

Manual de Prácticas de Laboratorio

La Ley de Snell en Comunicaciones Ópticas

Dr. José Luis Alvarez Flores

Julio 2025

Índice

1. Introducción	2
2. Objetivos Generales del Manual	2
3. Consideraciones de Seguridad	2
4. Práctica 1: Verificación Experimental de la Ley de Snell	4
4.1. Resumen	4
4.2. Objetivos Específicos	4
4.3. Introducción Teórica	4
4.4. Materiales y Equipos	5
4.5. Procedimiento Experimental	5
4.5.1. Configuración Inicial	5
4.5.2. Mediciones con Bloque de Acrílico	5
4.5.3. Mediciones con Otros Materiales	5
4.6. Análisis de Resultados	6
4.6.1. Cálculo del Índice de Refracción	6
4.6.2. Análisis Gráfico	6
4.6.3. Evaluación de Errores	6
4.7. Preguntas de Análisis	6
5. Conclusiones Generales del Manual	6
5.1. Referencias	8

1. Introducción

Este manual de prácticas para el laboratorio de Comunicaciones Ópticas, ha sido diseñado para proporcionar a los estudiantes que se encuentran cursando principalmente la carrera de ingeniero en sistemas electrónicos y telecomunicaciones de la Universidad de Colima, una comprensión práctica y experimental de la Ley de Snell y sus aplicaciones fundamentales en las comunicaciones ópticas. A través de una serie de experimentos cuidadosamente estructurados, los estudiantes podrán observar, medir y analizar los fenómenos de refracción y reflexión interna total que constituyen la base teórica de las tecnologías con fibras ópticas modernas.

La Ley de Snell, formulada por Willebrord Snellius en 1621, describe matemáticamente la relación entre los ángulos de incidencia y refracción cuando la luz pasa de un medio a otro con diferente índice de refracción. Esta ley fundamental no solo explica fenómenos ópticos cotidianos, sino que también constituye el principio físico sobre el cual se basan las comunicaciones ópticas que conectan el mundo moderno.

Las prácticas contenidas en este manual están diseñadas para ser realizadas en un laboratorio de óptica básico, utilizando equipos y materiales accesibles para instituciones educativas. Cada práctica incluye objetivos claros, fundamentos teóricos, procedimientos detallados, análisis de resultados y referencias bibliográficas que permiten a los estudiantes profundizar en los conceptos estudiados.

2. Objetivos Generales del Manual

- Demostrar experimentalmente la validez de la Ley de Snell en diferentes medios ópticos.
- Observar y medir el fenómeno de reflexión interna total y determinar el ángulo crítico.
- Comprender los principios físicos que gobiernan la propagación de la luz en fibras ópticas.
- Desarrollar habilidades experimentales en el manejo de equipos ópticos de laboratorio.
- Analizar cuantitativamente los resultados experimentales y compararlos con predicciones teóricas.
- Establecer la conexión entre los principios fundamentales de la óptica y las aplicaciones tecnológicas en telecomunicaciones.

3. Consideraciones de Seguridad

Antes de realizar cualquier práctica, es fundamental observar las siguientes medidas de seguridad:

- Utilizar siempre lentes de protección cuando se trabaje con generadores de luz láser (dependiendo de la potencia, el tipo, la longitud de onda y el tamaño del láser).
- Recuerda que el uso de los lentes son de uso únicamente personal.

-
- No mirar directamente a las fuentes de luz láser, incluso de baja potencia.
 - Manejar con cuidado los componentes ópticos para evitar rayones o roturas.
 - Mantener el área de trabajo limpia y organizada.
 - Reportar inmediatamente cualquier daño en el equipo al instructor.
 - Seguir las instrucciones específicas de cada práctica y consultar al instructor ante cualquier duda.

4. Práctica 1: Verificación Experimental de la Ley de Snell

4.1. Resumen

Esta práctica tiene como objetivo verificar experimentalmente la Ley de Snell mediante la medición de los ángulos de incidencia y refracción cuando un haz de luz pasa del aire a diferentes medios transparentes. Los estudiantes utilizarán un disco óptico graduado y diferentes materiales para observar la desviación de la luz y calcular los índices de refracción correspondientes.

4.2. Objetivos Específicos

- Verificar experimentalmente la relación matemática establecida por la Ley de Snell.
- Determinar el índice de refracción de diferentes materiales transparentes.
- Analizar la dependencia del ángulo de refracción con respecto al ángulo de incidencia.
- Evaluar la precisión de las mediciones experimentales comparándolas con valores teóricos conocidos.

4.3. Introducción Teórica

La Ley de Snell establece que cuando un rayo de luz pasa de un medio con índice de refracción n_1 a otro medio con índice de refracción n_2 , se cumple la relación:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

donde θ_1 es el ángulo de incidencia (medido desde la normal a la superficie) y θ_2 es el ángulo de refracción. Esta ecuación es una consecuencia directa del principio de Fermat, que establece que la luz sigue el camino que requiere el menor tiempo de propagación.

El índice de refracción de un material se define como la relación entre la velocidad de la luz en el vacío (c) y la velocidad de la luz en el material (v):

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

Para el aire, el índice de refracción es aproximadamente 1.0003, que para efectos prácticos se considera igual a 1. Esto simplifica la Ley de Snell cuando la luz pasa del aire a otro medio:

$$\sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (3)$$

Por lo tanto, el índice de refracción del segundo medio puede calcularse como:

$$n_2 = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (4)$$

4.4. Materiales y Equipos

Material/Equipo	Cantidad	Especificaciones
Disco óptico graduado	1	Graduación de 0° a 360°
Fuente de luz láser	1	Láser He-Ne, 632.8 nm, 1-5 mW
Bloques de acrílico	3	Dimensiones: 10×5×2 cm
Bloque de vidrio	1	Vidrio crown, 10×5×2 cm
Prisma triangular	1	Vidrio flint, ángulo de 60°
Transportador	1	Precisión de 0.5°
Regla milimetrada	1	Longitud: 30 cm
Papel milimetrado	5 hojas	Formato A4

Cuadro 1: Lista de materiales para la Práctica 1

4.5. Procedimiento Experimental

4.5.1. Configuración Inicial

1. Colocar el disco óptico graduado sobre una superficie plana y estable.
2. Posicionar la fuente de luz láser de manera que el haz incida sobre el centro del disco.
3. Ajustar la altura del láser para que el haz sea paralelo a la superficie del disco.
4. Verificar que el haz láser esté alineado con la marca de 0° del disco cuando incide perpendicularmente.

4.5.2. Mediciones con Bloque de Acrílico

1. Colocar el primer bloque de acrílico en el centro del disco, con una de sus caras planas alineada con el diámetro del disco.
2. Hacer incidir el haz láser sobre la superficie del acrílico con un ángulo de incidencia de 10°.
3. Medir y registrar el ángulo de refracción utilizando el transportador.
4. Repetir las mediciones para ángulos de incidencia de 20°, 30°, 40°, 50° y 60°.
5. Registrar todas las mediciones en una tabla de datos.

4.5.3. Mediciones con Otros Materiales

1. Repetir el procedimiento anterior utilizando el bloque de vidrio.
2. Realizar las mismas mediciones con el prisma triangular, utilizando una de sus caras como superficie de incidencia.
3. Para cada material, registrar los ángulos de incidencia y refracción correspondientes.

4.6. Análisis de Resultados

4.6.1. Cálculo del Índice de Refracción

Para cada par de ángulos medidos, calcular el índice de refracción utilizando la ecuación:

$$n = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} \quad (5)$$

donde θ_i es el ángulo de incidencia y θ_r es el ángulo de refracción.

4.6.2. Análisis Gráfico

1. Construir una gráfica de $\sin \theta_i$ versus $\sin \theta_r$ para cada material.
2. Realizar un ajuste lineal de los datos experimentales.
3. La pendiente de la recta debe corresponder al índice de refracción del material.
4. Calcular el coeficiente de correlación para evaluar la calidad del ajuste lineal.

4.6.3. Evaluación de Errores

1. Calcular el error absoluto y relativo de cada medición del índice de refracción.
2. Determinar el valor promedio del índice de refracción para cada material.
3. Calcular la desviación estándar de las mediciones.
4. Comparar los valores experimentales con los valores teóricos conocidos.

4.7. Preguntas de Análisis

1. ¿Cómo varía el ángulo de refracción en función del ángulo de incidencia para cada material?
2. ¿Qué material presenta el mayor índice de refracción y por qué?
3. ¿Cuáles son las principales fuentes de error en este experimento?
4. ¿Cómo afecta la longitud de onda de la luz al índice de refracción?
5. ¿Qué aplicaciones prácticas tiene la medición precisa del índice de refracción?

5. Conclusiones Generales del Manual

Este manual de prácticas ha proporcionado una exploración experimental completa de la Ley de Snell y sus aplicaciones fundamentales en comunicaciones ópticas. A través de las cinco prácticas realizadas, los estudiantes han podido:

- Verificar experimentalmente los principios teóricos de la refracción y reflexión interna total.

- Construir y caracterizar un modelo funcional de enlace óptico.
- Medir y analizar las pérdidas ópticas en sistemas reales.
- Comprender las limitaciones impuestas por la dispersión en sistemas de alta velocidad.
- Establecer conexiones directas entre los principios físicos fundamentales y las aplicaciones tecnológicas modernas.

Las habilidades experimentales desarrolladas y los conceptos comprendidos a través de estas prácticas proporcionan una base sólida para el estudio avanzado de sistemas de comunicaciones ópticas y preparan a los estudiantes para enfrentar los desafíos tecnológicos del futuro en el campo de las telecomunicaciones.

5.1. Referencias

Referencias

- [1] Hecht, E. (2017). *Optics* (5th ed.). Pearson. Capítulo 4: Geometric Optics.
- [2] Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. M., & Pedrotti, L. S. (2017). *Introduction to Optics* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- [3] Born, M., & Wolf, E. (2019). *Principles of Optics* (7th ed.). Cambridge University Press.