



Objetivos

1. Estudiar el comportamiento de la luz al atravesar objetos transparentes (Lentes).
2. Estudiar el comportamiento de lentes con la variación de índices de refracción.
3. Determinación experimental de focos generados por las lentes.

Esquema del laboratorio y Materiales

equipo requerido	cantidad	observaciones
Cubeta	1	
Lentes divergentes y convergentes	2	
Apuntador laser (rojo, verde)	2	
Metro	1	
Divisores de haz	2	
Espejos	2	
Aceite de cocina	1 Litro	

Marco teórico

Las lentes son medios transparentes de vidrio, cristal o plástico limitados por dos superficies, siendo curva al menos una de ellas. Una lente óptica tiene la capacidad de refractar la luz y formar una imagen. La luz que incide perpendicularmente sobre una lente se refracta hacia el plano focal, en el caso de las lentes convergentes, o desde el plano focal, en el caso de las divergentes. En la fig. 01, se muestra un ejemplo de dicho comportamiento.

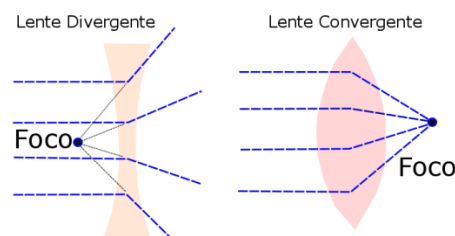


Fig 01. Lentes convergentes y divergentes.



Entre las características podemos mencionar lo siguiente. Las lentes convergentes son más gruesas en el centro que en los extremos, se representan esquemáticamente con una línea con dos puntas de flecha en los extremos. Y las lentes divergentes se caracterizan por ser más delgadas en la parte central que en los extremos. Se representan esquemáticamente por una línea recta acabada en dos puntas de flecha invertidas. (ver Fig. 02)

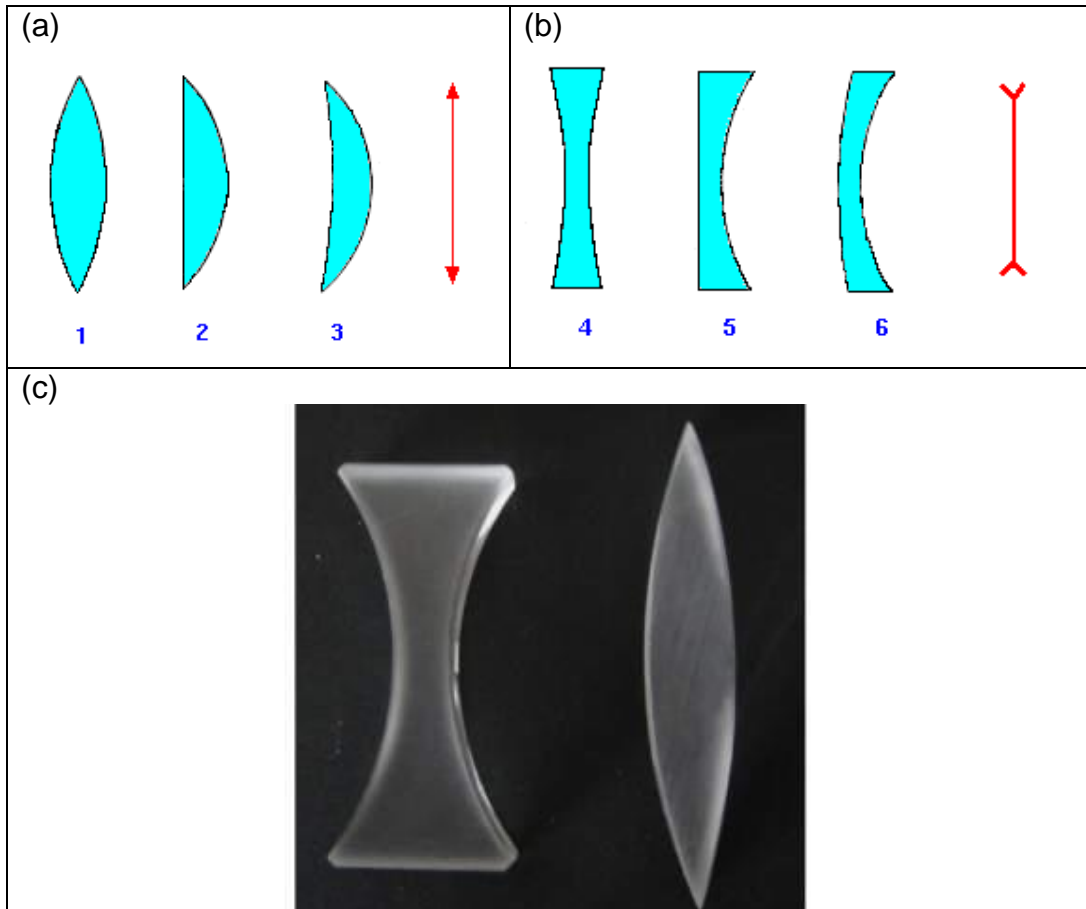


Fig. 02. Representación de lentes convergentes y divergentes. En (a). según el valor de los radios de las caras pueden ser: biconvexas (1), plano convexas (2) y menisco convergente (3). En (b). según el valor de los radios de las caras pueden ser: bicóncavas (4), plano cóncavas (5) y menisco divergente (6). En (c) una fotografía de las lentes con las que contamos en el laboratorio y las cuales serán objeto de estudio.

Para aquellas lentes cuyo espesor d es pequeño comparado con sus distancias focales y los radios de curvatura de las superficies refringentes. En la aproximación paraxial, los ángulos de desviación que sufre un haz de luz a través de la lente son pequeños. Esta situación se garantiza cuando el haz se propaga en la proximidad del eje de simetría de la lente. Bajo estas condiciones es válida de la Fórmula del Constructor de Lentes o ecuación de las lentes delgadas:



$$\frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_i} = \left(\frac{n_l - n_m}{n_m} \right) \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (1)$$

donde n_l y n_m son los índices de refracción de la lente y el medio respectivamente. Suponiendo que la luz se propaga de izquierda a derecha, se tiene según la convención de signos establecida para superficies refractoras que la distancia objeto s_0 es positiva si el objeto se encuentra a la izquierda de la lente, mientras que la distancia imagen s_i resulta positiva si la imagen se encuentra a la derecha de la lente. El radio R_1 de la primera superficie se toma positivo para las superficies convexas y el radio R_2 de la segunda superficie se toma positivo para las superficies cóncavas. Considerando los límites $s_0 \rightarrow \infty$ y $s_i \rightarrow \infty$ en la Ec. (1), resulta inmediatamente que los focos objeto e imagen son iguales para una lente delgada, por lo que estas se caracterizan por un único foco f dado por:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_l - n_m}{n_m} \right) \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (2)$$

El signo de esta expresión determina si la lente es convergente (positiva) o divergente (negativa). De esta forma se obtiene la Fórmula de Gauss para las lentes delgadas

$$\frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

Cuando la distancia focal se mide en metros, la potencia de una lente, dada por $\frac{1}{f}$ queda expresada en dioptrías.

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse y/o socializarse Antes de la realización de la práctica, según las indicaciones del docente.

1. Demuestre la ecuación (1).
2. Haga en hoja milimetrada un trazado de rayos para una lente divergente y convergente.

Procedimiento

La capacidad de una lente de comportarse como sistema divergente o convergente está relacionada con los índices de refracción de los medios. En ese sentido, una de los objetivos de la práctica es encontrar las condiciones de convergencia o divergencia de las dos lentes disponibles en el laboratorio y además medir las distancia focal de las dos lentes. La práctica puede ser desarrollada en varias experiencias, las cuales son resumidas en el siguiente cuadro.



LENTE CONCAVA

Medio 1 (n1)	Lente	Medio 2 (n2)	Comportamiento Div. ó Conv. ?	Distancia Focal
Aire	Agua	Aire		
Aire	Aceite	Aire		
Agua	Aceite	Agua		

LENTE CONVEXA

Medio 1 (n1)	Lente	Medio 2 (n2)	Comportamiento Div. ó Conv. ?	Distancia Focal
Aire	Agua	Aire		
Aire	Aceite	Aire		
Agua	Aceite	Agua		


Para la realización del experimento utilice el apuntador laser y con un divisor de haz obtenga dos rayos incidentes paralelos (implica tener el objeto en el infinito). Si el sistema se comporta como divergente utilice un espejo para re-direccionar hacia atrás los rayos divergentes y formar una imagen virtual en la posición del objeto. Y si el comportamiento es convergente mida directamente la distancia focal de la lente.

Análisis de datos

Para el análisis de los resultados, tenga en cuenta lo siguiente:


1. Utilice los parámetros mostrados en la tabla de abajo. En estos se encuentran los focales teóricas calculadas a partir de los radios de curvatura de las lentes (los espacios en blanco son obligatorios completar).
2. Haga representación de estos comportamientos con trazados de rayos, para todos los casos estudiados.
3. Haga un mapa conceptual del comportamiento del sistema, en función de los índices de refracción y el tipo de lente.
4. **POR ÚLTIMO REDACTE LAS CONCLUSIONES DEL EXPERIMENTO.**

BICONVEXA

Parámetro óptico	Sistema Agua-Aceite	Sistema Agua- Aire	 Biconvexa
Índice del medio	1.33	1.33	
Índice de la lente	1.46	1	
Focal teórica	76cm	30.22cm	
Focal Experimental			
Error porcentual (%)			



BICONCAVA

Parámetro óptico	Sistema Agua-Aceite	Sistema Agua- Aire	 Bicóncava
Índice del medio	1.33	1.33	
Índice de la lente	1.46	1	
Focal teórica	76.72cm	30.22cm	
Focal Experimental			
Error porcentual (%)			

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Puede consultar el tema en la siguiente bibliografía:

- “**Óptica.**” J. Casas. Ed. 1994 (Cooperativa de Artes Gráficas Librería General, Zaragoza).
- “**Óptica.**”. E. Hecht, A. Zajac. Ed. Addison Wesley, 2000.
- “**Introduction to Optics**”. F.L. Pedrotti, L.S. Pedrotti. Ed. Prentice Hall International, 1993.
- “**Fundamentals of Optics.**” F.A. Jenkins, H.E. White. Ed. McGraw-Hill, 1981.
- “**Física**”, Marcelo Alonso y Edward J. Finn; Ed. Addison-Wesley Iberoamericana, 1995.



No

2

LABORATORIO DE ÓPTICA DIFRACCIÓN E INTERFERENCIA

DEPARTAMENTO DE
FÍSICA Y GEOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

Objetivos

1. Estudiar los fenómenos de difracción e interferencia producidos por una luz láser que atraviesa una función de transmitancia circular y rectangular.
2. Determinación experimental de las dimensiones del objetos difractores (aberturas rectangular y circular).

Esquema del laboratorio y Materiales

equipo requerido	cantidad	observaciones
Láser de HeNe (Longitud de onda = 632.8 nm)	1	
Diodo láser (Longitud de onda = 514nm)	1	
Papel aluminio	1 pedazo	
Aguja	1	
Metro	1	
Calibrador	1	
Pantalla de observación	1	

Marco teórico

RESUMEN: Los fenómenos de difracción e interferencia se observan cuando la luz es distorsionada por un obstáculo cuyas dimensiones son comparables con la longitud de onda de la luz. El obstáculo debe ser un pequeño objeto (comparable con λ), tal como un alambre o un disco, que impide el paso de una pequeña porción del frente de onda. Si un haz de partículas incide sobre una pantalla que tiene una abertura pequeña, solamente las que inciden en la abertura son transmitidas continúan su movimiento sin ser perturbadas. Para cumplir con los objetivos de este laboratorio, utilizaremos una fuente de radiación laser (y/o diodo laser), y varios tipos de obstáculos, con el propósito de observar las características del fenómeno y cuantificar un parámetro del objeto difractor.

Interferencia por aberturas rectangulares: Cuando la un haz de luz incide con longitud de onda λ sobre un conjunto de dos o más rendijas, para el cual la distancia entre las rendijas es igual a d y la distancia de las rendijas a la pantalla es L , entonces se



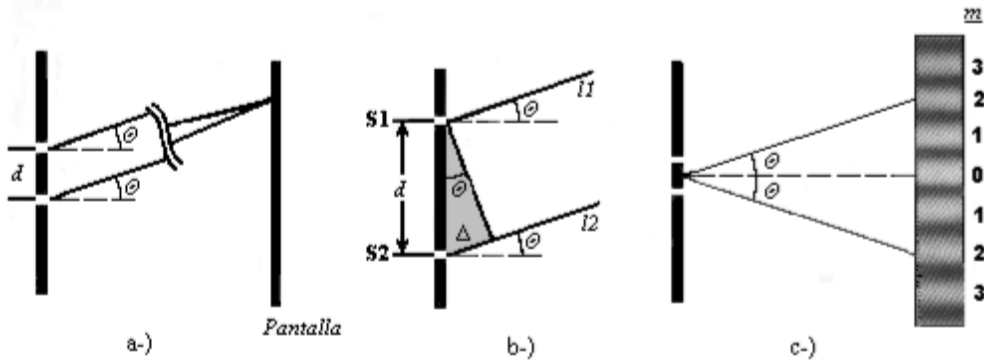
cumple: la condición para la aparición de un máximo de orden m en la posición angular θ

$$d \operatorname{sen} \theta = m \lambda \quad m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$$

Condición para la aparición de un mínimo de orden m en la posición angular θ

$$d \operatorname{sen} \theta = m(m + 1/2) \lambda \quad m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$$

Y la distancia, sobre la pantalla, entre franjas de interferencia contiguas $\Delta x = \frac{L \lambda}{d}$



a-) Interferómetro de Young. b-) S1 y S2 – rendijas, Δ - diferencia de camino entre las ondas I1 y I2. c-) patrón de Franjas de interferencia obtenidas con un interferómetro de Young.

La condición de máximos y mínimos de interferencia de la luz de longitud de onda λ reflejada en una lámina delgada de grosor de índice de refracción n

$$2dn \operatorname{sen} \theta_R = (m + 1/2) \lambda \quad m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots \text{ Máximos}$$

$$2dn \operatorname{sen} \theta_R = m \lambda \quad m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots \text{ Mínimos}$$

donde θ_R es el ángulo con el que se refracta la luz al penetrar la abertura.

Difracción por una sola Rendija: Cuando la luz monocromática pasa por una sola rendija cuya abertura es del orden de la longitud de onda, la luz se difracta en el otro lado de la rendija. El fenómeno de Difracción es una característica de los fenómenos ondulatorios en general, por tanto se examina la difracción de la luz a medida que pasa por una sola abertura en forma de rendija de ancho a ; la distribución de intensidad de la luz difractada en una pantalla distante se muestra en la figura (1.a). La distribución observada de la intensidad de la luz en la pantalla indica que la luz no se difracta en forma uniforme: ciertas regiones en la pantalla no tienen luz, mientras que otras tienen algo de luz. Así la amplitud de la luz difractada depende del ángulo θ a partir de la dirección recta en la figura (1.a). Si la distancia z a la pantalla es mucho mayor que la pequeña abertura de la rendija, la trayectoria extra Δx desde el borde más lejano de la rendija es parte de



un pequeño triángulo rectángulo, figura (1.b). Del triángulo rectángulo se encuentra que la diferencia de trayecto es:

$$\Delta x = a \operatorname{sen} \theta \quad (1)$$

Si el punto en la pantalla está en el centro, las contribuciones de pares de fuentes puntuales colocadas en forma simétricas en cualquier lado de la dirección recta llegan en fase y tenemos una amplitud y una intensidad máxima en esa posición. Por tanto para una diferencia de trayectoria Δx , la diferencia de fase resultante en radianes es

$$\delta_{\text{trayectoria}} = \frac{\Delta x}{\lambda} (2\pi) \quad (2)$$

Por otro lado a medida que nos alejamos del máximo central de la pantalla, en algún momento alcanzamos una posición donde la diferencia de trayecto al punto P, en la pantalla entre la fuente puntual en el borde cercano (superior) de la abertura y la fuente puntual en el centro de la rendija es equivalente a la mitad de una longitud de onda, como se muestra en la figura (1.a). La diferencia de trayectoria de longitud de onda media para el par, corresponde a una diferencia de fase de π rad. Entonces, las dos ondas pequeñas de estos dos puntos interfieren destructivamente en la pantalla y su contribución es nula. Ahora si consideramos el par de fuentes puntuales en la abertura justo debajo del primer par. Las ondas pequeñas de estas fuentes también tiene una diferencia de trayectoria al punto P de la mitad de una longitud de onda (y una diferencia de fase de π rad), y por tanto las dos ondas también interfieren en forma destructiva. La diferencia de trayectoria $\lambda/2$ entre un punto en la parte superior y un punto a la mitad de la rendija también significa que la diferencia de trayectoria entre los puntos en la parte superior e inferior de la rendija es una longitud de onda completa como se muestra en la figura (1.a). Los mínimos de difracción cuando la diferencia de trayectoria es $a \operatorname{sen} \theta$ entre los bordes opuestos de la rendija es algún múltiplo entero (m) de la longitud de onda:

$$a \operatorname{sen} \theta = m \lambda \quad (\text{Mín. de difracción}) \quad (3)$$

Para ángulos pequeños es válida la aproximación,

$$\operatorname{sen} \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{z} \quad (4)$$

Así los mínimos están igualmente espaciados

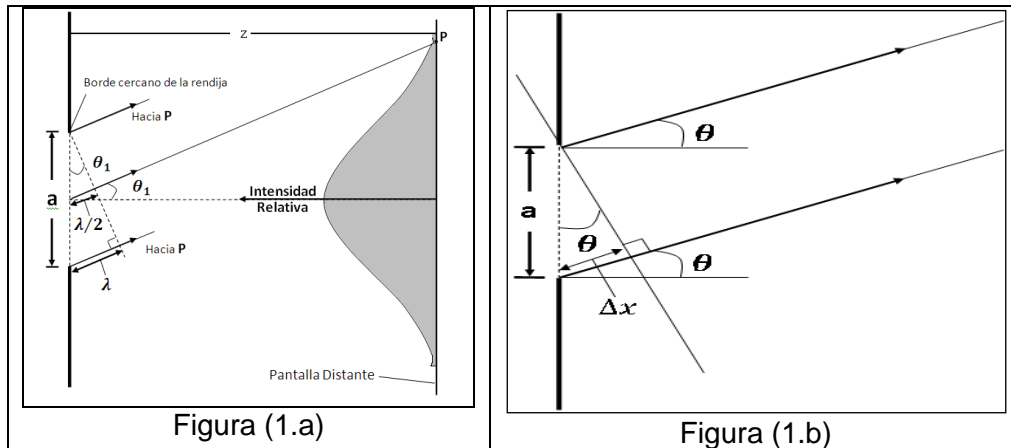


Figura (1): fenómeno de difracción producido por una abertura rectangular (función sinc)

Difracción por una Abertura Circular: Si en una abertura circular de diámetro d , incide luz monocromática la difracción de la luz a través de la abertura produce un patrón circular simétrico en una pantalla distante, como se muestra en la figura (2) el patrón consiste en un punto central brillante rodeado por una serie de círculos concéntricos de luz cada vez más oscuros.

Los anillos concéntricos oscuros no están igualmente espaciados (como si ocurre para el patrón de difracción de una rendija). Para fines prácticos es importante conocer la posición del primer mínimo del patrón de difracción de la abertura circular. El Primer mínimo del patrón de difracción circular se localiza a un ángulo θ_1 encontrado a partir de la siguiente relación.

$$d \operatorname{sen} \theta_1 = 1.22 \lambda \quad (5)$$

(Primer mínimo de difracción para una abertura circular, donde d es de diámetro de la abertura circular). El numero 1.22 surge de una clase especial de funciones, llamadas funciones de Bessel, que invariablemente se asocian con configuraciones geométricas circulares en Física; las funciones de Bessel son análogas a las funciones especiales conocidas como senos y cosenos. Observe que para una longitud de onda fija, mientras menor sea el diámetro d de abertura circular, mayor será el ángulo θ_1 para el primer mínimo del patrón de difracción. En otras palabras, cuanto más pequeña sea la abertura, mayor será el ancho angular del pico central del patrón de difracción. A la inversa, mientras mayor sea el tamaño de la abertura, menor será la amplitud angular del pico de difracción central y menos evidentes los efectos de difracción.

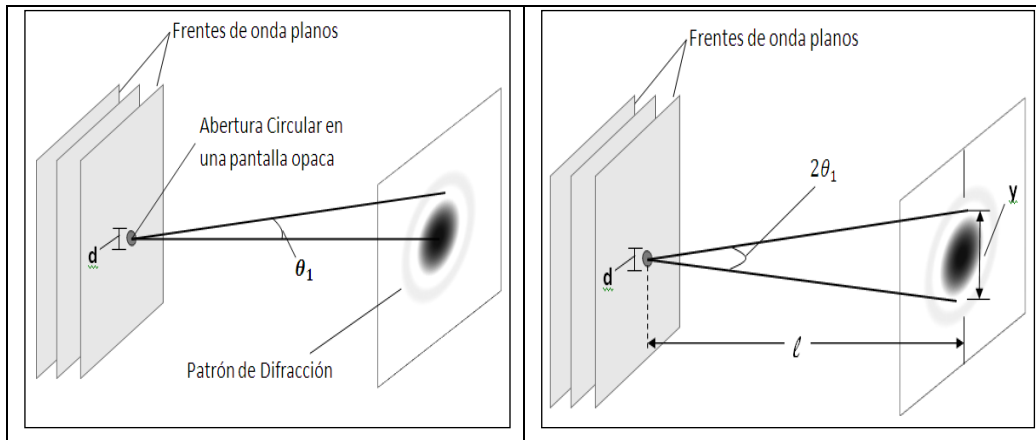


Figura (2): Fenómeno de difracción (abertura circular, anillos concéntricos -patrón de Airy-)

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse y/o socializarse Antes de la realización de la práctica, según las indicaciones del docente.

1. Explique teóricamente como cambia el patrón de difracción de un objeto, con las dimensiones del mismo (diámetro o ancho de la rendija).
2. Presente la demostración para la expresión matemática para la difracción de una abertura rectangular y circular (Función Sinc y función de Bessel de orden cero, respectivamente).
3. Explique la relación entre la transformada de Fourier y la expresión del patrón de difracción. Refiérase solo al caso del patrón de difracción de Fraunhofer.

Procedimiento

Experimento 1: Abertura rectangular

1. Monte la cavidad láser un extremo de la mesa y conéctelo a la red eléctrica.
2. Monte una abertura rectangular en un soporte y colóquelo frente al camino de la propagación de la luz láser.
3. Coloque la pantalla de observación a una distancia tal, que pueda observarse el fenómeno de difracción.
4. Meda la distancia z entre el plano de la abertura rectangular y la pantalla de observación. Así mismo la distancia (y) entre el orden cero y los demás órdenes de difracción o interferencia.

El experimento puede repetirse para aberturas de distintos tamaños, así mismo para múltiples rendijas, simulando el fenómeno de interferencia (busque de 2 o 3 rendijas rectangulares).

Experimento 2: Abertura circular

1. Monte una abertura circular (creada en el papel aluminio con una aguja), y colóquelo frente a la radiación láser.
2. Luego coloque la pantalla de observación a una distancia tal, que observe el patrón de difracción.



3. Mida la distancia z entre el plano de la abertura circular y la pantalla de observación.
4. Mida la distancia (y) entre el centro del anillo de mayor intensidad y centro del primer mínimo de intensidad.

Este mismo procedimiento puede aplicarse a varias pupilas circulares, analizando el efecto con el aumento del diámetro de la pupila, y el efecto con el aumento de la distancia z .

Análisis de datos

Para el análisis de los resultados, tenga en cuenta lo siguientes aspectos:

1. Haga un análisis cualitativo de los distintos fenómenos estudiados (difracción por única rendija, interferencia por rendija múltiple y difracción por abertura circular).
2. Con los datos obtenidos y para todas las tablas de datos haga un gráfico de la distancia (z) y la distancia del orden de difracción (y).
3. Con la relación de y vs z , es posible por regresión lineal, encontrar la pendiente de la recta, que a su vez está relacionado con las dimensiones del objeto difractor (para el cálculo considere la longitud de onda conocida).
4. Explique detalladamente si concuerda el comportamiento teórico predicho en el inciso (1) del cuestionario con los resultados experimentales obtenidos; esto en cuanto al comportamiento del patrón de difracción con las dimensiones del objeto.

CONCLUYA SOBRE LA IMPORTANCIA DEL FENOMENO PARA LA DETERMINACION DE TAMAÑOS DE OBJETOS DIFRACTORES CHICOS.

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Puede consultar el tema en la siguiente bibliografía:

- “**Óptica.**” J. Casas. Ed. 1994 (Cooperativa de Artes Gráficas Librería General, Zaragoza).
- “**Óptica.**”. E. Hecht, A. Zajac. Ed. Addison Wesley, 2000.
- “**Introduction to Optics**”. F.L. Pedrotti, L.S. Pedrotti. Ed. Prentice Hall International, 1993.
- “**Fundamentals of Optics.**” F.A. Jenkins, H.E. White. Ed. McGraw-Hill, 1981.
- “**Física**”, Marcelo Alonso y Edward J. Finn; Ed. Addison-Wesley Iberoamericana, 1995.



No
3

LABORATORIO DE ÓPTICA FORMACIÓN DE IMÁGENES

DEPARTAMENTO DE
FÍSICA Y GEOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

Objetivos

1. Formar imágenes usando lentes convergentes y/o divergentes.
2. Encontrar la relación experimental de las magnitudes de las distancias objeto, imagen y focal.
3. Determinar las distancias focales de varias lentes.

Esquema del laboratorio y Materiales

equipo requerido	cantidad	observaciones
Lámpara de luz blanca	1	
Banco de soportes –Óptico-	1	
Lentes convergentes y divergentes	4	
Espejo plano	2	
Objetos de transmitancia parcial	1	

Verifique la limpieza de las superficies de las lentes. Tenga cuidado y no ponga sus huellas sobre la superficie de la lente. Manipule los instrumentos ópticos con el uso de guantes quirúrgicos. Esto con el fin de garantizar su conservación, si necesita limpiarlos use cualquier tipo de alcohol y papel óptico.

Marco teórico

Una lente puede definirse como un medio transparente a la radiación utilizada limitada por dos superficies: una plana y una curva o ambas curvas. Consideramos lentes delgadas y suponemos que el medio que se encuentra a ambos lados de la lente es el mismo, con un índice de refracción n . La figura 1 muestra una lente con las distancias objeto p e imagen q , y los radios de curvatura de las dos caras de la lente R_1 y R_2 .

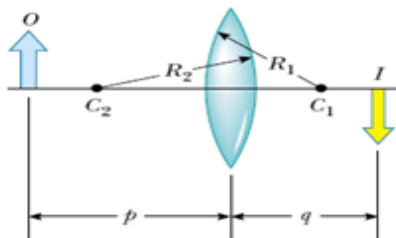


Figura (1): Sistema formador de imágenes, usando un sistema con una lente convergente.



La fórmula de descartes para una lente delgada es la siguiente:

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{q} = (n_2 - n_1) \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (1)$$

Y la ecuación del constructor de lentes es :

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

Donde f es la distancia focal de la lente.

Todos los rayos provienen de un punto luminoso y llegan, por medio de una lente, a otro punto, dando una imagen de ese punto.

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse y/o socializarse Antes de la realización de la práctica, según las indicaciones del docente.

1. Demuestre la Ec. (2).
2. Establezca una convención de signos apropiada para el uso de la Ec. (2).

Procedimiento

Experimento 1: Medición de f por auto-colimación

Con la fuente de luz producida por la lámpara, ilumine el sistema mostrado en la Fig. 2., donde detrás del difusor se coloca una lente convergente, con distancia focal a determinar en el experimento. Pegado a esta lente se coloca un espejo plano que devuelve los rayos que atraviesan la lente.

La imagen es formada en la misma posición del objeto, y para una correcta visualización tape una parte del objeto, utilizando un pedazo de papel blanco. Finalmente desplace conjuntamente lente-espejo, y observe una imagen nítida (focalizada) sobre el cartón blanco, del objeto usado (diagrama en forma de F). La distancia focal de la lente es la distancia que hay entre el diagrama y la lente. Registre estos valores en la tabla 1.

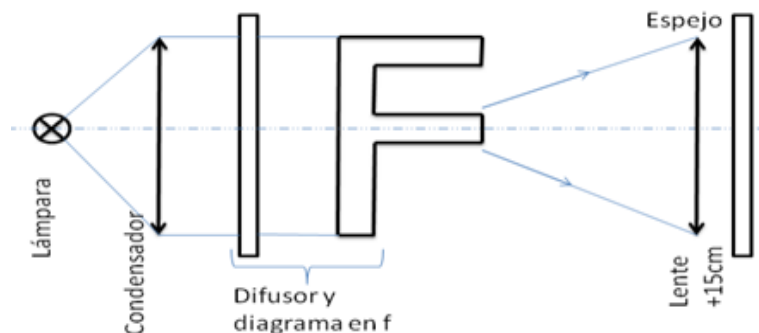


Figura (2): Sistema formador de imágenes, método de auto colimación para lentes convergentes.

El experimento con lentes divergentes realizamos el mismo montaje de la parte anterior y colocamos la lente divergente entre la lente convergente y el espejo. La



distancia focal de la lente convergente debe ser inferior a la distancia focal de la lente divergente. Desplazando la lente divergente se obtiene una imagen bien definida en la cartulina blanca. Se anota la posición de la lente divergente, luego se quita esta lente y el espejo y buscamos la imagen con ayuda de una pantalla blanca. La distancia comprendida entre la pantalla y el punto donde se encontraba la lente divergente, corresponde a la distancia focal de esta última. Las figuras 3 y 4 indican la forma de realizar los montajes. Registre los valores medidos en la tabla 1.

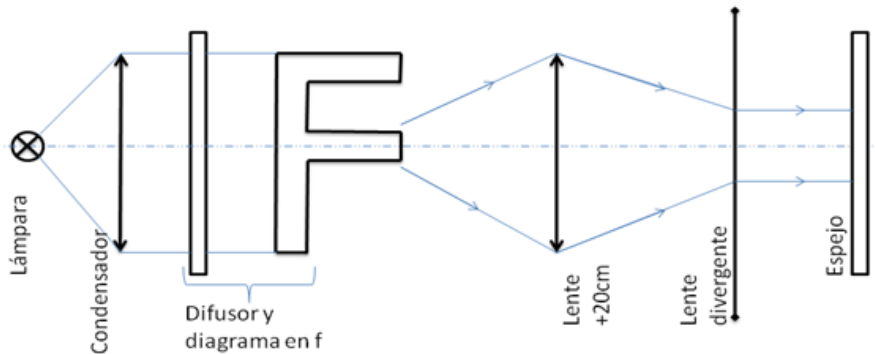


Figura (3): Sistema formador de imágenes, método de auto colimación para de terminación de la distancia focal de una lente divergente (Primera parte).

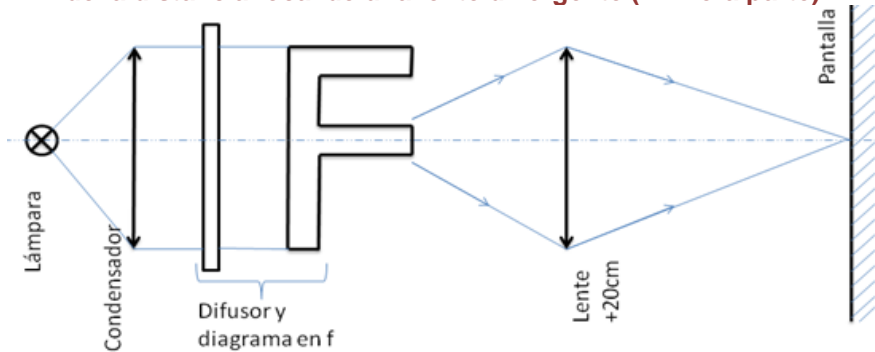


Figura (4): Sistema formador de imágenes, método de auto colimación para de terminación de la distancia focal de una lente divergente (Segunda parte).

Experimento 1: Formación de la imagen

Con el montaje de la Fig. 5:

Tome la distancia objeto superior a dos veces la distancia focal de la lente. Mida la distancia imagen, distancia objeto y la magnitud de la imagen (aumento). Registre los valores en la tabla 2, para cada lente usada.

Tome la distancia objeto a una distancia ente f y $2f$. Mida la distancia imagen, distancia objeto y la magnitud de la imagen (aumento). Registre los valores en la tabla 2, para cada lente usada.

Coloque el objeto a una distancia inferior a f e igual a f . Anote las medidas indicadas. registre el valor de su medida en la tabla 2.

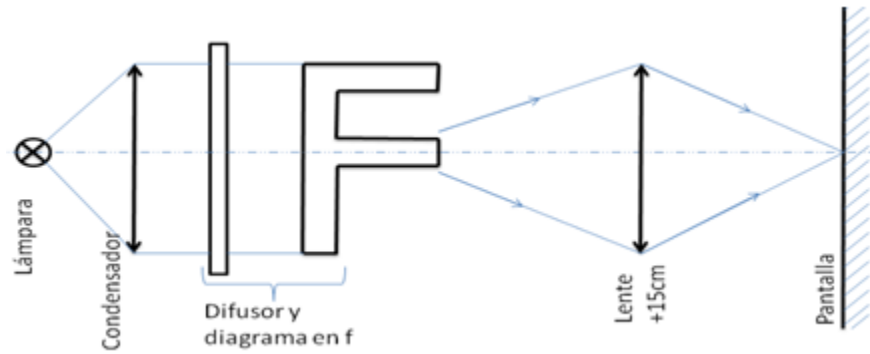


Figura (5): Sistema formador de imágenes, para varias distancias objetos.

Análisis de datos

Los resultados obtenidos en el experimento 1, regístrelos en la tabla 1.

Lente (convergente o divergente)	f (focal)
Lente 1	
Lente 2	
Lente 3	

$p > 2f$	p (distancia objeto)	q (distancia imagen)	m (aumento)
$f < p < 2f$			
$p < f$			
$p = f$			

Para el análisis de los resultados, tenga en cuenta lo siguientes aspectos:

1. Haga el análisis cualitativo de los distintos sistemas estudiados, explicando detalladamente porque el comportamiento de dicho sistema.
2. En cada uno de los montajes realice un trazado de rayos principales (estos los podría hacer a mano y anexar al final del informe).
3. Explique detalladamente la diferencia en los comportamientos de los sistemas ($p > 2f$), ($f < p < 2f$) y ($p < f$), registrados en la tabla 2.
4. En cada uno de los sistemas estudiados, indique si las imágenes son reales o virtuales. Si están invertidas o no. ¿Por qué no se usa una misma metodología para lentes convergentes y divergentes, en la formación de la imagen?



Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Puede consultar el tema en la siguiente bibliografía:

- “**Óptica.**” J. Casas. Ed. 1994 (Cooperativa de Artes Gráficas Librería General, Zaragoza).
- “**Óptica.**”. E. Hecht, A. Zajac. Ed. Addison Wesley, 2000.
- “**Introduction to Optics**”. F.L. Pedrotti, L.S. Pedrotti. Ed. Prentice Hall International, 1993.
- “**Fundamentals of Optics.**” F.A. Jenkins, H.E. White. Ed. McGraw-Hill, 1981.
- “**Física**”, Marcelo Alonso y Edward J. Finn; Ed. Addison-Wesley Iberoamericana, 1995.



No

4

LABORATORIO DE ÓPTICA

POLARIZACIÓN: VERIFICACIÓN DE LA LEY DE MALUS

DEPARTAMENTO DE
FÍSICA Y GEOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

Objetivos

1. Estudiar el fenómeno de polarización de la luz.
2. Comprobar la ley de Malus.

Esquema del laboratorio y Materiales

equipo requerido	cantidad	observaciones
Láser de HeNe (632.8 nm)	1	
Sensor de intensidad de Pasco	1	
Interface	1	
Polarizadores lineales	2	
PC	1	

Marco teórico

En la Figura (1), se muestra un polarizador que sólo permite que la luz pase a través suyo si esta vibra en un plano determinado. Este plano forma el 'eje' de polarización. La luz sin polarizar vibra en todos los planos perpendiculares a la dirección de propagación. Si la luz sin polarizar incide en un polarizador 'ideal', sólo la mitad atravesará el polarizador. Dado que, en realidad, no existe ningún polarizador 'ideal', la luz transmitida que atravesará el polarizador será menos de la mitad. La luz transmitida está polarizada en un plano. Si esta luz polarizada incide sobre un segundo polarizador, y el eje al que está orientado es perpendicular al plano de polarización de la luz incidente, nada de luz atravesará el segundo polarizador (vea la parte de arriba de la Figura (1)).

Si el segundo polarizador está orientado a un ángulo no perpendicular al primer polarizador, quedarán restos de algún componente del campo eléctrico de la luz polarizada que permanece en la misma dirección que el eje del segundo polarizador, así que algo de luz atravesará el segundo polarizador (vea la parte de abajo de la Figura (1)).

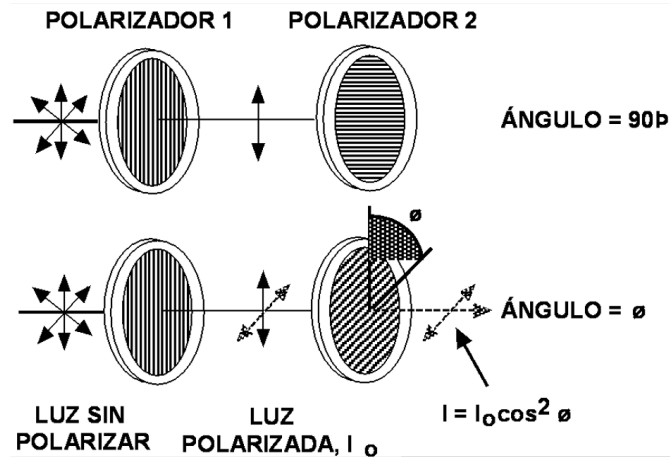


Figura (1): Esquema de polarizadores cruzados.

El componente \vec{E} , del campo eléctrico polarizado, \vec{E}_0 está determinado por:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos^2(\varphi) \quad (1)$$

Dado que la intensidad de la luz cambia como el cuadrado del campo eléctrico, la intensidad de la luz que atraviesa el segundo polarizador es determinada por:

$$I = I_0 \cos^2(\varphi) \quad (2)$$

Donde I_0 es la intensidad de la luz que atraviesa el primer filtro y φ es el ángulo existente entre los ejes de polarización de los dos filtros. Considere los dos casos extremos ilustrados por esta ecuación:

- ✓ Si φ es cero, el segundo polarizador está alineado con el primero, y el valor del $\cos(2\varphi)$ es uno. Dado que la intensidad transmitida por el segundo filtro es igual a la intensidad de la luz que atraviesa el primer filtro. En este caso se permitirá que una intensidad máxima atraviese los filtros.
- ✓ Si φ es 90° , el segundo polarizador está orientado de manera perpendicular al plano de polarización del primer filtro, y el $\cos(2 \times 90)$ es igual a cero. De modo que nada de luz atraviesa el segundo filtro. Este caso permitirá que una cantidad mínima atraviese.
- ✓ Estos resultados asumen que la absorción de la luz se debe únicamente a los efectos de los polarizadores. De hecho la mayoría de las películas polarizadoras no son claras y, en consecuencia, hay algo de absorción debida a la coloración de los filtros.

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse y/o socializarse Antes de la realización de la práctica, según las indicaciones del docente.

- ✓ **Demostración:** describa a partir del campo electromagnético los tipos de estados de polarización de la luz (Lineal, Circular, Elíptico).
- ✓ Teóricamente, ¿qué porcentaje de luz polarizada en el plano incidente se transmitiría a través de tres polarizadores cuyos ejes estuvieran girados 17° ?



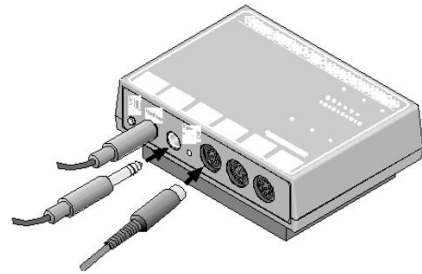
grados uno con respecto otro?. Asuma que se trata de polarizadores ideales y que el eje del primer polarizador tiene 17 grados de diferencia con respecto al segundo.

Procedimiento

Utilice el sensor de Luz para medir la intensidad relativa de la luz que atraviesa dos polarizadores.

Varíe manualmente el ángulo del segundo polarizador en relación con el primer polarizador.

Utilice DataStudio para registrar y mostrar los datos de la intensidad de la luz.

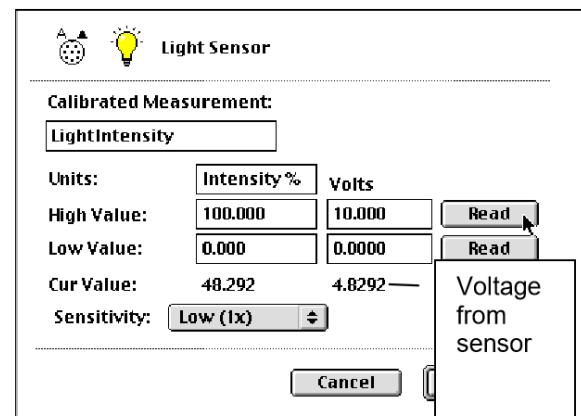
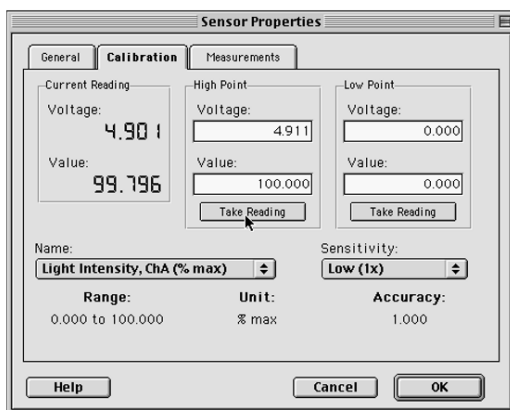


- ✓ Conecte el interfaz al ordenador, encienda el interfaz y luego encienda el ordenador.
- ✓ Conecte el sensor de Luz al Canal Analógico A del interfaz.
- ✓ Abra el archivo titulado: P34 Malus' Law.DS
- ✓ La recogida de datos está fijada en 20 Hz.

Calibrado del Sensor: Calibre el sensor de Luz de modo que genere un voltaje máximo cuando los ejes de los polarizadores estén paralelos ($\varphi = 0^\circ$).

- ✓ Ponga el interruptor GAIN del sensor en la posición 1.
- ✓ Mueva el sensor de luz de modo que su abertura esté lo más cerca posible de la fuente de luz.

En la ventana de configuración del experimento, pulse dos veces en el icono del sensor de Luz. Se abre la ventana 'Sensor Properties' en DataStudio. Haga clic en el tabulador 'Calibration'. Observe el voltaje del sensor de Luz. En la ventana 'Calibration' de DataStudio, la lectura actual del voltaje del sensor de Luz aparece en la esquina superior izquierda.





RECOGIDA DE DATOS

- ✓ Ajuste los polarizadores para la máxima transmisión de luz.
- ✓ Cuando todo esté listo, comience la recogida de datos. Pulse en el botón Start).
- ✓ Comience a girar el analizador de polarización lentamente y suavemente cada 5° .
- ✓ Vaya registrando el calor de intensidad para cada ángulo. Continúe girando el polarizador hasta completar una rotación (360°).
- ✓ Después de una rotación completa, finalice la recogida de datos.
- ✓ Apague la fuente de luz.

Análisis de datos

- ✓ Examine la gráfica de 'Intensidad de la luz Vs. a ángulo de posición'.
- ✓ Ajuste los datos a un modelo matemático (forma cuadrática de la función armónica).
- ✓ Grafique en un solo panel. Los datos Ajustados y la función $\cos^2\varphi$. Para hacer una buena correlación normalice los datos de intensidad.

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Puede consultar el tema en la siguiente bibliografía:

- “**Óptica**.”. E. Hecht, A. Zajac. Ed. Addison Wesley, 2000.
- “**Introduction to Optics**”. F.L. Pedrotti, L.S. Pedrotti. Ed. Prentice Hall International, 1993.
- “**Fundamentals of Optics**.” F.A. Jenkins, H.E. White. Ed. McGraw-Hill, 1981.
- “**Física**”, Marcelo Alonso y Edward J. Finn; Ed. Addison-Wesley Iberoamericana, 1995.



Objetivos

1. Estudiar el fenómeno de polarización de la luz.
2. Comprobar la ley de Brewster para varios materiales dieléctricos.

Esquema del laboratorio y Materiales

equipo requerido	cantidad	observaciones
Láser de HeNe (Longitud de onda = 632.8 nm)	1	
Diodo láser (Longitud de onda = 514nm)	1	
Lentes Semi-circular	2	
Sensor de luz (pasco)	1	
Espectrómetro Base	1	
Interfacer	1	
Polarizador lineal	1	
PC	1	

Marco teórico

Cuando la luz incide en un material dieléctrico parte de ella se refleja y parte se refracta. En esta se muestra que la luz reflejada está parcialmente polarizada, y que específicamente cuando el rayo refractado y el rayo reflejado son ortogonales, la luz reflejada está totalmente polarizada de tal forma que su campo eléctrico vibra ortogonalmente al plano de incidencia (vea Figura 1). Al ángulo de incidencia en esta situación se le denomina ángulo de Brewster y el cual cumple la ley de Snell.

Aplicando la ley de Snell, siguiendo la relación de ángulos de la figura 2, se tiene que $\frac{\text{sen}(\theta_p)}{\text{sen}(\theta_t)} = \frac{n_2}{n_1}$ de la cual se obtiene $\frac{\text{sen}(\theta_p)}{\text{sen}(\frac{\pi}{2} - \theta_p)} = \frac{n_2}{n_1}$.

Aplicando las relaciones de ángulos dobles se obtiene: $\tan(\theta_p) = \frac{\text{sen}(\theta_p)}{\cos(\theta_p)} = \frac{n_2}{n_1}$. la cual permite encontrar la relación entre el ángulo de Brewster y los índices de refracción.

$$\tan(\theta_p) = \frac{n_2}{n_1}$$

Siendo n_1 el índice de refracción del medio de donde incide la luz y n_2 el índice de



refracción del medio hacia donde se refracta.

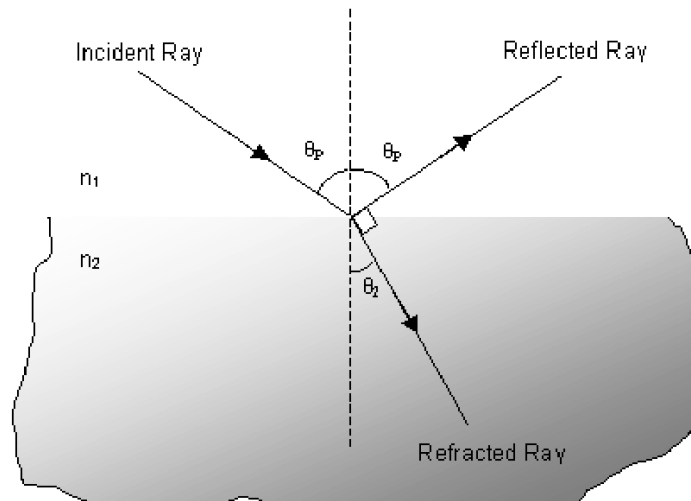


Figura (1). Polarización de luz no polarizada

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse y/o socializarse Antes de la realización de la práctica, según las indicaciones del docente.

1. Deduzca la ley de Snell.
2. Deduzca matemáticamente la ley reflexión.
3. Demuestre la ley de Brewster.
4. Demuestre que los vectores de propagación (\vec{k} incidente, reflejado y transmitidos) están en el mismo plano.

Procedimiento

1. Use la fuente de luz láser, que será polarizada linealmente.
2. Ponga la muestra transparente, de tal manera que la luz láser incida sobre la cada plana de esta (Use la lente semicircular de acrílico o la llena de glicerina). La luz debe estar polarizada linealmente paralela al plano de incidencia.
3. Varíe el ángulo de incidencia (entre 20° y 80°) y registre la intensidad en el sensor de luz (de Pasco), que es controlado con la interface.

Análisis de datos

Con los datos obtenidos, para los distintos materiales (Lente de acrílico, Lente de agua y lente de Glicerina)

1. Grafique la intensidad Vs ángulo de incidencia.
2. Busque una función de ajuste a los resultados obtenidos.
3. Para calcular el ángulo mínimo a partir de la curva intensidad vs ángulo de



incidencia, usted puede calcular mínimo valor de theta usando el concepto de máximos y mínimos.

4. Calcule el índice de refracción de cada una de las sustancias usadas.
5. Compare estos resultados con otros consultados en la literatura.

RESPONDA LAS SIGUIENTES PREGUNTAS:

1. ¿El ángulo de Brewster sería más grande o más pequeño si la lente "Semi circular" se sumergiera en el agua?. Explique.
2. ¿Cómo las gafas de sol polarizadas reducen el deslumbramiento? ¿Qué dirección es el eje de polarización en un par de lentes polarizados? ¿Cómo comprobarías esto?.
3. ¿Cómo se ve afectado el índice de refracción por un cambio en la longitud de onda del láser?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Puede consultar el tema en la siguiente bibliografía:

- “**Óptica.**”. E. Hecht, A. Zajac. Ed. Addison Wesley, 2000.
- “**Fundamentals of Optics.**” F.A. Jenkins, H.E. White. Ed. McGraw-Hill, 1981.
- “**Física**”, Marcelo Alonso y Edward J. Finn; Ed. Addison-Wesley Iberoamericana, 1995.



LABORATORIO DE OPTICA- UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

DEPARTAMENTO DE FISICA Y GEOLOGIA.

Determinación de la Distancia Focal Efectiva de un Sistema Compuesto por Dos Lentes Convergentes

*Prof. Dr. Jorge Enrique Rueda, Grupo Óptica Moderna,
jorgeenriquerueda@gmail.com
Asignatura Experimental de Pregrado en Física: Laboratorio de Óptica*

OBJETIVOS

1. Determinar la distancia focal efectiva de un sistema óptico compuesto de dos lentes convergentes, cada una de distancia focal conocida.
2. Validar, para el sistema compuesto de dos lentes convergentes, la relación entre la distancia objeto (d_o), distancia imagen (d_I) y focal efectiva (F_{ef}) del sistema (relación Gaussiana):

$$\frac{1}{d_o} - \frac{1}{d_I} = \frac{1}{F_{ef}} \quad \text{Ec.(0)}$$

INTRODUCCIÓN

La distancia focal efectiva F_{ef} , del sistema compuesto de la Fig.1, viene dada por:

$$F_{ef} = \frac{F_1 F_2}{F_1 + F_2 - d}. \quad \text{Ec.(1)}$$

Esta expresión es válida, si consideramos que el acoplamiento se realiza en un medio de índice de refracción $n=1$. Siendo d la distancia de

acoplamiento entre los planos principales de los dos sistemas, es decir $\mathbf{d} = H_1H_2$. Considerando el caso de lentes delgadas, los planos principales estarán confundidos y coincidirán con el centro de cada lente, es decir $H_1=H'_1$ y $H_2=H'_2$. De modo que \mathbf{d} definirá la distancia entre los centros de las dos lentes. Conocidas las focales f_1 y f_2 de dos lentes se puede construir un sistema formado por ambas de focal F_{ef} deseado, solo variando la distancia \mathbf{d} entre ellas.

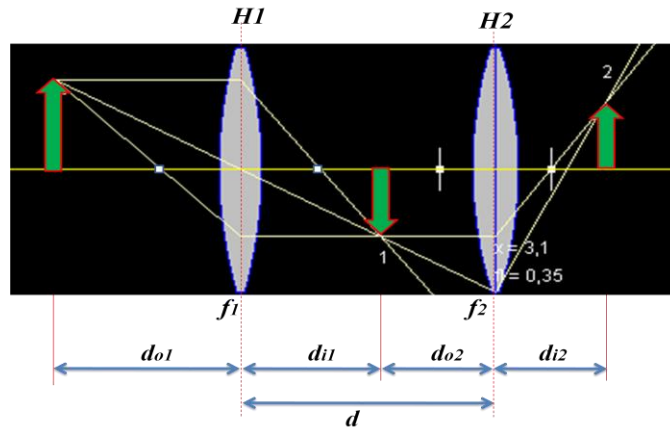


Figura 1. Sistema compuesto de dos lentes convergentes, de distancias focales f_1 y f_2 .

El aumento \mathbf{A} de la imagen a través del sistema puede escribirse en función de la focal F_{ef} , de la forma $A = -\frac{Z}{F_{ef}}$. Siendo \mathbf{Z} la distancia desde el plano imagen al plano focal imagen efectivo (ver Fig.2).

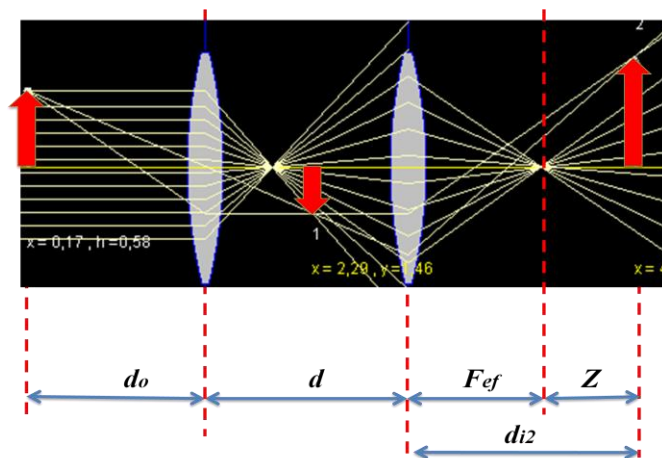


Figura 2. Sistema compuesto de dos lentes convergentes.

Para una posición determinada del sistema compuesto se puede medir experimentalmente el aumento \mathbf{A} . La distancia \mathbf{Z} no se conoce de manera

absoluta puesto que se desconoce la posición del plano focal imagen efectivo del sistema. Sin embargo, la posición del plano focal imagen efectivo F_{ef} con respecto a la lente L_2 , se mantiene constante, siempre que d lo sea; así,

$$d_{i2} = F_{ef} + Z \quad \text{Ec.(2)}$$

Entonces, podemos reescribir el aumento de la siguiente forma:

$$A = -\frac{d_{i2}}{F_{ef}} + 1 \quad \text{Ec.(3)}$$

Entonces podemos medir la focal efectiva del sistema a partir de la medida de la distancia imagen final y el aumento, teniendo en cuenta que la separación entre las lentes se debe mantener invariante.

MÉTODO EXPERIMENTAL

En el laboratorio se cuenta con la siguiente lista de elementos, que constituyen el equipo de experimentación fundamental para el desarrollo de los objetivos propuestos:

1. Fuente de mercurio
2. Objetos (diapositivas)
3. Lente condensador óptico
4. Lentes convergentes (L_1 de focal 100cm ; L_2 de focal 200cm)
5. Pantalla de observación
6. Cinta métrica
7. Bases de soporte

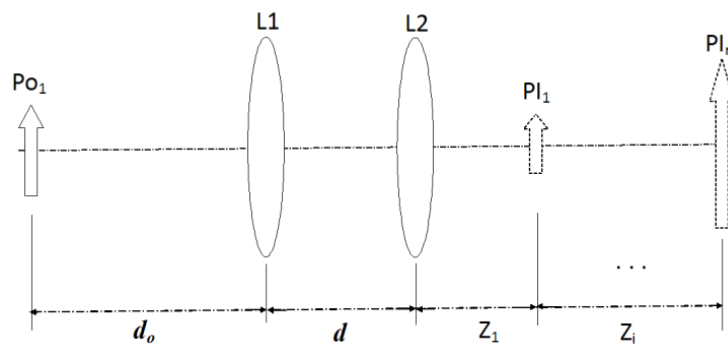


Figura 3. Esquema experimental. L1 lente de focal +100cm; L2 lente de focal +200cm; $d_o=40$ cm primera distancia objeto, Z_1 distancia del plano imagen correspondiente al primer plano objeto - PO_1 -. PI_1 : Primer plano imagen; PI_n : Último plano imagen

Se propone desarrollar el experimento mediante dos métodos; el primero, consiste en construir el sistema compuesto de dos lentes convergentes, de la forma como muestra el esquema de la Fig.3 y tomar los datos que se indican en la Tabla.1.

Inicialmente se debe verificar que todos los elementos estén centrados respecto al eje óptico del sistema total, esta operación consiste en observar que el centro del haz de luz pasa centrado a través de cada dispositivo del arreglo óptico; se recomienda utilizar un material difusor no rígido (p.e. papel pergamino, papel blanco, otro material similar). Moviendo longitudinal de la pantalla, después de la lente L3, entonces se puede encontrar el primer plano imagen Z_1 ; se mide entonces esta distancia, repitiendo la medida, mínimo cinco veces. Hecho esto, se propone, a partir de este plano imagen, mover la pantalla a intervalos de 12 cm, hasta completar los datos indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos experimentales del primer método. y_i : altura de la imagen; y_o : altura del objeto; DO : distancia objeto; DI : distancia imagen promedio.

DO (cm)	y_i/y_o (cm)	$Z_1+ Z_i$ (cm)	DI (cm)
45.5			

Hasta completar diez valores de distancia objeto.

El segundo método experimental consiste en determinar individualmente la distancia focal de cada lente (ver arreglo en la Fig. 4), para este propósito, se debe tabular los datos de la distancia objeto, distancia imagen, altura del objeto, altura de la imagen. Se sugiere seguir un procedimiento similar al caso anterior.

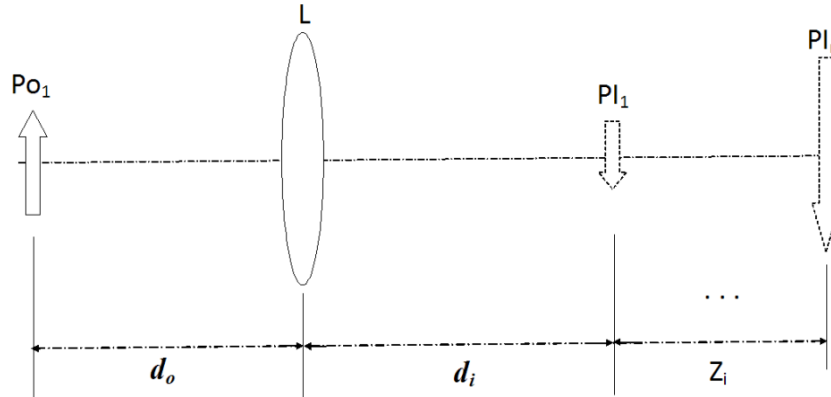


Figura 4. Esquema experimental. L lente de focal +100cm ó +200cm; $d_o = 45.5$ cm primera distancia objeto, d_i distancia del plano imagen correspondiente al primer plano objeto - PO_1 -; PI_1 : Primer plano imagen; PI_n : Último plano imagen.

Tabla 2. Datos experimentales del segundo método. y_i : altura de la imagen; y_o : altura del objeto; DO : distancia objeto; DI : distancia imagen promedio.

DO (cm)	y_i/y_o (cm)	$d_i + Z_i$ (cm)	DI (cm)
45.5			

Hasta completar diez valores de distancia objeto.

Tabla 3. Datos experimentales del segundo método. y_i : altura de la imagen; y_o : altura del objeto; DO : distancia objeto; DI : distancia imagen promedio.

DO (cm)	y_i/y_o (cm)	$d_i + Z_i$ (cm)	DI (cm)

Hasta completar diez valores de distancia objeto.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Utilice técnicas computacionales (herramienta computacional sugerida: MatLab) para el análisis estadístico (ajuste de datos, desviación estándar, promedio, errores relativos, otros) de los datos obtenidos en el experimento. Se sugiere hacer el siguiente análisis para cada caso:

Método I: Análisis de los datos de la Tabla 1.

1. Graficar DO vs DI , compare este resultado con el comportamiento de la Ec.(0).
2. Graficar $1/DO$ vs $1/DI$; de este resultado gráfico determinar la focal efectiva del sistema; hacer el comparativo de error respecto al valor calculado numéricamente mediante la Ec.(1).
3. Graficar y_i/y_o vs Z_1+Z_i , de este resultado determinar la focal efectiva del sistema; hacer el comparativo de error respecto al valor calculado numéricamente mediante la Ec.(1).
4. Discuta y los resultados obtenidos en 2. y 3..

Método II: Análisis de los datos de la Tabla 2 y Tabla 3.

1. Para cada lente: graficar DO vs DI , compare este resultado con el comportamiento de la Ec.(0).
2. Para cada lente: graficar $1/DO$ vs $1/DI$; de este resultado determinar la focal; hacer el comparativo de error respecto al valor indicado por el fabricante.
3. Para cada lente: graficar y_i/y_o vs d_i+Z_i , de este resultado gráfico determinar la focal; hacer el comparativo de error respecto al valor indicado por el fabricante.
4. Discuta y los resultados obtenidos en 2. y 3..
5. Con los valores obtenidos para las focales de cada lente, calcule la focal efectiva del sistema del método I, utilizando la Ec.(1).

REFERENCIAS

1. E. Hecht, A. Zajac, Óptica, Fondo Educativo Interamericano S.A., E.U.A, 1977
2. J. Berty, A. Escaut, P. Marchand, L. Martín, A. Oustry, Physique Practique: Optique, Librairie Vuibert, París 1974

Focometría de Lentes Convergentes Mediante el Método de Bessel

*Prof. Dr. Jorge Enrique Rueda, Grupo Óptica Moderna,
jorgeenriquerueda@gmail.com
Asignatura Experimental de Pregrado en Física: Laboratorio de Óptica*

OBJETIVOS

1. Determinar la distancia focal de lentes convergentes.
2. Validar el método de Bessel utilizado en focometría.

INTRODUCCIÓN

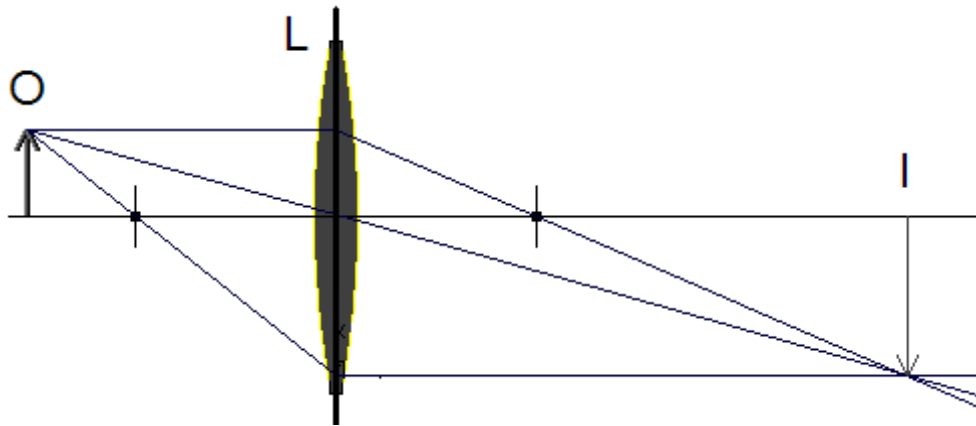
El método de Bessel es una técnica experimental utilizada en focometría, para la medición de longitudes focales de lentes convergentes. Este método está fundamentado en el hecho de que manteniendo fija la posición de un determinado plano objeto y la pantalla de observación de su respectiva imagen, es posible entonces encontrar otra imagen sobre esta misma posición de la pantalla, al mover la lente entre estos dos planos ¿porqué?.

Este comportamiento sustenta la siguiente relación:

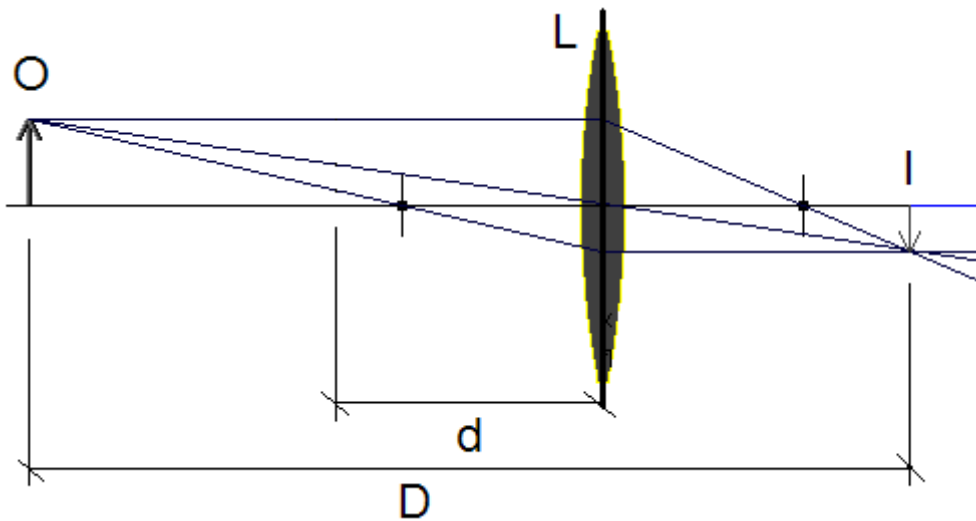
$$F = \frac{D^2 - d^2}{4D}, \quad \text{Ec.(1)}$$

donde F es la distancia focal de la lente convergente de prueba, D es la distancia entre el plano objeto y la pantalla, y d es la distancia entre la primera y la segunda posición de la lente. Entonces de acuerdo a la Ec.(1),

podemos medir la distancia focal de una lente convergente, a partir de la medición de las distancias D y d . En la Fig.(1), se presenta un esquema del arreglo experimental; entonces



(a). Primera posición de L.



(b). Segunda posición de L.

Figura 1. Arreglo experimental para aplicar el método de Bessel. O: plano objeto; I: Plano imagen; L: Lente convergente de prueba.

MÉTODO EXPERIMENTAL

En el laboratorio se cuenta con la siguiente lista de elementos, que constituyen el equipo de experimentación fundamental para el desarrollo de los objetivos propuestos:

1. Fuente de mercurio
2. Objetos (diapositivas)
3. Lente condensador óptico.
4. Lentes convergentes.
5. Pantalla de observación
6. Cinta métrica
7. Bases de soporte

Se propone desarrollar el experimento para no menos de tres lentes convergentes de focales diferentes. Utilice entonces la información dada en la introducción y proceda a construir el arreglo de la Fig.(1)., y llene los datos sugeridos en la Tabla 1.

Antes de iniciar la toma de datos se debe verificar que todos los elementos estén centrados respecto al eje óptico del sistema total, esta operación consiste en observar que el centro del haz de luz pasa centrado a través de cada dispositivo del arreglo óptico; se recomienda utilizar un material difusor no rígido (p.e. papel pergamino, papel blanco, otro material similar).

Tabla 1. Datos experimentales. \bar{F} es la distancia focal promedio, calculada utilizando la Ec.(1) y los datos de las columnas 1 y 3 de esta tabla.

D (cm)	d (cm)	\bar{d} (cm)	\bar{F} (cm)

Variar la distancia D mínimo 10 veces, a intervalos constantes.

Construya una tabla similar para cada lente de prueba.

ANALISIS DE RESULTADOS

Utilice técnicas computacionales (herramienta computacional sugerida: MatLab) para el análisis estadístico (ajuste de datos, desviación estándar, promedio, errores relativos, otros) de los datos obtenidos en el experimento. Se sugiere hacer el siguiente análisis:

1. Graficar d vs D para cada lente, y en cada caso compare el resultado con el comportamiento de la Ec.(1).
2. Hacer una gráfica que linealice d vs D , y de esta linealización determine la longitud focal de la respectiva lente. Compare el resultado con el obtenido utilizando la Ec.(1) y los datos de cada tabla.
3. Discuta los resultados obtenidos en 1. y 2..

REFERENCIAS

1. E. Hecht, A. Zajac, Óptica, Fondo Educativo Interamericano S.A., E.U.A, 1977
2. J. Berty, A. Escaut, P. Marchand, L. Martín, A. Oustry, Physique Practique: Optique, Librairie Vuibert, París 1974

Medición de la Distancia Focal de Lentes Convergentes y Divergentes Utilizando el Método de Badal

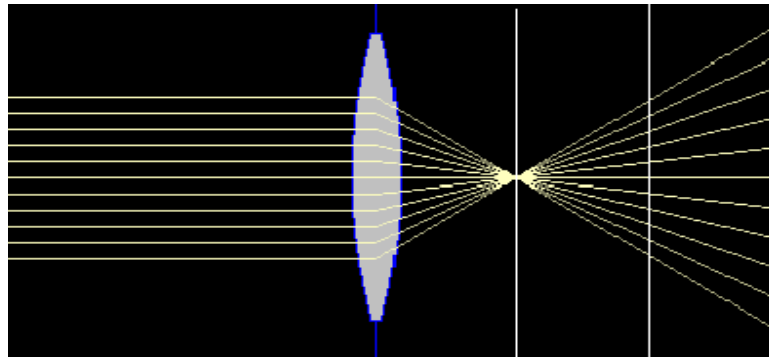
*Prof. Dr. Jorge Enrique Rueda, Grupo Óptica Moderna,
jorgeenriquerueda@gmail.com
Asignatura Experimental de Pregrado en Física: Laboratorio de Óptica*

OBJETIVO

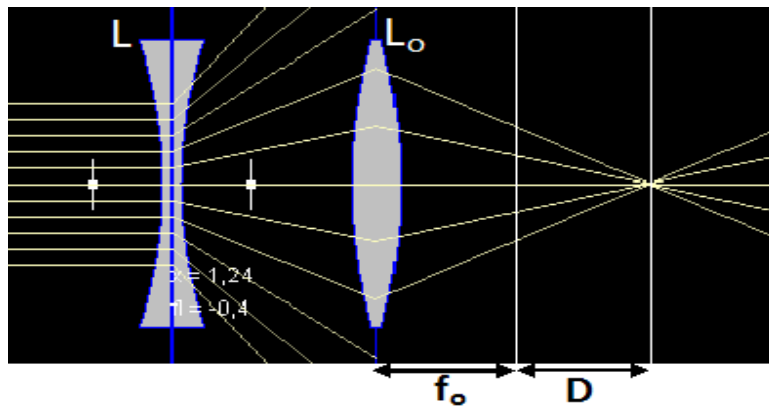
1. Implementar el método de Badal y utilizarlo en la medición de la focal de lentes positivas y negativas.
2. Medir la distancia focal de una lente convergente utilizando el principio de refracción de una onda plana a través de tal lente.

INTRODUCCIÓN

El método de Badal permite determinar la distancia focal de lentes tanto convergentes como divergentes. Utilizando una lente de referencia L_o , de distancia focal f_o , la cual se ilumina con un frente de onda plano, y detrás de esta se ubica la lente de prueba L (de distancia focal F), (ver la Figura 1.(b)), así se produce un plano imagen ubicado a una distancia D , medido a partir del plano focal de la lente referencia. Es importante en este método, que la separación entre la lente de referencia y la lente de prueba, sea mayor que la suma ($f_o + F$) ¿Porqué?.



(a). Lente de referencia



(b). Lente divergente de prueba + Lente de referencia

Figura 1. Arreglo del Método de Badal.

Así, la distancia focal F de la lente de prueba se calcula utilizando la siguiente relación:

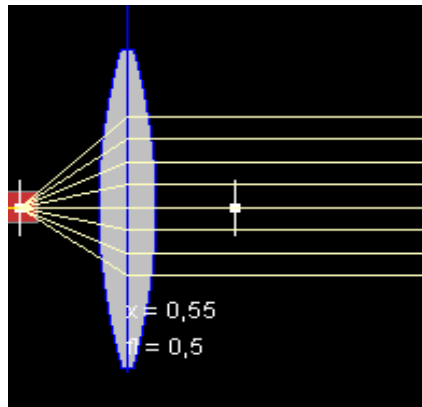
$$F = -\frac{f_o^2}{D}. \quad \text{Ec.(1)}$$

MÉTODO EXPERIMENTAL

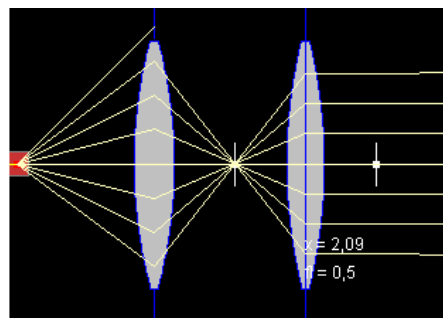
En el laboratorio se cuenta con la siguiente lista de elementos, que constituyen el equipo de experimentación fundamental para el desarrollo de los objetivos propuestos:

1. Fuente de mercurio
2. Objetos (diapositivas)
3. Lente condensador óptico
4. Lentes convergentes y divergentes
5. Pantalla de observación
6. Cinta métrica
7. Bases de soporte

El paso inicial es construir el frente de onda plano; para ello se construye uno de los dos arreglos mostrados en la Figura 2.:



(a). Construcción de una onda plana con una lente convergente.



(b). Construcción de una onda plana utilizando dos lentes convergentes.

Figura 2. Arreglos para construir frentes de onda plana.

Una vez construido el frente de onda plano, se procede a construir entre este frente de onda el arreglo de la Figura 1. Note que en la Figura 1 está para la medición de la focal de una lente divergente, una vez caracterizada esta, cámbiela por una convergente y proceda de la misma forma anterior. Para cada caso, utilice el modelo de Tabla de datos Tabla 1. y Tabla 2.

Tabla 1. Datos experimentales para lente de prueba convergente. Z : distancia entre la lente de prueba y la lente de referencia. f_i : i medidas de la focal de la lente de referencia y \bar{f} su valor promedio. D_i : i medidas de la distancia D . \bar{D} : promedio de los valores D_i .

Z (cm)	f_i (cm)	\bar{f} (cm)	D_i (cm)	\bar{D} (cm)

Medir hasta completar diez valores de Z .

Tabla 1. Datos experimentales para lente de prueba divergente. Z : distancia entre la lente de prueba y la lente de referencia. f_i : i medidas de la focal de la lente de referencia y \bar{f} su valor promedio. D_i : i medidas de la distancia D . \bar{D} : promedio de los valores D_i .

Z (cm)	f_i (cm)	\bar{f} (cm)	D_i (cm)	\bar{D} (cm)

Medir hasta completar diez valores de Z .

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Utilice técnicas computacionales (herramienta computacional sugerida: MatLab) para el análisis estadístico (ajuste de datos, desviación estándar, promedio, errores relativos, otros) de los datos obtenidos en el experimento. Se sugiere hacer el siguiente análisis para cada caso:

1. Graficar Z vs \bar{D} . Encuentre la relación matemática entre estos dos parámetros.
2. Graficar \bar{D} vs \bar{f} ; con estos datos, construya la gráfica de linealización de los mismo y determine de esta gráfica la focal de la respectiva lente de prueba.
3. Compare el resultado obtenido experimentalmente según el paso 2, con el valor dado por el fabricante.
4. Discuta los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

1. E. Hecht, A. Zajac, Óptica, Fondo Educativo Interamericano S.A., E.U.A, 1977
2. J. Berty, A. Escout, P. Marchand, L. Martín, A. Oustry, Physique Practique: Optique, Librairie Vuibert, París 1977