

# Manual de Prácticas de Laboratorio

## Reflexión Interna Total

Dr. José Luis Alvarez Flores

Septiembre 2025

### Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivos Generales del Manual</b>	<b>2</b>
<b>3. Consideraciones de Seguridad</b>	<b>2</b>
<b>4. Práctica 2: Observación de la Reflexión Interna Total</b>	<b>4</b>
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
<b>5. Conclusiones Generales del Manual</b>	<b>7</b>
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 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 ( $\theta_c$ ) se define como el ángulo de incidencia para el cual el ángulo de refracción es exactamente  $90^\circ$ . 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.