

Práctica 3

Lentes delgadas

Luis Arturo Ureña Casarrubias
Alicia Aldana Pérez
José Antonio Aguilar Ibarra

Laboratorio de Óptica

5 de octubre de 2024

Resumen

En este reporte se presentan los resultados obtenidos de la práctica donde se hizo uso de lentes delgadas para observar y medir la formación de imágenes en base al tipo de lente y la composición (simple o compuesta) del sistema, con el fin de corroborar la ley ya conocida y establecida para dichos elementos ópticos.

1. Introducción

En la presente práctica de laboratorio se estudió el comportamiento de la luz al pasar a través de lentes delgadas. Las lentes son elementos ópticos fundamentales que permiten manipular la dirección y las propiedades de los rayos luminosos mediante fenómenos de refracción. A partir de la relación entre la forma de la lente y el índice de refracción del material, se generan efectos ópticos que resultan de gran utilidad en aplicaciones como la corrección visual, instrumentos de precisión y dispositivos ópticos.

El objetivo de esta práctica fue observar cómo los diferentes tipos de lentes delgadas, como las convergentes y divergentes, afectan la trayectoria de la luz, y cómo sus características geométricas influyen en la formación de imágenes. Se analizaron conceptos como la distancia focal, el aumento y la formación de imágenes virtuales y reales. También se exploraron algunos sistemas ópticos simples y compuestos que pueden ser contruidos a partir de lentes delgadas.

2. Marco Teórico

Las lentes delgadas son cuerpos transparentes limitados por dos superficies, generalmente esféricas, que desvían la luz debido a la refracción. Según su forma, las lentes pueden ser convergentes o divergentes. Las lentes convexas y cóncavas manipulan la dirección de la luz mediante la refracción, y su funcionamiento se puede explicar de manera geométrica observando cómo desvían los rayos luminosos.

2.1. Lentes convexas (convergentes o positivas)

Una lente convexa tiene su superficie curva hacia afuera. Cuando los rayos de luz paralelos al eje principal de la lente inciden sobre ella, son refractados hacia el interior, convergiendo en un punto llamado foco. Este foco está ubicado a una distancia fija de la lente, conocida como la distancia focal. Geométricamente, esto sucede porque la curvatura de la lente hace que los rayos cambien de dirección hacia el centro.

- Imágenes reales: Si un objeto está más allá de la distancia focal, la lente formará

una imagen real e invertida en el lado opuesto de la lente.

- Imágenes virtuales: Si el objeto está entre la lente y su foco, la imagen será virtual, derecha y ampliada, como sucede en una lupa.

2.2. Lentes cóncavas (divergentes o negativas)

En una lente cóncava, la superficie está curva hacia adentro. Los rayos de luz que inciden paralelos al eje principal se dispersan al pasar por la lente, como si vinieran de un punto virtual llamado foco virtual, ubicado en el mismo lado del que provienen los rayos. Geométricamente, la lente desvía los rayos hacia afuera debido a su forma, creando una divergencia.

- Las lentes cóncavas siempre forman imágenes virtuales, derechas y reducidas, que parecen provenir de un punto detrás de la lente.

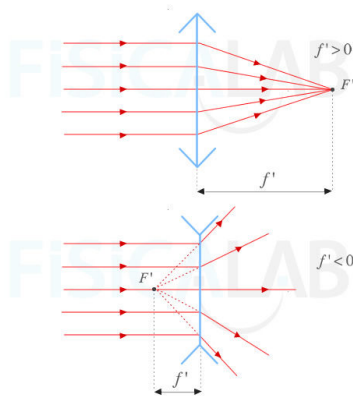


Figura 1: Geometría de una lente convexa (arriba) y una lente cóncava (abajo). Imagen obtenida de: <https://www.fisicalab.com/apartado/lentes-delgadas>

La formación de imágenes en las lentes delgadas se puede predecir usando la ecuación de las lentes delgadas:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \quad (1)$$

Donde: f es la distancia focal de la lente, d_o es la distancia del objeto a la lente y d_i es la distancia de la imagen a la lente.

El poder de aumento de una lente se define como la relación entre la altura de la imagen y la altura del objeto. Las imágenes pueden ser reales o virtuales, dependiendo de la posición relativa del objeto respecto a la lente y su distancia focal.

2.3. Sistemas ópticos simples y compuestos

Un sistema óptico simple consiste en una sola lente utilizada para formar imágenes, como en las lupas o lentes de aumento. En estos casos, se puede utilizar una lente convergente para amplificar la imagen de un objeto cercano, formando una imagen virtual y ampliada que se observa al mirar a través de la lente.

Por otro lado, los sistemas ópticos compuestos utilizan múltiples lentes para manipular la luz de manera más precisa o para lograr mayores niveles de aumento. Ejemplos clásicos de estos sistemas son los microscopios compuestos y los telescopios, que combinan varias lentes con distancias focales específicas para enfocar y ampliar objetos distantes o pequeños.

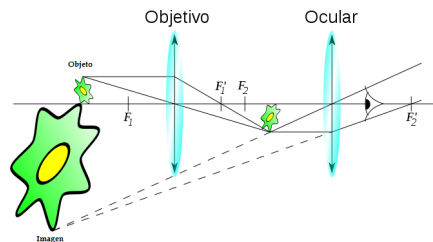


Figura 2: Geometría de un microscopio óptico compuesto. Imagen obtenida de: https://edeajuntadeandalucia.es/bancorecursos/file/ce789742-e873-4b65-8fd8-cf30b7910d4e/1/es-an_2019121712_9162945.zip/7_instrumentos-pticos.html?temp.hn=true&temp.hb=true

- Microscopios compuestos: combinan una lente objetivo cercana al objeto a observar y una lente ocular cercana al ojo del observador. La lente objetivo forma una imagen real aumentada dentro del sistema, la cual es ampliada aún más por la lente ocular, permitiendo ver detalles que no serían visibles a simple vista. (figura 2)
- Telescopios refractores: emplean dos len-

tes convergentes, una como objetivo y otra como ocular. La lente objetivo capta la luz de objetos lejanos y forma una imagen real invertida en el plano focal, mientras que la lente ocular la amplifica, permitiendo la observación de cuerpos celestes.

Ambos sistemas se basan en la cualidad de las lentes delgadas para enfocar la luz y formar imágenes claras y definidas, aprovechando las propiedades de refracción y la capacidad de ampliación. Estos principios son fundamentales en diversas aplicaciones ópticas, desde dispositivos de precisión hasta equipos de investigación científica.

3. Metodología Experimental

El montaje base consistió en apuntar una lámpara en dirección hacia un riel sobre el cual se montaron una o dos lentes delgadas (según se necesitara). Con ayuda de papel albanene y plumones, se hizo un dibujo y se colocó justamente en la salida de la luz de la lámpara; siendo este el objeto. Finalmente, y conforme se ajustaban las distancias y los tipos de lente, se colocó una pantalla (hoja blanca) al otro lado de la lente, con el fin de ahí poder observar la imagen formada.



Figura 3: Montaje base con una lente positiva sobre el riel.

La práctica se dividió en 4 partes:

1. Lente positiva.

Inicialmente se trabajó con una lente positiva (biconvexa) cuya distancia focal no era conocida (figura 3).

Se midió la distancia del objeto a la lente y del objeto a la pantalla. Esto se hizo 10

veces, modificando gradualmente la distancia de la lente al objeto.

Con estos 10 datos, en la sección 4 se presenta el cálculo realizado para obtener la distancia focal de la lente.

2. Lente negativa.

En esta parte, se utilizó una lente negativa (plano cóncava) cuya distancia focal no era conocida.

Aquí simplemente se hizo la corroboración visual de que, al ser una lente divergente, no se formaba la imagen del lado contrario a la posición del objeto (con respecto a la misma lente). Ya que, como se menciona en la sección 2, esta lente forma una imagen virtual.

3. Sistema compuesto: lente negativa + lente positiva.

Una vez hechas la parte 1 y 2, se procedió con un sistema compuesto en donde se colocó primero la lente negativa (respecto al objeto) y seguida la lente positiva, de la cuál sí se conocía su distancia focal ($f = 300 \text{ mm}$) (figura 4).

Se midió la distancia de cada una de las lentes y de la pantalla, con el fin de hacer uso de la ecuación 1 para obtener el resultado de en qué posición se encontraba la imagen virtual formada por la lente negativa y, con ello, la distancia focal de esta misma. Dichos cálculos se encuentran en la sección 4.

4. Sistema compuesto: 2 lentes positivas.

Finalmente se armó un sistema compuesto por dos lentes positivas, primero la que su distancia focal se calculó en la parte 1 y después la de distancia focal $f = 300 \text{ mm}$ (con respecto al objeto) (figura 5).

En esta, de nueva cuenta, se midió la distancia a cada lente y la distancia a la pantalla. Configuración similar a un microscopio, con la diferencia de que no hubo ampliación, debido a que la distancia entre las lentes no fue la suficiente para permitir la creación de la imagen intermedia.



Figura 4: Sistema compuesto por una lente negativa y una lente positiva.

Se realizaron 10 mediciones de las distancias objeto-lente y lente-imagen para corroborar la ley de lentes delgadas en un sistema óptico simple con una lente positiva. Los resultados experimentales se presentan en la Tabla 1:

d_0 (cm)	d_i (cm)
65	65.0
66	62.0
67	63.0
68	60.0
69	60.5
70	61.0
71	61.0
72	60.0
74	59.0
85	56.0

Tabla 1: Distancias objeto-lente y lente-imagen obtenidas experimentalmente.

Con base en estos datos, se utilizó la ecuación de lentes delgadas para calcular la distancia focal de la lente positiva. Los resultados de las distancias focales obtenidas para cada par de mediciones se promediaron, dando una distancia focal promedio de:

$$\langle f \rangle = 32.57 \text{ cm}$$

Además, se calculó el error relativo porcentual, el cual resultó ser de 1.63%, lo que indica que las mediciones fueron consistentes y precisas. Este bajo error sugiere que las variaciones



Figura 5: Sistema compuesto por dos lentes positivas.

4. Resultados

en las mediciones fueron mínimas, lo que refuerza la confiabilidad de los resultados.

En la Figura 6 se muestra una gráfica que ilustra la relación entre la distancia objeto-lente y la distancia lente-imagen:

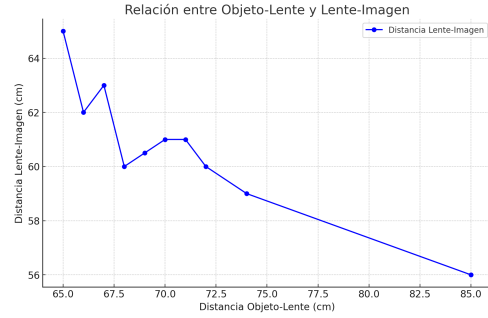


Figura 6: Relación entre la distancia Objeto-Lente y Lente-Imagen.

Haciendo uso de la ecuación (1), empleando los conjugados $a' = 1/a$,

$$d'_i = -d'_0 + f', \quad (2)$$

podemos obtener f como el conjugado de la intersección al origen del ajuste lineal de las mediciones de d'_0 y d'_i .

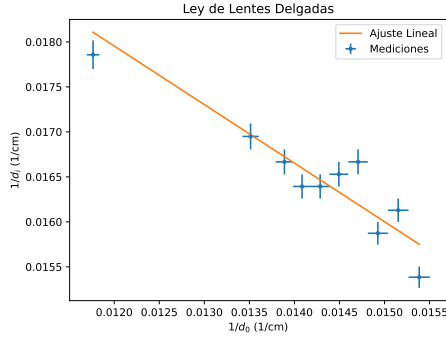


Figura 7: Graficamos el conjugado de d_i como funciones del conjugado de d_i .

La ecuación de ajuste que se obtiene es

$$d'_i = -0.651 \pm 0.159 d'_o + (0.0258 \pm 0.0023) \text{ cm}^{-1}. \quad (3)$$

Con un coeficiente de regresión $r = -0.8397$, lo cual muestra la relación inversa que hay entre las mediciones. Entonces $f = 1/(0.0258 \pm 0.0023) \text{ cm} = (38.810 \pm 3.476) \text{ cm}$. Es decir, tiene un error relativo de 8.96 %.

En la figura 8 se hace un trazado de rayos para encontrar el punto de formación de imagen, prediciendo que este se encontrará 113 cm a la derecha de la fuente puntual de los rayos. Por su lado, en la figura 8 se hace lo mismo, prediciendo que este se encontrará 30 cm a la derecha de la fuente puntual de los rayos.

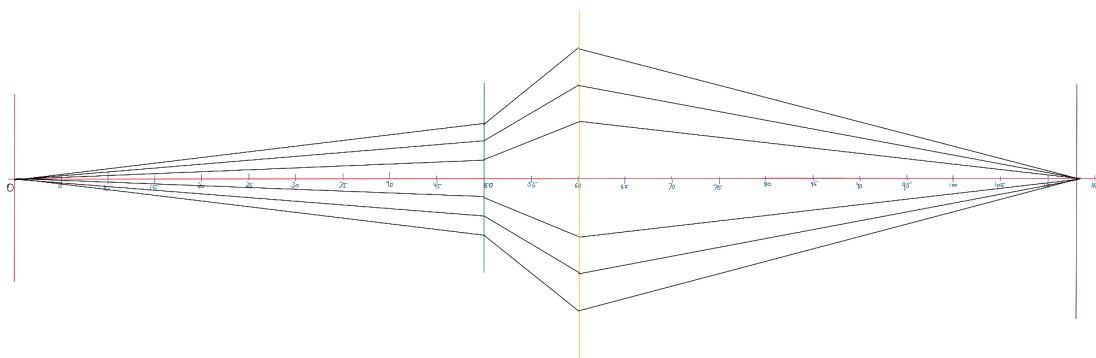


Figura 8: Trazo de los rayos de la configuración de lente negativa-positiva, donde la línea roja vertical es donde está el objeto, la línea verde representa la lente negativa, la línea amarilla representa la lente positiva y la línea morada es donde se forma la imagen.

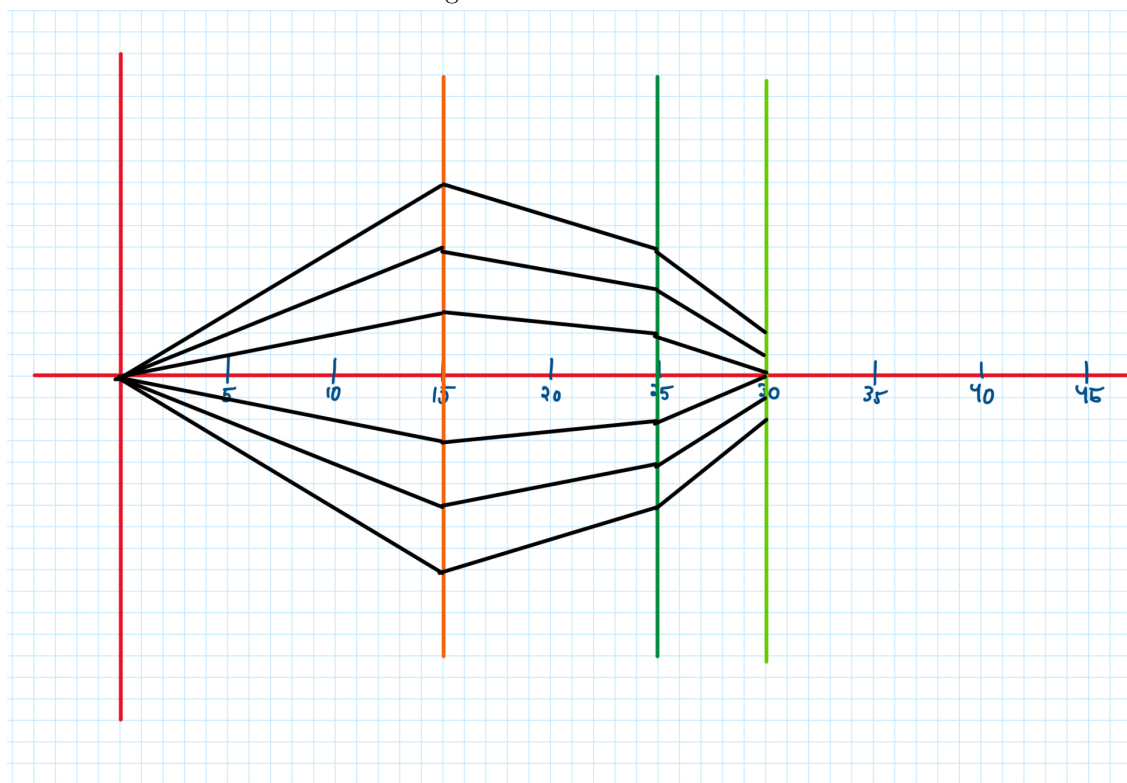


Figura 9: Trazo de los rayos de la configuración de lente positiva-positiva, donde la línea roja vertical es donde está el objeto, la línea naranja representa la primera lente positiva, la línea verde representa la lente segunda positiva y la línea verde claro es donde se forma la imagen.

5. Conclusiones

Los resultados experimentales obtenidos muestran que la ley de lentes delgadas fue corroborada con éxito. La distancia focal promedio obtenida de 32.57 cm es consistente con las características esperadas de una lente convergente. La relación entre las distancias objeto-lente y lente-imagen sigue la tendencia teórica esperada, lo cual se observa claramente en la gráfica presentada.

El error relativo de 1.63 % es relativamente bajo, lo que indica que los errores experimentales, como el paralaje y la posible falta de alineación de los equipos, no afectaron significativamente los resultados.

A su vez, es posible que la pendiente del ajuste (3) provenga de los pocos datos que se tomaron, ya que la ecuación (2) predice una pendiente de -1 . Usando este método obtuvimos una distancia focal de (38.810 ± 3.476) cm.

El experimento fue exitoso en demostrar la validez de la ley de lentes delgadas en la formación de imágenes por lentes positivas. El bajo error obtenido refuerza la confiabilidad de los resultados y la precisión de las mediciones. También fue demostrado de manera exitosa que las lentes negativas no forman imágenes y que las combinaciones lente positiva-positiva y negativa-positiva sí generan imagen.

Referencias

- Born, M., & Wolf, E. (1999). *Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light* (7th). Cambridge University Press.
- Hecht, E. (2017). *Optics* (5th). Pearson.
- Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. S., & Pedrotti, L. M. (2020). *Introduction to Optics* (3rd). Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/core/books/introduction-to-optics/>