Manual de Prácticas de Laboratorio

Reflexión Interna Total

Dr. José Luis Alvarez Flores

Septiembre 2025

Índice

1. Introducción a la Reflexión Interna Total	2
1.1. Condiciones para la Ocurrencia	2
1.2. El Ángulo Crítico	2
1.3. Importancia en las Fibras Ópticas	2
2. Objetivos Generales de la Práctica	3
3. Consideraciones de Seguridad	3
4. Práctica 2: Observación de la Reflexión Interna Total	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 del Sistema	5
4.5.2. Determinación del Ángulo Crítico (Vidrio-Aire)	5
4.5.3. Mediciones con Diferentes Medios	6
4.6. Análisis de Resultados	6
4.6.1. Cálculo Teórico del Ángulo Crítico	6
4.6.2. Comparación Experimental vs. Teórica	6
4.6.3. Análisis de la Intensidad Luminosa	6
4.7. Aplicaciones en Fibras Ópticas	7
4.7.1. Conexión con la Tecnología	7
4.8. Preguntas de Análisis	7
5. Conclusiones Generales del Manual	7
5.1. Referencias	8

1. Introducción a la Reflexión Interna Total

La **reflexión interna total** es un fenómeno óptico que ocurre cuando un rayo de luz, viajando a través de un medio con un alto índice de refracción (n_1), incide sobre la frontera de un segundo medio con un índice de refracción menor (n_2). En lugar de pasar al segundo medio (refractarse), la luz es completamente reflejada de vuelta al medio original [1]. Este principio no solo es una curiosidad de la física, sino que es la piedra angular de tecnologías como las comunicaciones por fibra óptica [2, 3].

1.1. Condiciones para la Ocurrencia

Para que este fenómeno se manifieste, deben cumplirse dos condiciones indispensables:

1. **Dirección de la Luz:** La luz debe propagarse desde un medio ópticamente más denso hacia uno menos denso. Es decir, el índice de refracción del primer medio debe ser mayor que el del segundo ($n_1 > n_2$).
2. **Ángulo de Incidencia:** El ángulo con el que la luz golpea la interfaz, medido respecto a la normal, debe ser **mayor** que un valor específico llamado **ángulo crítico** (θ_c).

1.2. El Ángulo Crítico

El **ángulo crítico** (θ_c) es el ángulo de incidencia exacto para el cual el ángulo de refracción es de 90 grados. En otras palabras, es el punto en el que el rayo de luz refractado se desliza justamente a lo largo de la superficie que separa los dos medios.

Este ángulo se puede calcular directamente a partir de la **Ley de Snell**, que describe la relación entre los ángulos y los índices de refracción. La fórmula para el ángulo crítico es:

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Si el ángulo de incidencia es menor que el ángulo crítico, parte de la luz se refractará y pasará al segundo medio, mientras que otra parte se reflejará. Si es igual, la luz viajará por la interfaz. Pero si es mayor, se producirá la reflexión interna total, y toda la energía lumínica quedará ^atrapada^{en} el primer medio.

1.3. Importancia en las Fibras Ópticas

La aplicación más notable de este fenómeno es en las **fibras ópticas**. Una fibra óptica está compuesta por un núcleo con un índice de refracción alto, rodeado por un revestimiento con un índice ligeramente menor. Esto garantiza que la luz que viaja por el núcleo incida sobre la interfaz con el revestimiento en un ángulo mayor que el crítico, provocando que se refleje internamente de forma sucesiva y se propague a lo largo de la fibra sin pérdidas significativas de energía. Gracias a este principio, es posible transmitir datos a través de grandes distancias a la velocidad de la luz.

2. Objetivos Generales de la Práctica

Los objetivos generales de la práctica se centran en la validación experimental de los principios ópticos que rigen las telecomunicaciones modernas. Buscan que el estudiante demuestre la Ley de Snell, mida el fenómeno de la reflexión interna total, y comprenda su aplicación en fibras ópticas, desarrollando al mismo tiempo habilidades prácticas en el manejo de equipo de laboratorio y en el análisis cuantitativo de datos.

De acuerdo con el manual proporcionado, los objetivos generales de las prácticas son los siguientes:

- 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 2: Observación de la Reflexión Interna Total

4.1. Resumen

Esta práctica está diseñada para demostrar el fenómeno de reflexión interna total, que constituye el principio fundamental del funcionamiento de las fibras ópticas. Los estudiantes observarán cómo la luz se refleja completamente en la interfaz entre dos medios cuando el ángulo de incidencia supera el ángulo crítico, y determinarán experimentalmente este ángulo crítico para diferentes combinaciones de materiales.

4.2. Objetivos Específicos

- Observar experimentalmente el fenómeno de reflexión interna total.
- Determinar el ángulo crítico para diferentes interfaces de materiales.
- Verificar la relación teórica entre el ángulo crítico y los índices de refracción.
- Comprender la importancia de la reflexión interna total en las comunicaciones ópticas.

4.3. Introducción Teórica

La reflexión interna total ocurre cuando la luz viaja de un medio con mayor índice de refracción (n_1) hacia un medio con menor índice de refracción (n_2), y el ángulo de incidencia excede un valor crítico específico. En estas condiciones, toda la energía luminosa se refleja de vuelta al primer medio, sin que ocurra refracción.

El ángulo crítico (θ_c) se define como el ángulo de incidencia para el cual el ángulo de refracción es exactamente 90° . Aplicando la Ley de Snell en esta condición límite:

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin(90) = n_2 \quad (1)$$

Por lo tanto, el ángulo crítico está dado por:

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

$$\theta_c = \arcsin \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (3)$$

Esta ecuación es válida únicamente cuando $n_1 > n_2$. Si $n_1 \leq n_2$, no existe ángulo crítico y la reflexión interna total no puede ocurrir.

La reflexión interna total es el principio físico que permite el confinamiento de la luz dentro del núcleo de una fibra óptica. El núcleo tiene un índice de refracción mayor que el revestimiento, lo que garantiza que la luz se propague a lo largo de la fibra mediante reflexiones internas totales sucesivas.

4.4. Materiales y Equipos

Material/Equipo	Cantidad	Especificaciones
Prisma semicircular	1	Vidrio crown, radio 5 cm
Fuente de luz láser	1	Láser He-Ne, 632.8 nm, 1-5 mW
Disco óptico graduado	1	Graduación de 0° a 360°
Recipiente transparente	1	Acrílico, 15×10×8 cm
Agua destilada	500 ml	Pureza óptica
Aceite mineral	200 ml	Índice de refracción conocido
Glicerina	200 ml	Pureza 99 %
Transportador digital	1	Precisión de 0.1°
Pantalla blanca	1	Cartón blanco, 20×30 cm

Cuadro 1: Lista de materiales para la Práctica 2

4.5. Procedimiento Experimental

4.5.1. Configuración del Sistema

1. Colocar el prisma semicircular sobre el disco óptico graduado, con la cara plana alineada con el diámetro del disco.
2. Posicionar la fuente láser de manera que el haz incida sobre la cara curva del prisma y pase por el centro.
3. Ajustar la pantalla blanca para observar tanto el haz reflejado como el refractado.
4. Verificar que el sistema esté correctamente alineado realizando una medición de referencia.

4.5.2. Determinación del Ángulo Crítico (Vidrio-Aire)

1. Hacer incidir el haz láser sobre la interfaz vidrio-aire con un ángulo de incidencia pequeño (10°).
2. Observar tanto el haz reflejado como el refractado en la pantalla.
3. Incrementar gradualmente el ángulo de incidencia en pasos de 2°.
4. Registrar las observaciones para cada ángulo, notando la intensidad relativa de los haces reflejado y refractado.
5. Identificar el ángulo crítico como aquel en el cual el haz refractado desaparece completamente.
6. Realizar mediciones finas alrededor del ángulo crítico con incrementos de 0.5°.

4.5.3. Mediciones con Diferentes Medios

1. Llenar el recipiente transparente con agua destilada.
2. Sumergir parcialmente el prisma en el agua, manteniendo la interfaz vidrio-agua en el centro del disco.
3. Repetir el procedimiento anterior para determinar el ángulo crítico en la interfaz vidrio-agua.
4. Repetir las mediciones utilizando aceite mineral y glicerina como segundos medios.
5. Para cada combinación de materiales, registrar el ángulo crítico observado.

4.6. Análisis de Resultados

4.6.1. Cálculo Teórico del Ángulo Crítico

Utilizando los índices de refracción conocidos de los materiales, calcular teóricamente los ángulos críticos esperados:

- Vidrio crown ($n \approx 1,52$) - Aire ($n = 1,00$)
- Vidrio crown ($n \approx 1,52$) - Agua ($n \approx 1,33$)
- Vidrio crown ($n \approx 1,52$) - Aceite mineral ($n \approx 1,47$)
- Vidrio crown ($n \approx 1,52$) - Glicerina ($n \approx 1,47$)

4.6.2. Comparación Experimental vs. Teórica

1. Comparar los valores experimentales del ángulo crítico con los valores teóricos calculados.
2. Calcular el error porcentual para cada medición.
3. Analizar las posibles fuentes de discrepancia entre los valores experimentales y teóricos.

4.6.3. Análisis de la Intensidad Luminosa

1. Describir cualitativamente cómo varía la intensidad del haz refractado conforme se aproxima al ángulo crítico.
2. Explicar el comportamiento de la intensidad del haz reflejado en función del ángulo de incidencia.
3. Relacionar estas observaciones con las ecuaciones de Fresnel para la reflectancia.

4.7. Aplicaciones en Fibras Ópticas

4.7.1. Conexión con la Tecnología

1. Explicar cómo el principio de reflexión interna total permite el confinamiento de la luz en una fibra óptica.
2. Calcular el ángulo crítico para una fibra óptica típica con núcleo de sílice ($n = 1,46$) y revestimiento de sílice dopada ($n = 1,45$).
3. Determinar el cono de aceptación de luz para esta fibra óptica.

4.8. Preguntas de Análisis

1. ¿Por qué la reflexión interna total solo puede ocurrir cuando la luz viaja de un medio más denso a uno menos denso ópticamente?
2. ¿Cómo afecta la diferencia de índices de refracción al valor del ángulo crítico?
3. ¿Qué ventajas ofrece la reflexión interna total sobre la reflexión metálica en aplicaciones de guías de onda ópticas?
4. ¿Cómo se relaciona el ángulo crítico con la apertura numérica de una fibra óptica?
5. ¿Qué limitaciones prácticas existen para lograr una reflexión interna total perfecta en sistemas reales?

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 fibra óptica.
- 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] Saleh, B. E. A., & Teich, M. C. (2019). *Fundamentals of Photonics* (3rd ed.). Wiley. Capítulo 1: Ray Optics.
- [2] Keiser, G. (2013). *Optical Fiber Communications* (5th ed.). McGraw-Hill Education. Capítulo 2: Optical Fibers.
- [3] Senior, J. M. (2009). *Optical Fiber Communications: Principles and Practice* (3rd ed.). Prentice Hall.