

Laboratorio 5

Óptica Geométrica

5.1 Objetivos

1. Descubrir el resultado de mezclar luces en diferentes combinaciones.
2. Verificar experimentalmente de la ley de Snell.
3. Determinar el índice de refracción y el ángulo de reflexión total interna de un trapecio de acrílico
4. Medir el ángulo de reflexión interna total.
5. Determinar la distancia focal de un lente convergente y medir la magnificación al combinar las distancias entre el objeto y su imagen.

5.2 Preinforme

1. ¿Cuáles son las leyes fundamentales de la óptica geométrica?
2. Describa en qué consiste el fenómeno de reflexión total interna
3. Haga un diagrama de rayos para la formación de la imagen en una lente convergente y en una lente divergente
4. Estudie la ecuación para las lentes delgadas, entendiendo el significado de cada una de las variables y establezca una convención de signos apropiada.

5.3 Fundamento Teórico

La óptica geométrica se refiere al comportamiento de los haces luminosos en los instrumentos ópticos. Se basa en cuatro leyes fundamentales las cuales son el

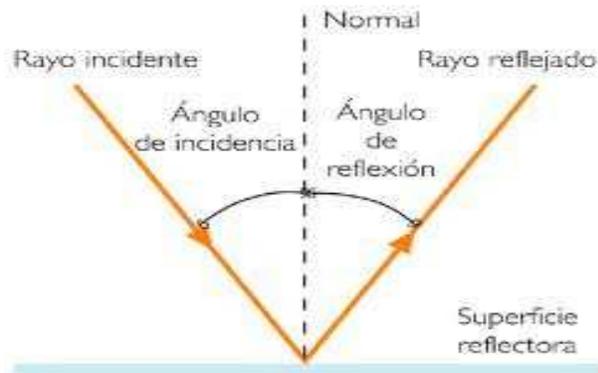


Figura 5.1: Ley de reflexión.

resultado de los primeros estudios que se hicieron a cerca del comportamiento de la luz:

5.3.1 Ley de propagación rectilínea de la luz

Esta ley se enuncia de la siguiente manera:

En un medio homogéneo la luz se propaga en línea recta.

Las sombras y penumbras observadas en una pantalla provenientes de un objeto iluminado con una fuente puntual de luz o la obtención de imágenes utilizando una cámara oscura, constituyen evidencia práctica de esta ley. Su validez está restringida al caso en el cual las dimensiones del objeto sean mucho mayores a la longitud de onda de la luz utilizada. Cuando la luz interactúa con objetos que son comparables con su longitud de onda, la luz no se propaga rectilíneamente, presentandose el fenómeno de **difracción de la luz**¹ el cual hace parte del campo de la **óptica física**

5.3.2 Ley de reflexión de la luz

Cuando un rayo de luz llega a una superficie reflectora formando un ángulo de incidencia θ_i con la normal a dicha superficie, se refleja en la superficie formando un ángulo de reflexión θ_r con la misma normal (ver figura 4.1). La ley de reflexión de la luz establece que:

1. *El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a una superficie reflectora están en un mismo plano*

¹ver capítulo 6 de este texto

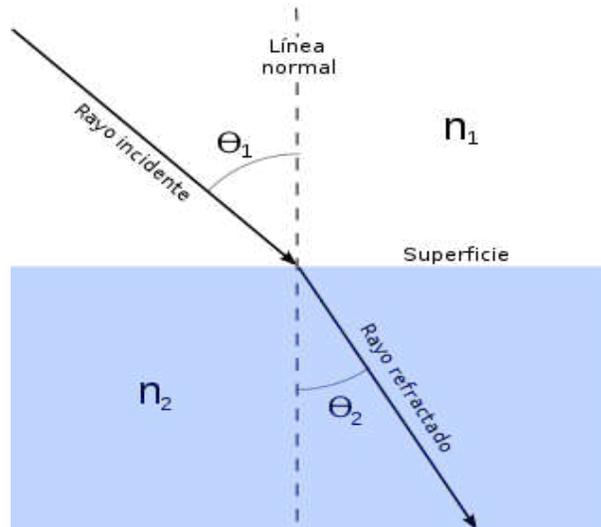


Figura 5.2: Ley de refracción.

2. El ángulo de incidencia θ_i entre el rayo incidente y la normal es igual al ángulo de reflexión θ_r entre el rayo reflejado y la normal ($\theta_i = \theta_r$)

5.3.3 Ley de refracción de la luz

Cuando un rayo de luz llega a una superficie que separa dos medios transparentes formando un ángulo de incidencia θ_i con la normal a dicha superficie, parte del rayo de luz incidente se transmite al segundo medio formando un ángulo de refracción θ_t con la misma normal (ver figura (5.2)). La ley de refracción establece que

1. El rayo incidente, el rayo refractado y la normal se encuentran en un mismo plano
2. La relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción es igual a una constante dada por la relación entre las velocidades de la luz entre los medios incidente y refractante, es decir:

$$\frac{\text{Sen } \theta_i}{\text{Sen } \theta_t} = \frac{v_i}{v_t}. \quad (5.1)$$

Lo anterior significa que cuando la luz pasa de un medio homogéneo transparente a otro medio homogéneo transparente, se observa un cambio en la dirección de la luz como producto del cambio de la velocidad.

La relación entre la velocidad de la luz cuando esta pasa del vacío a cualquier otro medio se conoce como **índice de refracción absoluto**, notado con la letra n , se escribe como:

$$n = \frac{c}{v}.$$

Con esta relación es claro que:

$$\frac{v_i}{v_t} = \frac{n_t}{n_i} = \frac{\lambda_i}{\lambda_t}, \quad (5.2)$$

con lo cual la ley de refracción podrá escribirse como

$$n_i \text{ Sen } \theta_i = n_t \text{ Sen } \theta_t. \quad (5.3)$$

Aunque al parecer esta relación fué obtenida en forma independiente por Snell y Descartes, en los textos de habla inglesa se le conoce como ley de Snell.

La relación $n_t/n_i = n_{ti}$, es el índice de refracción relativo de los dos medios. En general el índice de refracción es una medida del cambio de dirección de la luz cuando ésta cambia de un medio a otro. Obsérvese que

- Si $n_{ti} > 1 \rightarrow n_t > n_i$ lo que significa que $v_i > v_t$ lo que a su vez implica que $\lambda_i > \lambda_t$.
- Si $n_{ti} < 1 \rightarrow n_t < n_i$ lo que significa que $v_i < v_t$ lo que a su vez implica que $\lambda_i < \lambda_t$.

5.3.4 Ley de independencia de los haces luminosos

Los rayos de luz se cruzan entre sí, sin ninguna interferencia entre ellos. La óptica geométrica es una materia práctica que nos permite entender el funcionamiento de todos los instrumentos ópticos prácticos como son el ojo, las gafas, cámaras fotográficas, telescopios, proyectores, microscopios, endoscopios médicos, etc.

La óptica geométrica descansa en tres suposiciones simples:

1. La luz viaja en línea recta (“rayos”).
2. Aquellos rayos de luz que inciden en la frontera entre dos medios (en la cual la velocidad de la luz cambia de un medio a otro) se desvían. Esta desviación se puede calcular mediante la ley de Snell.

Índice de refracción: Cuando la luz pasa de un medio a otro, su longitud de onda (λ) cambia y está relacionada con el índice de refracción, mediante la relación:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (5.4)$$

5.4 Recomendaciones

- En todas sus mediciones y cálculos debe tener en cuenta la incertidumbre en la medición
- Verifique la limpieza de las superficies de los prismas y lentes. Manipule estos objetos por sus bordes con el fin de evitar huellas. En caso de necesitar limpiarlos consulte con el profesor.
- Una sola persona del grupo debe manipular los instrumentos ópticos con el uso de guantes quirúrgicos. Esto con el fin de garantizar su conservación.

5.5 Materiales

- Fuente de luz OS-8470 PASCO.
- Lente convexo OS-8456 PASCO distancia focal: +100mm.
- Carril óptico.
- Pantalla blanca. (**NO DEBE RAYARSE**, se debe pegar con cinta sobre ella una hoja de papel blanco.)
- Lentes en acrílico: cóncavo, convexo, trapezoide, en D y tanque de agua.
- Hojas blancas (cada grupo debe traer al menos 5 hojas blancas).
- Transportador (cada grupo debe traer el propio).
- cinta métrica.
- Guantes quirúrgicos. (cada grupo debe traer al menos un par).

5.6 Procedimiento

5.6.1 Suma de Colores

1. En la figura 5.3 se muestra un esquema básico para este experimento. Una superficie vertical blanca (o la pared), una hoja de papel colocada horizontalmente sobre la mesa y la fuente de luz son situadas como se indica.
2. Se toma la rueda giratoria situada en la fuente de luz y se rota hasta que se vea sobre la pantalla vertical las tres barras de color rojo, verde y azul.

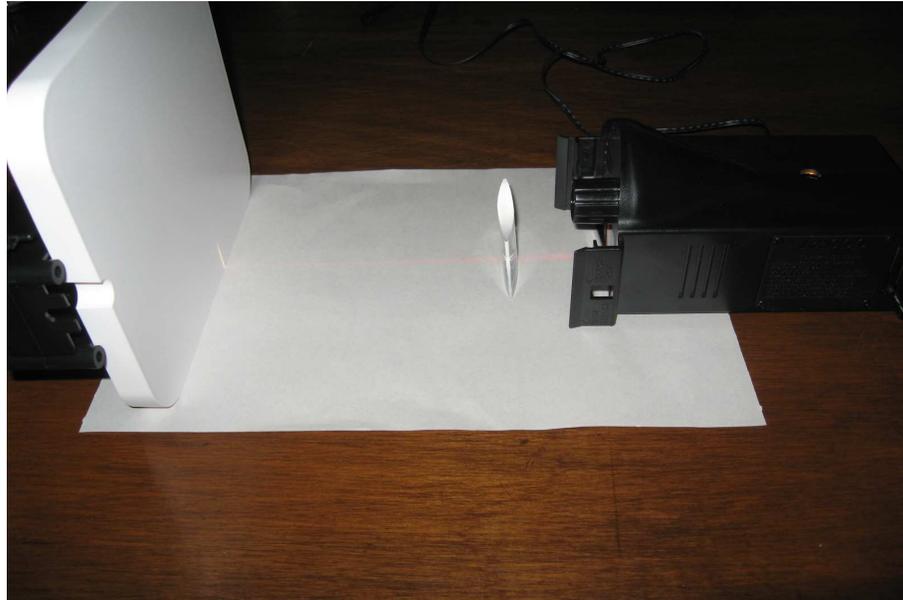


Figura 5.3: Montaje

3. Coloque el lente convexo de acrílico y busque la posición en la cual los tres rayos de colores de la fuente se enfocan y producen una línea de un solo color. Note que para lograr eso debe hacer pasar los rayos por la parte central más gruesa del lente.
4. Escriba en la respectiva casilla de la tabla 1, el resultado de la mezcla de los tres colores.
5. Ahora bloquee uno de los rayos con un lápiz, antes de que incida sobre el lente. Nuevamente registre sus observaciones en la tabla 1.
6. Bloquee posteriormente los otros rayos y registre sus observaciones.

Tabla 1. Colores obtenidos al bloquear individualmente cada color.

colores añadidos	color resultante
rojo+azul+verde	
rojo+azul	
rojo+verde	
verde+azul	

Análisis

1. Si la mezcla de colores se hiciera con pintura, el resultado sería el mismo? Explique.

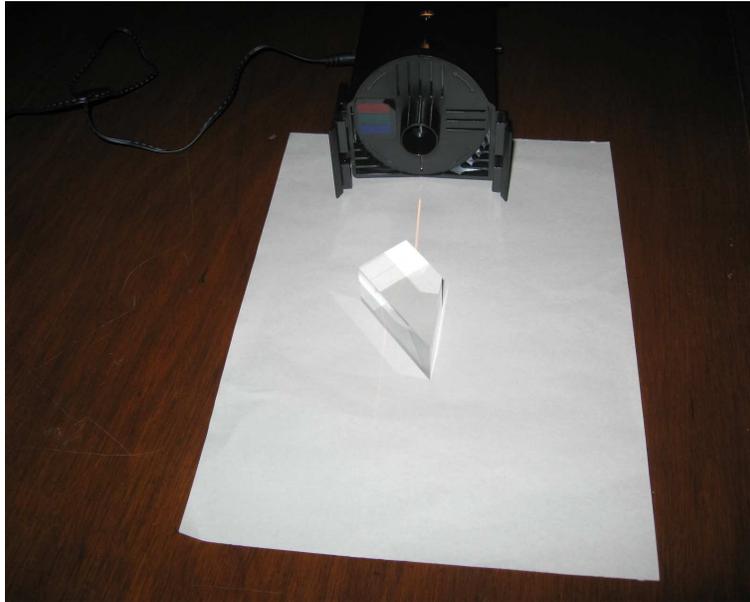


Figura 5.4: Montaje para comprobar la ley de Snell

2. Se dice que la luz blanca es la mezcla de todos los colores. Porque en este experimento se obtiene el mismo efecto mezclando solamente el rojo, el verde y el azul? Explique.

5.6.2 Ley de Snell

1. Coloque el trapezoide sobre una hoja de papel blanca y sitúe la fuente de luz blanca de tal manera que el trapezoide genere rayos paralelos, como se muestra en la figura (5.4).
2. Marque sobre el papel la trayectoria de los rayos involucrados y las superficies del trapezoide con un lápiz. Indique cuál es el rayo incidente y cuál es el rayo refractado para las tres regiones (medios) involucradas: aire-acrílico-aire. Especifique los diferentes medios para cada rayo.
3. Dibuje las normales a las superficies para cada rayo incidente y refractado y mida los ángulos en cada caso con un transportador. Registre sus datos en la tabla 2.
4. Coloque de nuevo sobre otra hoja blanca horizontal el trapezoide de acrílico. Emplee después la fuente de luz y seleccione un rayo simple.
5. Posicione el trapezoide y el haz de luz de modo que el rayo incida en la superficie del trapezoide al menos en dos centímetros medidos desde su borde.

6. Rote el trapecoide hasta que el rayo saliente del trapecoide desaparezca. En ese momento el rayo se separa en colores. La posición del trapecoide será correcta si el color rojo desaparece. Note lo que ocurre durante el proceso con la intensidad de la luz del rayo reflejado.
7. Marque ahora con un lápiz la superficie del trapecoide. Marque exactamente el punto sobre la superficie donde el rayo es internamente reflejado. Además, marque el punto de entrada del rayo incidente y el punto de salida del rayo reflejado.
8. Especifique en su dibujo las trayectorias de los diferentes rayos (incidente, reflejado, saliente). Mida con un transportador el ángulo entre el rayo incidente y reflejado en la superficie interna. Note que éste ángulo debe corresponder al doble del valor del ángulo crítico. (Porque?). escriba entonces el valor del ángulo crítico hallado experimentalmente.
9. Calcule el valor esperado del ángulo crítico usando la ley de Snell y el índice de refracción experimental calculado en el experimento anterior.
10. Observe cómo cambia el ángulo crítico si emplea los tres rayos de colores disponibles en la fuente de luz. Recuerde que para ello debe girar el dispositivo situado en la fuente de luz.
11. Coloque el prisma en forma de D sobre la base giratoria y haga incidir el haz de luz blanca sobre el prisma como se observa en la figura (5.5). Note que tiene en este caso dos superficies disponibles sobre las que puede llegar el rayo incidente. Rote el lente en D y observe bajo que condiciones se puede obtener el ángulo crítico para este lente especial. Se obtiene el mismo ángulo crítico para el lente en D que para el trapecoide?

Tabla 2. Angulos de incidencia y refracción para el trapecoide.

Ángulo de Incidencia	Ángulo de Refracción	Índice de Refracción calculado

Promedio:

Análisis

1. Para cada fila de la tabla 2 use la ley de Snell y calcule el Índice de refracción del trapecoide de acrílico, asumiendo que para el aire el índice de refracción es 1.0

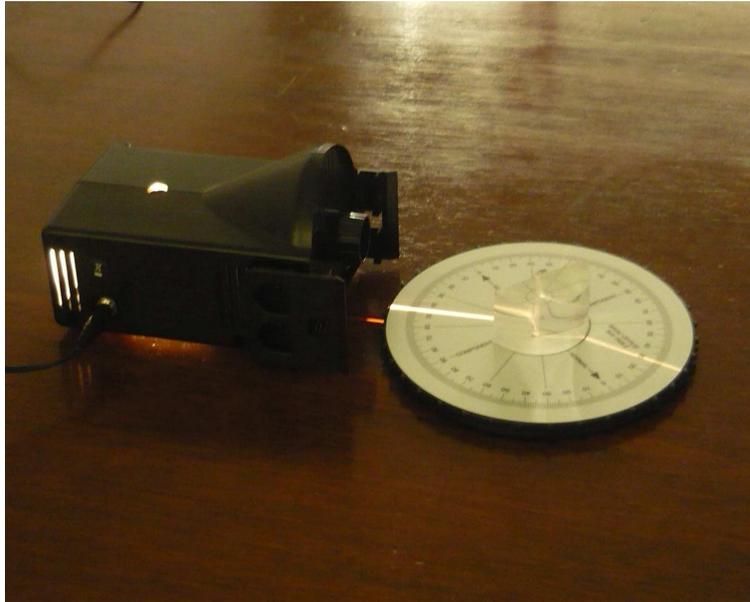


Figura 5.5: Montaje del prisma sobre la base giratoria

2. Promedie los valores y compare finalmente el valor promedio de sus datos con el valor aceptado para el acrílico de 1.5, calculando el porcentaje de error y la incertidumbre de su medida.
3. Cuál es el valor del ángulo del rayo que sale del trapezoide con respecto al ángulo del rayo que entra en el trapezoide?
4. Calcule el porcentaje de error para el ángulo crítico (reflexión total interna) entre el valor experimental medido y el valor esperado.
5. Cómo cambia el brillo del haz internamente reflejado cuando el ángulo incidente es menor o mayor que el ángulo crítico?.
6. Cómo cambia el ángulo crítico con el color? Tendrá algo que ver el índice de refracción?
7. Analice las diferencias en el valor del ángulo crítico en la forma de la superficie (trapezoide o lente en D)

5.6.3 Óptica Geométrica

Procedimiento

1. Coloque la fuente de luz y la pantalla sobre el carril óptico alejados entre sí un metro, tal como se muestra en la figura (5.6). Coloque el lente convergente



Figura 5.6: Montaje del carril óptico.

entre los dos objetos mencionados.

2. Empiece acercando el lente a la pantalla, y deslícelo por el carril alejándose de la pantalla hasta que llegue a una posición donde observe una imagen clara de la imagen (flechas cruzadas) formada sobre la pantalla. En ese momento mida la distancia de la lente con respecto a la pantalla (imagen) y de la lente con respecto a la fuente de luz (objeto) y registre sus datos en la tabla 3. Note que la posición 1 y la posición 2 en la tabla están diferenciadas por su cercanía a la imagen.
3. Mida el tamaño del objeto(en la fuente de luz) y de la imagen (en la pantalla) para esta posición del lente.
4. Determine si hay alguna nueva posición para la lente que le permita enfocar la imagen. Si es así, registre nuevamente las medidas de distancia entre los tres componentes. (pantalla-lente-fuente) y las medidas de tamaño entre dos puntos de referencia en la imagen y el objeto. Como notará, la imagen formada sobre la pantalla es grande así que puede considerar medir sólo una parte del dibujo usando la escala en milímetros que tienen las flechas iluminadas.
5. Repita todo el proceso desde el segundo paso para distancias variables entre

la pantalla y la fuente para 90, 80, 70, 60 y 50 cm; y registre nuevamente todos sus datos en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de distancia y tamaño de la imagen para un lente convergente.

Posición 1 (Distancia más pequeña entre la lente y la imagen)				
distancia imagen-objeto (cm)	distancia lente-objeto (cm)	distancia lente-imagen (cm)	Tamaño Objeto (cm)	tamaño Imagen (cm)
100				
90				
80				
70				
60				
50				

Posición 2 (Distancia más grande entre la lente y la imagen)				
distancia imagen-objeto (cm)	distancia lente-objeto (cm)	distancia lente-imagen (cm)	Tamaño Objeto (cm)	tamaño Imagen (cm)
100				
90				
80				
70				
60				
50				

Análisis

1. Calcule $1/d_o$ y $1/d_i$ para todos los valores de la Tabla 3.
2. Grafique en Excel $1/d_o$ (eje Y) y $1/d_i$ (eje X). Observe si obtiene una relación lineal entre las variables expresadas de esta forma y realice un ajuste lineal para obtener la relación experimental que describe el comportamiento de los datos. **NOTA:** Tenga especial cuidado en **no mezclar** los datos correspondientes a dos posiciones diferentes con la misma distancia imagen-objeto. Por lo tanto, puede hacer dos gráficas para cada posición.
3. Compare la ecuación obtenida con la forma general esperada y obtenga el valor experimental de la distancia focal. Si observa cuidadosamente el lente convexo usado tiene etiquetado el valor de su distancia focal. Compare el valor experimental calculado de la gráfica con respecto a este valor esperado, y exprese cuanto es el porcentaje de error obtenido en la medida de la distancia focal. Note que también puede calcular la incertidumbre en la pendiente. Cuál es el valor esperado en la pendiente?
4. Use las distancias d_o y d_i para calcular el valor esperado de la magnificación como: $M = d_i/d_o$
5. Emplee sus datos medidos con respecto al tamaño de la imagen y al tamaño del objeto para calcular la magnificación como:

$$M = \frac{TI}{TO} \quad (5.5)$$

donde TI: tamaño imagen TO: tamaño objeto

6. Compare el valor experimental de M con respecto al valor esperado, y exprese cuanto es el porcentaje de error obtenido en la medida.
7. Discuta en su informe escrito si las imágenes formadas son invertidas, no-invertidas, reales o virtuales. Como lo sabe?