)$  cm y  $a = (0,39 \pm 0,01)$  mm, se obtuvo  $\lambda = (547 \pm 22)$  nm. Luego, se comparó este resultado con el tabulado, siendo este:  $\lambda_{\text{sodio tab}} = (589,0 \pm 0,3)$  nm [4]. Teniendo como criterio 2 sigmas, que sería un error del 8% del valor obtenido, no hubo diferencias significativas entre éste y el tabulado.

No es 'la longitud de onda del sodio' Sería un valor medio del doblete del espectro del sodio.

Además, se calcularon las métricas de bondad y se observó que  $\chi^2$ , el Coeficiente de Pearson y el coeficiente de correlación se acercaron a 1. Estos resultados, junto a la distribución aleatoria de los residuos, confirmaron la confiabilidad del ajuste.

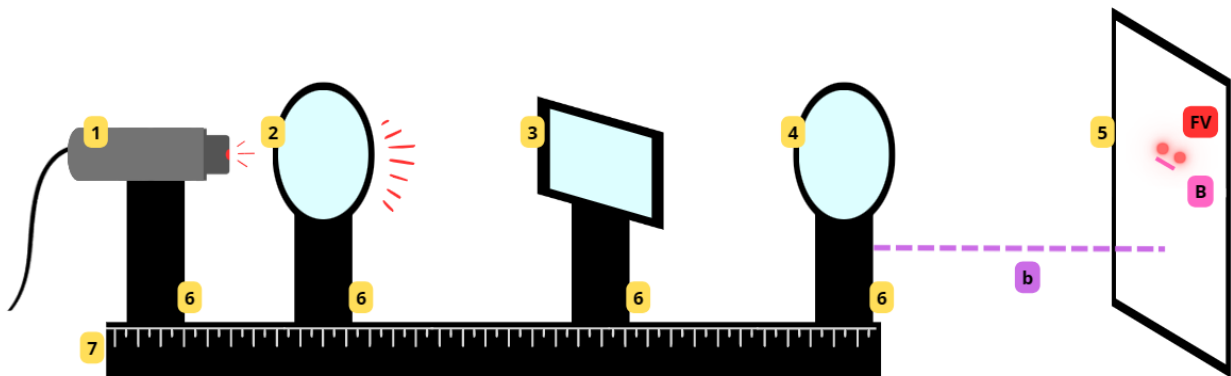
Nunca nombraron la figura. No pueden no nombrar figuras. Es como que no estuvieran.

### 3. Experimento 2: Medición de longitud de onda de un láser He-Ne

#### 3.1. Desarrollo experimental

Para obtener la longitud de onda <sup>'de un puntero'</sup> del láser (marca Staples) <sup>No. Irrelevante</sup> con la Ecuación (7), <sup>Nombren las ecuaciones cuando las usan</sup> se precisó obtener las distancias  $b$  y  $B$  (Fig. 2). Para ello, se utilizó un sistema como el que se muestra en la Fig. 4 para realizar interferencia mediante biprisma de Fresnel, teniendo este tipo de luz como fuente principal.

Se colocó el centro de los instrumentos (láser, lentes y biprisma) alineados sobre un mismo eje horizontal, perpendicular al riel. La distancia focal de las lentes (marca Thorlabs) fue  $f_1 = 60$  mm para la primera (modelo LB1199) y  $f_2 = 200$  mm para la segunda (modelo LB1723), ambas con error despreciable [5]. La pantalla de observación se ubicó a  $b = (243,5 \pm 0,5)$  cm de la segunda lente, <sup>Las cosas que les tacho son irrelevantes</sup> medido con cinta métrica con resolución de 1 mm.



**Fig. 7.** Esquema del sistema para estudiar interferencia con Biprisma y láser He-Ne. El rayo incidente del láser (1) atraviesa la lente 1 (2) que diverge la luz, iluminando luego al biprisma (3). Los rayos transmitidos atraviesan la lente 2 (4) que los converge, mostrando en la pantalla de observación (5) la imagen aumentada de las fuentes virtuales (FV), permitiendo medir la distancia  $B$  entre las mismas. Para observar el patrón de interferencia, se elimina la segunda lente. Los instrumentos están sobre torretas (6) montadas sobre un riel con división milimétrica (7). La pantalla se ubicó a  $b = (243,5 \pm 0,1)$  cm de (4).

##### 3.1.1. Distancia entre fuentes virtuales

Para medir  $B$ , la luz del láser atravesó en orden: lente 1, haciendo diverger a los rayos; biprisma, creando 2 fuentes virtuales; lente 2, para converger los rayos como en la Fig.2; y llegó finalmente a la pantalla de observación, mostrando la imagen aumentada de las fuentes virtuales, en la que se midió, con una regla de resolución 1 mm, la distancia entre ellas como  $B = (1,3 \pm 0,1)$  cm.

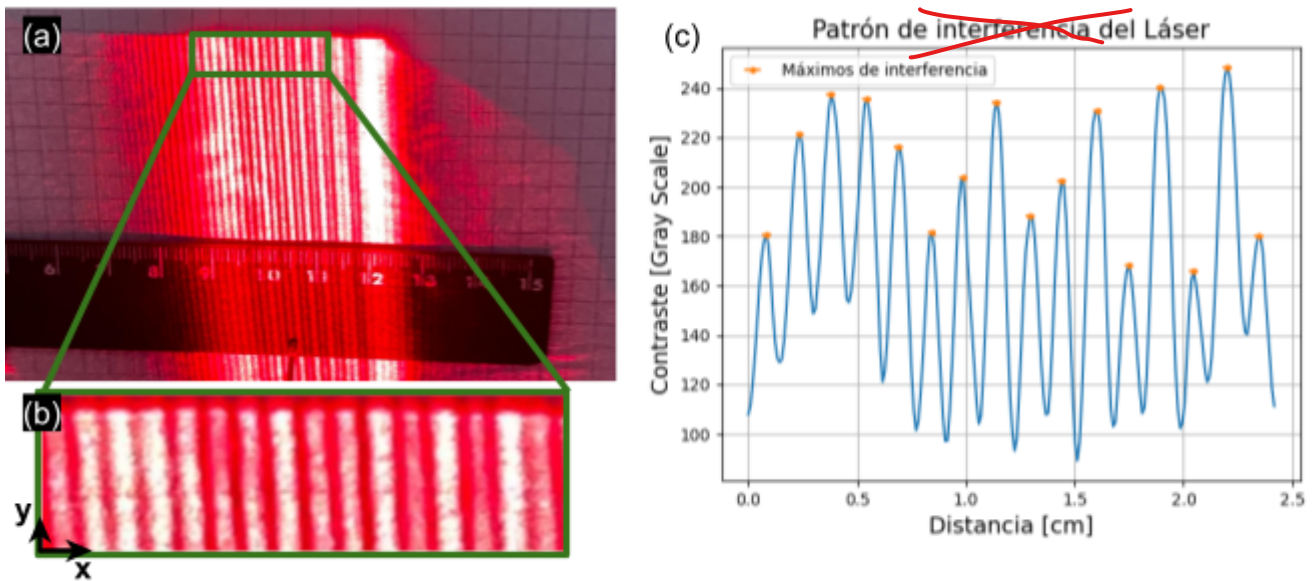
##### 3.1.2. Patrón de interferencia

Para observar el patrón de interferencia se quitó la lente 2 y, dada la dificultad de medir la interfranja por observación directa, se tomó una fotografía apoyando la regla perpendicular a las líneas del patrón a modo de referencia, <sup>Idem que antes, pueden ser párrafos subsecciones</sup> para luego se analizarla con el programa Image J.



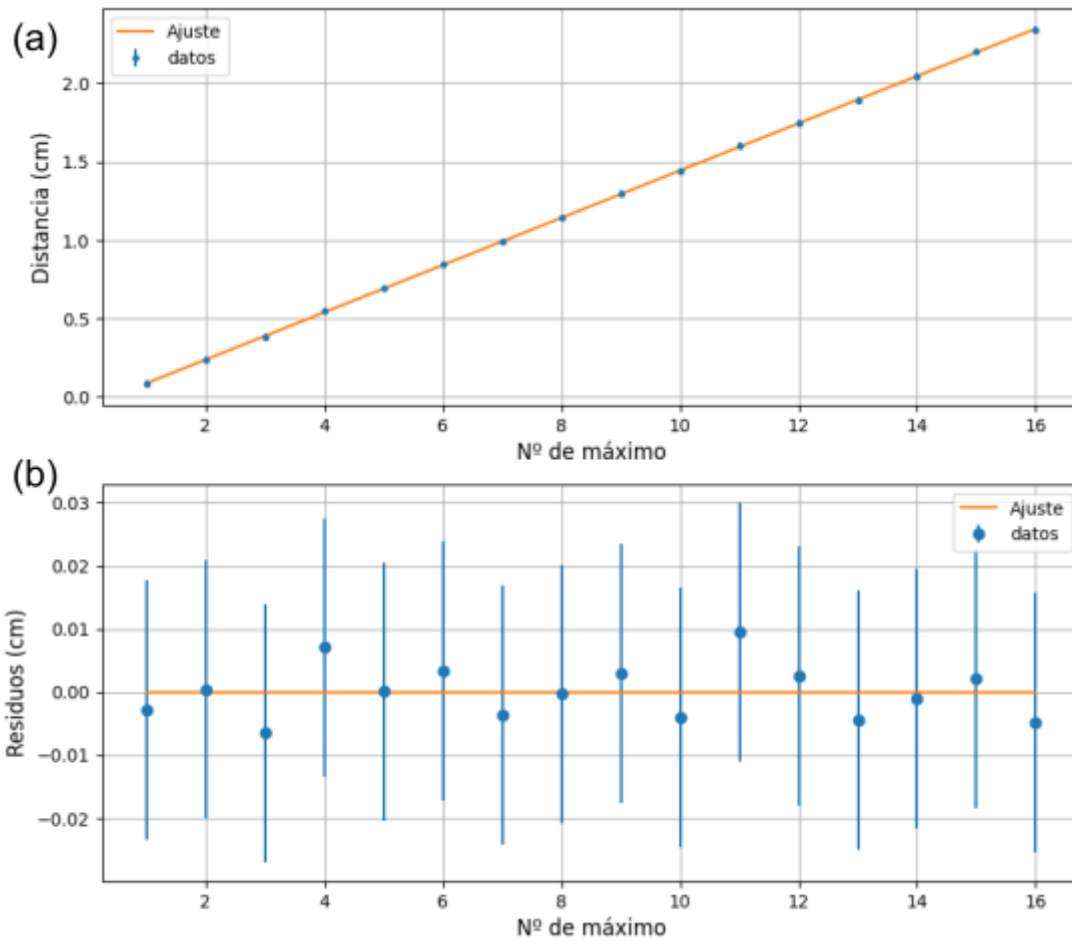
### 3.2. Resultados y discusión

A partir del desarrollo experimental 3.1 se obtuvo el patrón de interferencia de la Figura 8.



**Fig. 8.** En (a) se presenta la fotografía del patrón de interferencia dado por un láser He-Ne a través de un biprisma. En verde, se indica el segmento del patrón que se analizó (b), en el que se indica el sistema de referencia utilizado para el gráfico. Luego, en (c) se muestra el gráfico del análisis del segmento mencionado, indicando en naranja los máximos de interferencia con sus respectivos errores. A simple vista se puede ver cómo, a pesar de variaciones en el contraste, la interfranja parece mantenerse constante.

A partir de los datos extraídos del gráfico de la Fig. 8c, utilizando la Ecuación (7) se realizó un ajuste lineal de la distancia de cada máximo en función del n° de máximo, como se muestra en la Fig. 9.



**Fig. 9.** El gráfico (a) corresponde al ajuste lineal del gráfico de la Fig. 8c, con la distancia de cada máximo en función del nº de máximo del segmento analizado del patrón de interferencia. Los errores no alcanzan a visualizarse debido a la escala. Gráfico (b): se adjuntan los residuos en los que se observa una distribución aleatoria, lo que podría indicar que se logró un buen ajuste.

Finalmente, a partir del parámetro  $p = \lambda \frac{b^2}{f.B}$  devuelto por el ajuste, y luego de realizar la propagación de errores correspondiente, se obtuvo el valor de la longitud de onda del láser  $\lambda_{\text{láser}} = (662 \pm 51) \text{ nm}$  (es decir, con una incerteza del 8%), y se lo comparó con el valor tabulado  $\lambda_{\text{láser tab}} = 632,8 \text{ nm}$  [5], con el que no presentó diferencias significativas teniendo 1 sigma como criterio.

Además, se calcularon las métricas de bondad y se observó que  $\chi^2$ , el Coeficiente de Pearson y el coeficiente de correlación se aproximaron 1. Estos resultados, junto a la distribución aleatoria de los residuos, confirmaron la confiabilidad del ajuste.

## 4. Conclusiones

Pongan los resultados, o sea los números

En ambos experimentos se logró el objetivo de obtener, mediante el patrón de interferencia de cada una de las fuentes a través del biprisma, la longitud de onda de cada tipo de luz. Para el caso de la lámpara de sodio, el resultado no tuvo diferencia significativa con el tabulado teniendo como criterio 2 sigmas; mientras que, para el caso del láser, tampoco hubo diferencia significativa entre lo

obtenido y el valor dado por el fabricante, pero teniendo como criterio 1 sigma. En ambos casos, el criterio para la comparación representó un error del 8% de cada resultado.

Se consideró que se realizaron buenos ajustes gracias a la distribución aleatoria de los residuos y las métricas de bondad de cada uno. Teniendo en cuenta, además, que en el desarrollo de ambos no se presentaron dificultades graves, la interferencia tal como se realizó se consideró un método confiable para obtener  $\lambda$  con una precisión cercana al 8%.

## 6. Referencias

[1]: “F2: Ondas”, Ricardo A. Depine, [link](#), accedido 30/10.

[2]: “Óptica ondulatoria: Interferencia de dos rayos”, Dpto. de Física de la FCEyN, [link](#), accedido 30/10.

[3]: “Ondas: es física”, Oscar E. Martínez [link](#), accedido 30/10.

Esto es un libro de Eudeba, no una pagina de internet. Entonces lo referencian como corresponde. (editorial, año de publicación, etc.)

[4]: “Las diferentes clases de espectros”, Observatoire de Paris [link](#), accedido 30/10.

[5]: Catálogo y especificaciones de los instrumentos utilizados, [link](#), accedido 30/10.

## 7. Agradecimientos

A Franco, ayudante de Laboratorio 2C en FCEyN, por las múltiples consultas resueltas.



A Carolina, ayudante de Laboratorio 2C en FCEyN, por su colaboración en el armado experimental.

A Sebastián, Jefe de Trabajos Prácticos de Laboratorio 2C en FCEyN, por su dedicación y compromiso para resolver inquietudes cualquier día y en cualquier horario.

Finalmente a todo el equipo de Laboratorio 2C por su apoyo y su buena disposición de siempre.