

Fenómenos de reflexión y refracción en una interfaz

Objetivos

El objetivo general del laboratorio es estudiar los fenómenos formación de imágenes desde el punto de vista de la óptica de rayos y además reconocer los fenómenos de óptica-física desde el punto de vista electromagnético de la luz.

A continuación se detallan los objetivos específicos:

- Observar fenómenos de óptica geométrica: Se empleará un objeto asimétrico y una lente convergente para analizar las distintas posibilidades de formación de imágenes de una lente convergente.
- Reconocer y cuantificar fenómenos electromagnéticos de la luz: se utilizarán sistemas de dos ranuras de ancho variable separadas por distancias diferentes para apreciar interferencia y difracción en una pantalla.

Marco teórico

Óptica Geométrica

Formación de imágenes

Para comprender las imágenes y su formación, sólo necesitamos el modelo de rayos de la luz, es decir las leyes de reflexión y refracción (Leyes de Snell), y un poco de geometría y trigonometría. Dado que podemos describir estos fenómenos principalmente en base a un modelo geométrico es que esta rama de la óptica se la conoce como **óptica geométrica**. Se fundamenta el estudio de la formación de imágenes mediante la utilización de rayos luminosos. Estos conceptos constituirán la base para entender muchos de los instrumentos ópticos que utilizamos en nuestra vida cotidiana, entre ellos podemos citar las lentes de cámara de celulares, las lentes de aumento (zoom), el ojo humano, los microscopios y los telescopios.

Por otro lado, la óptica geométrica está relacionada con el tamaño de los objetos (d) en relación a la longitud de onda de la luz. Es decir si $\lambda \ll d$, estamos dentro del régimen de fenómenos que pueden describirse bajo la aproximación de rayos. En caso contrario cuando $\lambda \gg d$, donde aparecen los efectos de óptica-física (interferencia y difracción), fenómenos puramente ondulatorios de la luz, debe describirse como una onda.

Una lente delgada es aquella que puede despreciarse su espesor, ya que ambas superficies curvas de la lentes están relativamente próximas en comparación con los radios de curvatura de cada superficie.

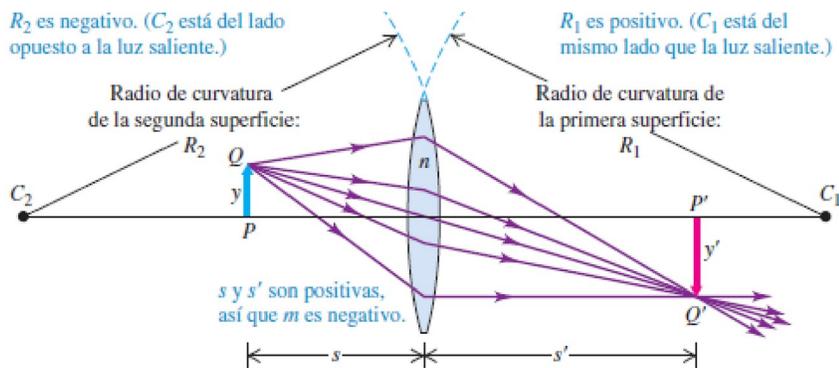
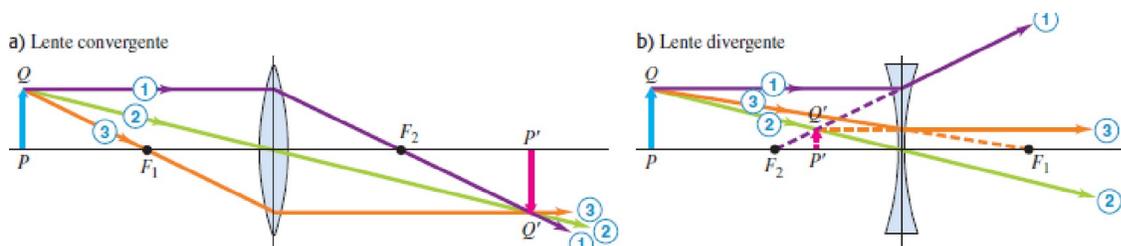


Figura 1: Rayos principales en una lente delgada convergente.

Es posible hallar la posición, dirección y el tamaño de una imagen formada por una lente delgada usando un método gráfico muy parecido utilizado para espejos esféricos [Física Universitario, Vol. 2, Sears, Zemansky and Young]. En este caso también se dibujan unos pocos rayos especiales, llamados **rayos principales**, que divergen a partir de un punto del objeto que no está sobre el eje óptico. La intersección de estos rayos, después que han atravesado la lente, determina la posición, el tamaño de la imagen, la naturaleza de la imagen (real o virtual) así como si la misma es derecha o invertida respecto del objeto. Al utilizar este método gráfico, consideraremos que la desviación de cada rayo ocurre en su totalidad en el plano medio de la lente, como se muestra en la figura 1. Esto concuerda con la suposición de que la distancia entre las superficies de la lente es insignificante (por considerarla delgada).

Los tres rayos principales cuyo trayecto es normalmente fácil de trazar en el caso de las lentes se detalla esquemáticamente en la figura 2:

1. Un rayo paralelo al eje emerge de la lente en una dirección que pasa por el segundo punto focal F_2 de una lente convergente, o que parece provenir del segundo punto focal de una lente divergente.
2. Un rayo que pasa por el centro de la lente no se desvía en grado apreciable; en el centro de la lente las dos superficies son paralelas; por lo tanto, este rayo emerge prácticamente con el mismo ángulo que tenía al entrar y a lo largo de la misma recta.
3. Un rayo que pasa por el primer punto focal F_1 (o avanza hacia éste) emerge paralelo al eje.



En la figura 2 se representan los tres rayos principales para cada una de las lentes, convergente (a) y divergente (b).

A continuación se detallan las posición, tipo, aumento y dirección de la imagen formada con lentes convergentes y divergentes, considerando distintas posiciones del objeto respecto a la distancia focal de cada una de estas lentes.

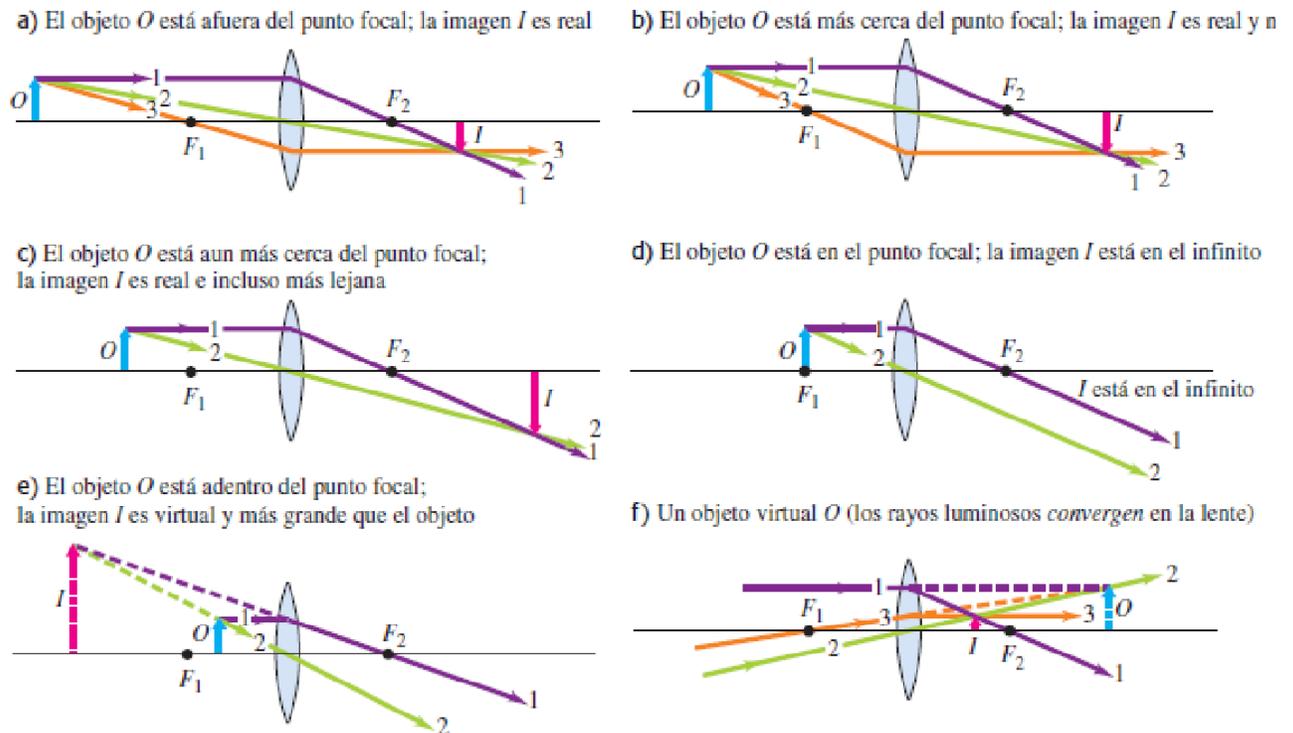


Figura 2. Formaciones de imágenes de lentes convergentes y divergentes en distintas posiciones del objeto.

Óptica-Física

Experimento de Young

Uno de los primeros experimentos cuantitativos realizados con el propósito de analizar la interferencia de la luz de dos fuentes estuvo a cargo del científico inglés Thomas Young en 1800. En la figura 3 se detalla en perspectiva el aparato utilizado por Young. Una fuente emite luz monocromática; sin embargo, esta luz no es apropiada para usarla en un experimento de interferencia porque las emisiones de las diferentes partes de una fuente común (lámparas incandescentes, leds, halógenas etc.) no están sincronizadas ya que las emisiones se producen azarosamente. Para corregir esta deficiencia, se dirige la luz a una pantalla con una

ranura angosta S_0 , con ancho aproximado de 1 mm. La luz que sale de la ranura proviene sólo de una pequeña región de la fuente luminosa, de manera que la ranura S_0 se comporta de manera muy parecida a la fuente idealizada. En la actualidad este experimento se puede realizar con un láser como fuente de luz coherente, por lo que no se necesita la ranura S_0 . La luz que sale de S_0 ilumina una pantalla con otras dos ranuras S_1 y S_2 , cada una con ancho aproximado de 1 mm y separadas por una distancia de algunas decenas o centenas de micrómetros. A partir de S_0 se propagan frentes de onda cilíndricos que llegan a S_1 y S_2 en fase porque recorren distancias iguales desde S_0 . Por lo tanto, las ondas que emergen de las ranuras S_1 y S_2 siempre están en fase, por lo que S_1 y S_2 son fuentes coherentes. La interferencia de las ondas de S_1 y S_2 genera un patrón en el espacio como se detalla en la figura 3.

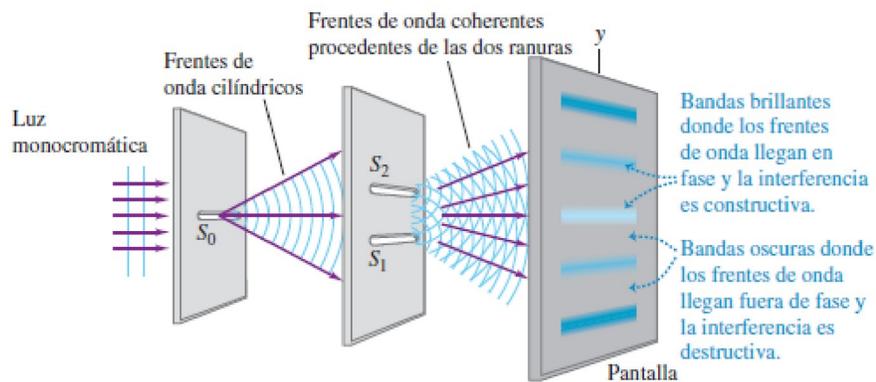


Figura 3. Vista en perspectiva de el experimento de doble rendija de Young.

Los máximos y mínimos de luz en la pantalla, es decir las franjas brillantes y oscuras se pueden describir mediante las siguientes expresiones:

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad \text{(interferencia destructiva, dos ranuras)}$$

$$d \sin \theta = m \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad \text{(interferencia constructiva, dos ranuras)}$$

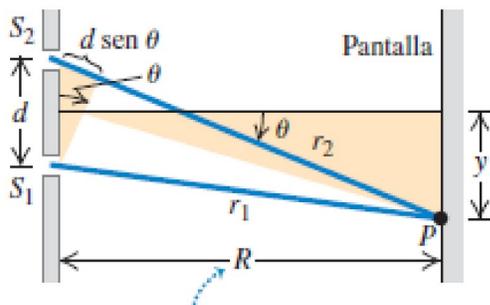


Figura 4. En la figura se muestra una vista lateral de la trayectoria de las ondas desde cada una de las fuentes S_1 y S_2 , que originan las interferencias constructivas y destructivas entre las ondas al llegar a la pantalla.

Difracción

Cuando la luz proveniente de una fuente puntual ilumina un borde recto y proyecta una sombra, el borde de la sombra nunca es perfectamente nítido. Se observa un poco de luz en el área que esperaríamos estuviese en la sombra, y vemos que hay franjas brillantes y oscuras alternas en esta región. En general, la luz que emerge de aberturas no se comporta exactamente de acuerdo con las predicciones del modelo de rayos rectilíneos de la óptica geométrica. Descubriremos que el comportamiento de las ondas después de pasar a través de un obstáculo conocido con el nombre de difracción; cada parte infinitesimal de la luz en el borde o abertura actúa como una fuente de ondas, y el patrón resultante de luz y oscuridad es producto de la interferencia entre las ondas que emanan de estas fuentes.

En el caso que tanto la fuente puntual como la pantalla estén relativamente cerca del obstáculo que forma el patrón de difracción, esta se la conoce difracción de campo cercano o difracción de Fresnel (en honor del científico francés Augustin Jean Fresnel, 1788-1827). En cambio si la fuente, el obstáculo y la pantalla están lo suficientemente alejados para considerar como paralelas todas las líneas de la fuente al obstáculo y todas las líneas del obstáculo a un punto del patrón, el fenómeno se describe como una difracción de campo lejano o difracción de Fraunhofer (en honor del físico alemán Joseph von Fraunhofer, 1787-1826).

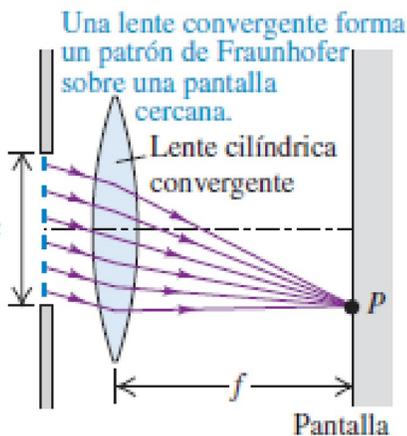


Figura 5. Difracción en campo lejano (Fraunhofer) con una lente para formar el patrón en la pantalla.

La condición de para que ocurra una interferencia destructiva en la pantalla está dada por:

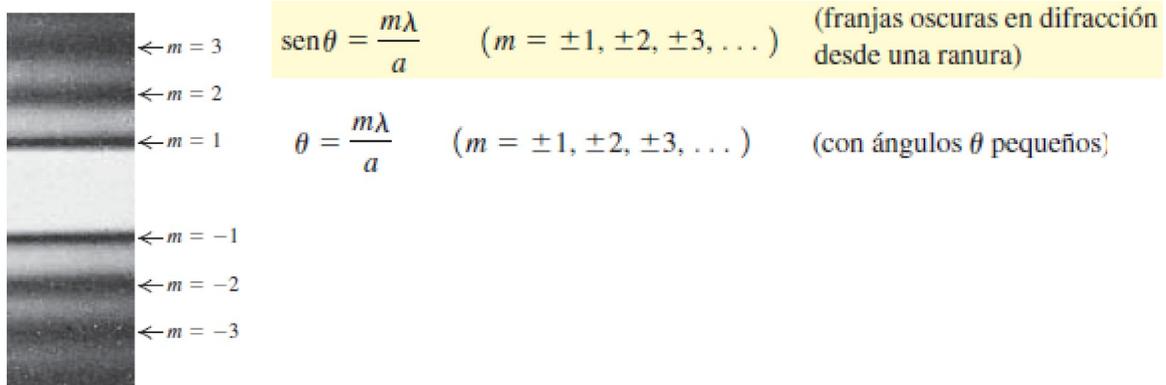


Figura 6 . Patrón de difracción por una rendija horizontal.

Aberturas circulares

El patrón de difracción que forma una abertura circular consiste en una mancha central brillante, rodeada por una serie de anillos brillantes y oscuros, como se observa en la figura. Podemos describir el patrón en términos del ángulo θ , que representa el radio angular de cada

anillo. Si el diámetro de la abertura es D y la longitud de onda es λ , el radio angular θ_1 del primer anillo oscuro está dado por :

$$= 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (\text{difracción por una abertura circular})$$

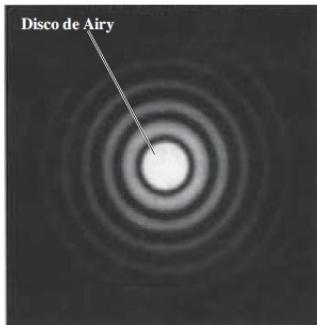


Figura 7, Patrón de Difracción de Airy a través de una abertura circular.

Materiales

Base soporte de las barras.

Pieza Objeto –en forma de L transparente

Lente para montaje deslizador, $f=+100\text{mm}$

Montaje deslizador para banco óptico

Pantalla de observación $150 \times 150\text{mm}$

Barra para soporte, $l = 600\text{ mm}$, $d = 10\text{ mm}$

Escala métrica para banco óptico Iluminador, láser o fuente de luz.

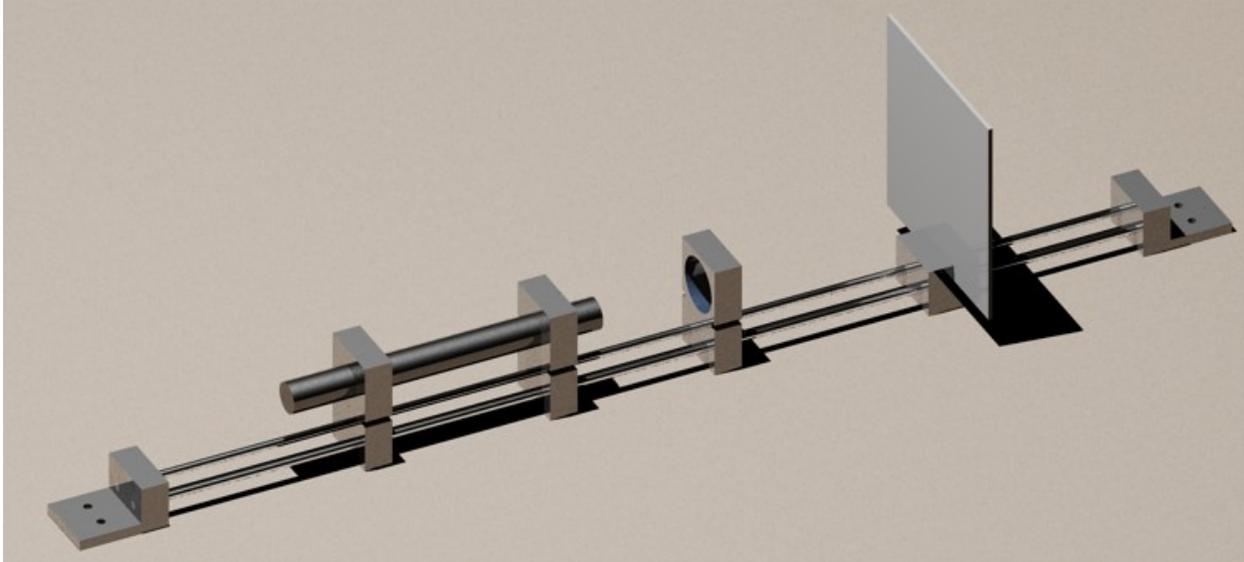


Figura 8. Banco óptico utilizado para la formación de imágenes con lentes delgadas.

Procedimientos

Formación de imágenes con una lente convergente

Objetivos: determinar la posición de la imagen formada en una pantalla producida por una lente ubicada a una distancia g variable medida desde el objeto con esos datos estimar la focal, luego para los casos sugeridos reportar si la imagen es real o virtual, aumentada o disminuida, directa o invertida .

- 1) Encender el láser o fuente de luz. Colocar el objeto a enfocar que es una letra "L" en la parte delantera del soporte del láser .
- 2) Colocar la lente a unos 20 cm de distancia del objeto a enfocar "L" y mueva la pantalla hasta que la imagen esté lo más definida posible (nítida).
- 3) Medir la distancia de la lente desde la pantalla esta será la "b" distancia imagen, luego registrar b en la tabla considerando una distancia objeto-lente $g = 200 \text{ mm}$.
- 4) Mover la lente hacia la izquierda y determinar las distancias de la imagen para dos distancias de objeto-lente diferentes ($g > 150 \text{ mm}$).
- 5) Luego mover la pantalla hacia la derecha y determine las distancias de la imagen para dos distancias objeto-lente diferentes ($g > 200 \text{ mm}$)

Resultados

Anotar las observaciones. Calcular los valores para $1/g$ y $1/b$ con cuatro decimales y luego registrarlos en la tabla. Completar las dos últimas columnas de la tabla.

	g en mm	b in mm	$1/g$ in mm^{-1}	$1/b$ in mm^{-1}	$1/f$ in mm^{-1}	$1/g + 1/b$ en mm^{-1}
$g=20\text{cm}$						
$g>150\text{m}$ m						
$g>150\text{m}$ m						
$g>200\text{m}$ m						
$g>200\text{m}$ m						

Calcular la media para la suma $1/g + 1/b$ y compararla con el valor de $1/f$. Formule los resultados como una ecuación.

Media: $1/g + 1/b = \text{mm}$

Discusión y conclusiones

Discutir las siguientes preguntas e investigar sobre:

¿Por qué las instrucciones del experimento recomiendan elegir $g > 150 \text{ mm}$?

¿Qué pasaría si configurás $g = 100 \text{ mm}$?

¿Qué pasaría si configurás $g < 100 \text{ mm}$?

Interferencia producida por una doble rendija

Materiales

Base soporte de las barras.

Montaje deslizador para banco óptico

Disco con rendijas de ancho y separación variable.

Pantalla de observación 150x150mm

Barra para soporte, $l = 600 \text{ mm}$, $d = 10 \text{ mm}$

Escala métrica para banco óptico Iluminador, láser.

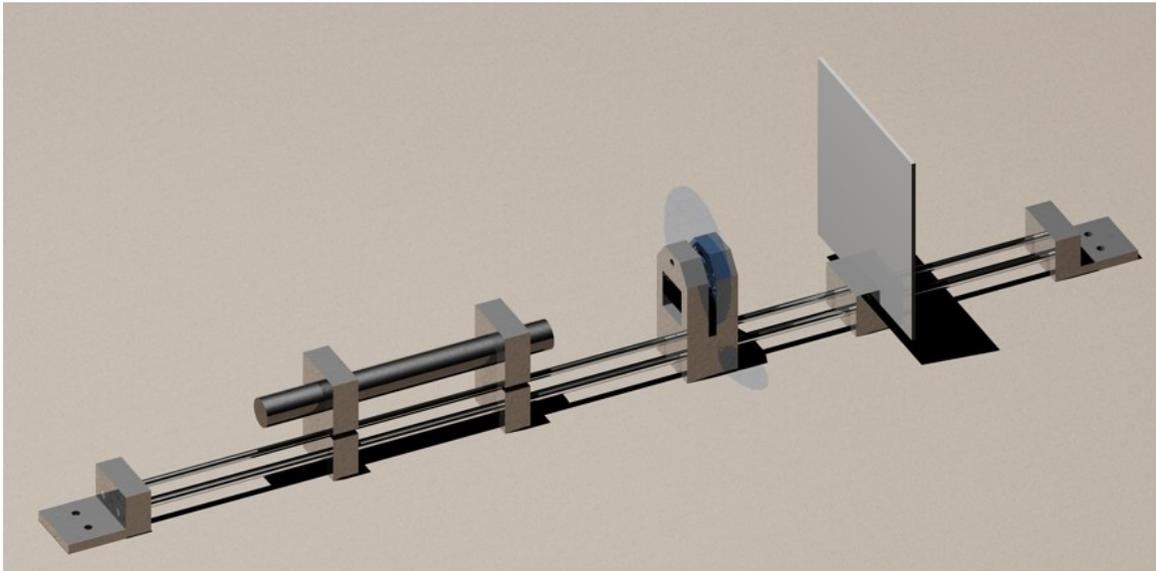


Figura 9: Banco óptico configurado para realizar experimentos de interferencia y difracción.

Objetivos:

Examinar los patrones de difracción e interferencia formados por la luz láser que pasa a través de dos rendijas y verificar que las posiciones de los máximos en el patrón de interferencia coincidan con las posiciones predichas por la teoría.

Procedimientos

- 1) Instale el láser en un extremo de la pista óptica y coloque las ranuras de difracción a unos 3 cm delante del láser .
- 2) Coloque la pantalla para observar la figura de difracción en el otro extremo del banco óptico.
- 3) Seleccione la ranura doble de 0.04 mm con separación de ranura de 0.25 mm girando el disco de ranuras hasta que la ranura esté centrada en el soporte de la ranura. Encienda el láser y ajuste la posición del láser hasta que esté centrado en la ranura.
4. Mida la distancia desde la ranura hasta la pantalla. Registre la distancia de la rendija a la pantalla en la Tabla 1.
5. Registre la longitud de onda del láser (marcado en el láser) en la Tabla 1.
6. Medir la distancia entre el máximo central y el máximo de primer orden ($m = 1$) y registre esta distancia en la Tabla 2.
7. Medir la distancia entre el máximo central y el primer mínimo de difracción. Registre esta distancia en la Tabla 2.
8. Repita los pasos para las otras tres rendijas dobles en el soporte de la rendija.

Resultados

Datos del montaje experimental

Distancia ranura pantalla (mm)	
Longitud de onda del láser nm	

Datos sobre interferencia y difracción de una doble ranura

Ancho de la ranura mm.	Separación entre ranuras mm.	Distancia hasta el máximo de primer orden mm	Distancia hasta el mínimo de difracción	Cálculo de la separación entre ranuras a partir de las medidas
0.04	0.25			
0.04	0.50			
0.08	0.25			
0.08	0.50			

Discusión y conclusiones

1) ¿La distancia entre máximos aumenta, disminuye o permanece igual cuando aumenta la separación de la ranura si el ancho de la ranura permanece constante? ¿Qué tipo de relación matemática es esta?

2) ¿La distancia entre máximos aumenta, disminuye o permanece igual cuando el ancho de la ranura aumenta mientras la separación de la ranura permanece constante? ¿Qué tipo de relación matemática es esta?

3). ¿La distancia a los primeros mínimos en la curva de difracción aumenta, disminuye o permanece igual cuando la separación entre ranuras aumenta mientras que el ancho de la ranura permanece constante? ¿Qué tipo de relación matemática es esta?