

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	1/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Manual de prácticas del laboratorio de Acústica y Óptica

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Dr. Heriberto Aguilar Juárez Ing. Martín Bárcenas Escobar Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales	M. en A. M. del Carmen Maldonado Susano Q. Antonia del Carmen Pérez León Dr. Heriberto Aguilar Juárez Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales	Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales	20 de enero de 2017

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	2/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Índice de Prácticas

<b>Práctica 1. Movimiento ondulatorio.....</b>	<b>3</b>
<b>Práctica 2. Ondas electromagnéticas.....</b>	<b>9</b>
<b>Práctica 3. Polarización de la luz.....</b>	<b>15</b>
<b>Práctica 4. Polarización de microondas .....</b>	<b>22</b>
<b>Práctica 5. Reflexión y refracción .....</b>	<b>29</b>
<b>Práctica 6. Guías de ondas y Fibras ópticas .....</b>	<b>37</b>
<b>Práctica 7. Lentes .....</b>	<b>44</b>
<b>Práctica 8. Sistemas de lentes .....</b>	<b>50</b>
<b>Práctica 9. Interferencia .....</b>	<b>58</b>
<b>Práctica 10. Difracción.....</b>	<b>65</b>
<b>Práctica 11. Interferometría de Fabry-Perot.....</b>	<b>71</b>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	3/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 1.

## Movimiento ondulatorio

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	4/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	base de soporte universal.	Mal colocada en la mesa puede caer y provocar una lesión al alumno y causar daños permanentes al equipo.

## 2. Objetivos de aprendizaje

1. Observar el fenómeno de propagación de ondas longitudinales y encontrar la relación entre frecuencia y tono para las ondas observadas.
2. Determinar la longitud de onda, la frecuencia y la rapidez de propagación de una onda transversal estacionaria.

## 3. Material y Equipo

generador de funciones  
 dos cables banana-banana de 1 [cm] de diámetro  
 dos bases universales  
 dos varillas de 1 [m]  
 varilla de 1.5 [m]  
 varilla de 20 [cm]  
 impulsor de ondas  
 tres tornillos de sujeción  
 cuerda de longitud  $\geq 2$  [m]  
 masa de 100 [g]  
 masa de 50 [g]  
 flexómetro  
 bocina  
 luz estroboscópica (opcional para el profesor)  
 osciloscopio y conector BNC (opcional para el profesor)  
 balanza digital para medir la masa de la cuerda (opcional para el profesor)  
 dos cables banana-banana (opcional para el profesor)

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	5/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. ONDAS LONGITUDINALES.

- I.1 Conecte la clavija del generador de funciones al tomacorriente y, mediante dos cables banana-banana, conecte la bocina al generador.
- I.2 Encienda el generador de funciones, seleccione la función senoidal y ajuste la perrilla de rango de frecuencia en el valor más pequeño.
- I.3 Gire la perrilla de ajuste variable desde su valor mínimo hasta su valor máximo; realice lo anterior para cada valor de perilla de rangos.

#### ACTIVIDAD 1.

Describa que ocurre al variar la frecuencia de la señal con que se excita la bocina.

#### ACTIVIDAD 2.

¿Qué tipo de onda se generó en la experiencia anterior? Justifique su respuesta.

#### ACTIVIDAD 3.

Encuentre el rango auditivo de frecuencias de cada integrante de su brigada.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	6/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## EXPERIMENTO II. ONDAS TRANSVERSALES ESTACIONARIAS.

II.1 Con el equipo necesario y de acuerdo con la figura 1.1 del dispositivo experimental genere una onda estacionaria de tipo transversal.

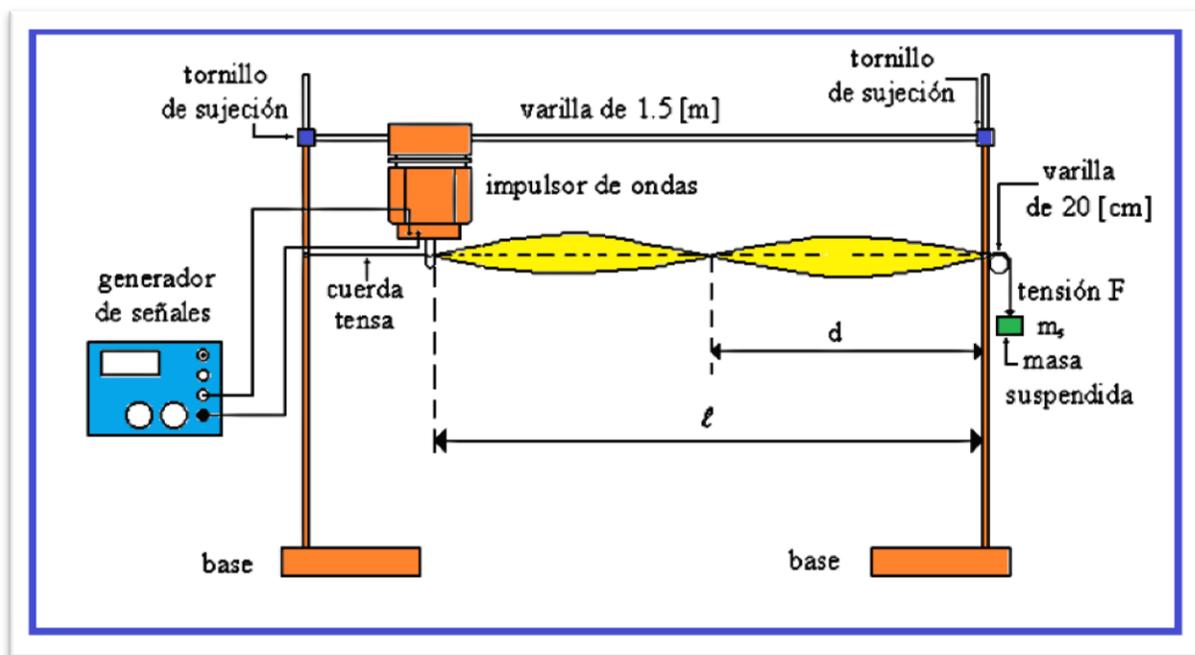


Figura 1.1. Dispositivo experimental para generar una onda estacionaria.

### ACTIVIDAD 4.

Dibuje la onda transversal estacionaria (OTE) oscilando en frecuencia fundamental.

### ACTIVIDAD 5.

Proponga un método para obtener la densidad lineal de masa de la cuerda y obténgala.

### ACTIVIDAD 6.

Elabore una tabla donde se concentren los datos siguientes:

- Modo de vibración
- Tensión de la cuerda
- Rapidez de propagación
- Distancia entre nodos consecutivos

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	7/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

e) Frecuencia de vibración.

**ACTIVIDAD 7.**

¿Cómo son las frecuencias de los modos observados con respecto a la frecuencia del modo fundamental?

**ACTIVIDAD 8.**

¿Qué relación guarda la separación entre dos nodos consecutivos con respecto a la longitud de onda observada en la cuerda?

**ACTIVIDAD 9.**

¿Cómo son las longitudes de onda de los modos armónicos con respecto a la longitud de onda del modo fundamental?

**ACTIVIDAD 10.**

¿Cómo es la rapidez de propagación de cada uno de los modos de vibración con respecto a las de los demás modos?

## 5. Conclusiones

## 6. Cuestionario previo

1. ¿Cuál es la diferencia entre una onda longitudinal y una transversal?
2. ¿Cómo se calcula la rapidez de propagación de las ondas en una cuerda tensa, en términos de la tensión y la densidad lineal de masa?
3. ¿Qué es una onda estacionaria?
4. ¿Qué se entiende por “modos de vibración”?
5. ¿Cómo se calcula la longitud de onda del enésimo modo de vibración?
6. ¿Cómo se calcula la frecuencia natural (de resonancia) del enésimo modo de vibración?

## 7. Bibliografía

- Resnick R, Halliday D. y Krane K.S.; “FÍSICA” Vol. I; Editorial C.E.C.S.A.; 3ª edición; México, 1997.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	8/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Young H. D. y Freedman R. A.; “Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA” Vol. 2; Editorial Pearson; 13ª edición; México, 2014.
- Wilson J.D.; “FÍSICA CON APLICACIONES”; Editorial Mc. Graw Hill. 2ª edición. México, 1991.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	9/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 2.

## Ondas electromagnéticas

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	10/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	eliminadores de batería	Al conectarlos a los aparatos.
2	prisma de vidrio	Pieza frágil, de difícil adquisición de importación
3	banco óptico	Mal colocado en la mesa puede caer y provocar una lesión al alumno y causar daños permanentes al equipo.

## 2. Objetivos de aprendizaje

- Determinar la longitud de onda, la rapidez de propagación y la energía del fotón de una microonda.
- Conocer los elementos básicos que componen el sistema de óptica con el que se cuenta en el laboratorio y adquirir habilidad en su manejo.
- Reproducir el fenómeno de la dispersión de la luz y observar la proporción visible del espectro electromagnético.

## 3. Material y equipo

emisor de microondas de 10.525 [GHz]  $\pm$  5 %  
 receptor de microondas de 10.525 [GHz]  $\pm$  5 %  
 goniómetro con su riel porta-componentes  
 eliminador de baterías  
 transportador de plástico (para emisores y receptores que no tienen goniómetro)  
 fuente de luz incandescente  
 banco óptico  
 transportador angular  
 portacomponentes estándar  
 portacomponentes especial  
 abertura rectangular  
 pantalla con escala milimétrica  
 prisma de vidrio 45° 90° 45°

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	11/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. RAPIDEZ DE PROPAGACIÓN Y ENERGÍA DE UN FOTÓN DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA.

- I.1 Para producir un patrón de ondas estacionarias coloque el equipo como se muestra en la figura 2.1, procurando que el emisor y el receptor se encuentren lo más cerca posible. Ajuste los controles del receptor hasta obtener una lectura a escala completa.

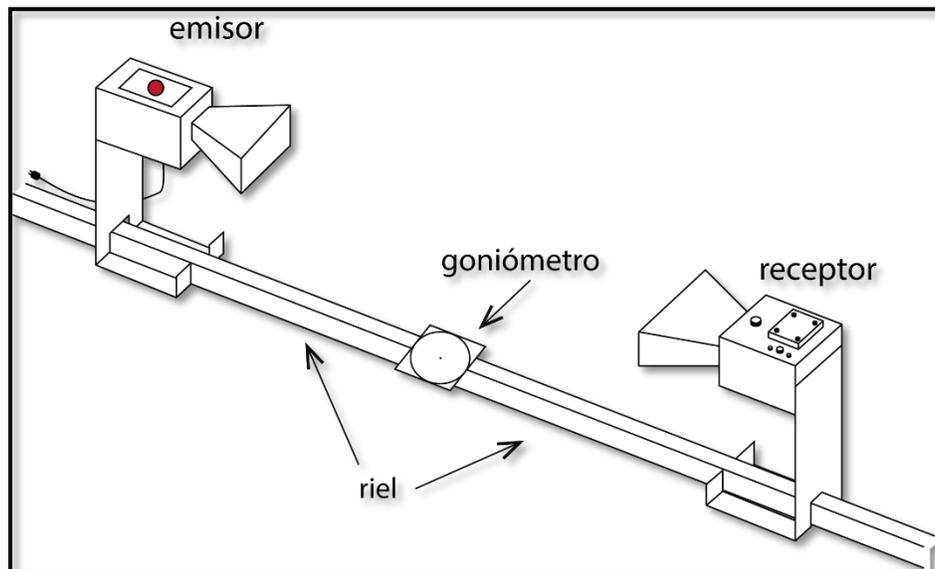


Figura 2.1. Dispositivo experimental para producir un patrón de ondas estacionarias.

- I.2 Desplace el receptor a lo largo del riel del goniómetro, alejándolo del emisor.

#### ACTIVIDAD 1.

Describa lo que sucede con la lectura indicada en la carátula del medidor del receptor.

- I.3 Regrese el receptor a la posición en que se tuvo la lectura a escala completa y registre su posición. Desplace el receptor hasta que la aguja del medidor cruce por cinco valores mínimos, correspondientes a cinco nodos consecutivos.

Finalmente, coloque el receptor en la posición del siguiente valor máximo (contiguo al quinto valor mínimo) registre su posición final.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	12/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- I.4 Repita el proceso del punto anterior como mínimo seis veces y elabore una tabla en que se registren: las posiciones inicial y final del receptor, la distancia entre éstas y el número de valores mínimos (5) que fueron cruzados.

#### ACTIVIDAD 2.

Con base en la tabla obtenida, determine el valor promedio de la longitud de onda, de las microondas, con su incertidumbre.

#### ACTIVIDAD 3.

Determine la rapidez de propagación de las microondas, con su incertidumbre, considerando la actividad anterior y las especificaciones del equipo.

#### ACTIVIDAD 4.

Determine la energía de un fotón de la radiación empleada, en las unidades joule [J] y electrón-volt [eV].

### EXPERIMENTO II. PORCIÓN VISIBLE DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO. DISPERSIÓN DE LA LUZ.

- II.5 Disponga el equipo como se muestra en la figura 2.2 asegúrese de que la línea de 0° a 180° del goniómetro del transportador angular corra paralela a lo largo del eje longitudinal del banco óptico.

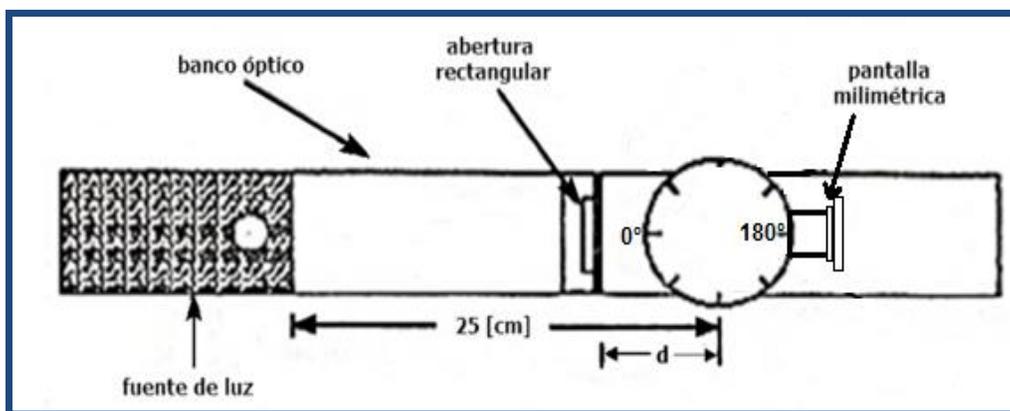


Figura 2.2 Dispositivo experimental

#### ACTIVIDAD 5.

Describe los ajustes necesarios indicados por el profesor para conseguir un haz de luz estrecho y centrado en la pantalla milimétrica.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	13/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- II.6 Coloque el prisma de vidrio sobre la mesa giratoria del transportador angular como se muestra en la figura 2.3. Gire muy lentamente la mesa giratoria en el sentido de las manecillas del reloj, hasta que aparezca un haz transmitido por la cara 2. Localice el haz transmitido proyectándolo sobre una hoja de papel blanco aproximadamente a 15 [cm] del transportador angular y observe los colores que lo componen.

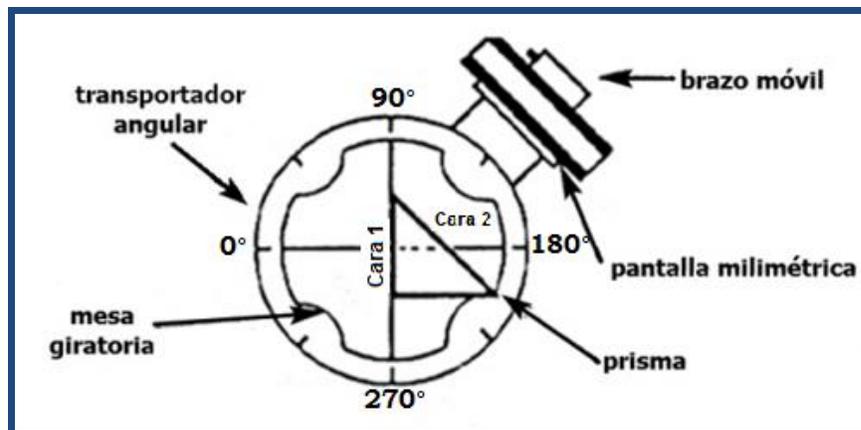


Figura 2.3 Dispositivo experimental para observar la descomposición de la luz

**ACTIVIDAD 6.**

Registre el valor del ángulo de incidencia para el cual logró la visión más nítida del espectro.

**ACTIVIDAD 7.**

Elabore un esquema de los colores observados, indicando cuál de ellos tiene mayor ángulo de desviación con respecto al haz de luz incidente en el prisma, así como el que tiene el menor ángulo de desviación.

**ACTIVIDAD 8.**

Investigue en la bibliografía sugerida los fenómenos de la refracción y la dispersión y descríbalos brevemente.

**ACTIVIDAD 9.**

Con base en la actividad 8 explique por qué, en el experimento con el prisma, un color se desvía más que otro.

**ACTIVIDAD 10.**

A nivel cualitativo ¿qué relación existe entre la longitud de onda de un haz de luz y el ángulo de desviación al atravesar el prisma?

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	14/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### ACTIVIDAD 11.

Con base en lo observado en esta práctica y a nivel cualitativo, ¿cómo varía la rapidez de propagación de la luz con respecto a su longitud de onda en un medio dieléctrico transparente como el vidrio?

## 5. Conclusiones

## 6. Cuestionario previo

1. ¿Qué es la longitud de onda?
2. ¿Qué es frecuencia de la onda?
3. Dibuje el perfil de una onda sinusoidal. Localice en su dibujo una longitud de onda y media longitud de onda.
4. ¿Cómo se puede determinar la rapidez de propagación de la onda a partir de los parámetros anteriores?
5. Elabore un esquema del espectro de la radiación electromagnética detallando los colores que componen la porción visible.

## 7. Bibliografía

- Resnick R, Halliday D. y Krane K.S.; “FÍSICA” Vol. I, Editorial C.E.C.S.A.; 3ª edición; México, 1997.
- Young H. D. y Freedman R. A.; “Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA” Vol. 2; Editorial Pearson; 13ª edición; México, 2014.
- Wilson J.D.; “FÍSICA CON APLICACIONES”; Editorial Mc. Graw Hill. 2ª edición. México, 1991.
- Hecht E.; “ÓPTICA”; Addison Wesley Iberoamericana; 3ª edición. Madrid, España, 2000.



## Manual de Prácticas

División de Ciencias Básicas

Área: Laboratorio de Acústica y Óptica

# Práctica 3. Polarización de la luz

	<b>Manual de Prácticas</b>	
División de Ciencias Básicas	Área: Laboratorio de Acústica y Óptica	

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	banco óptico.	Mal colocado en la mesa puede caer y provocar una lesión al alumno y causar daños permanentes al equipo.
2	fotómetro con sonda.	La sonda puede zafarse del conector y dar lecturas erróneas. No torcer ni doblar la sonda para evitar que se rompan las fibras.

## 2. Objetivos de aprendizaje

1. Observar las características de operación de los polarizadores dicróicos.
2. Comprobar la ley de Malus.
3. Determinar el ángulo de Brewster de la interfaz aire – vidrio y las características de polarización de las ondas reflejada y transmitida.

## 3. Material y equipo

banco óptico  
fuente de luz incandescente  
transportador angular  
fotómetro con su sonda  
portacomponentes estándar  
portacomponentes especial  
tres polarizadores  
placa de vidrio  
pantalla con escala milimétrica  
abertura rectangular  
difusor

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. POLARIZADORES DICROICOS.

- I.1 Monte el dispositivo experimental de la figura 3.1, orientando el polarizador que se halla más próximo a la fuente de luz, con su eje de transmisión (dirección  $0^\circ$ - $180^\circ$ ) en posición vertical.
- I.2 Usando como analizador el otro polarizador, como se muestra en la figura 3.1, observe cómo varía la intensidad de la luz en la pantalla al girar éste alrededor de su eje óptico.



# Manual de Prácticas

División de Ciencias Básicas

Área: Laboratorio de Acústica y Óptica

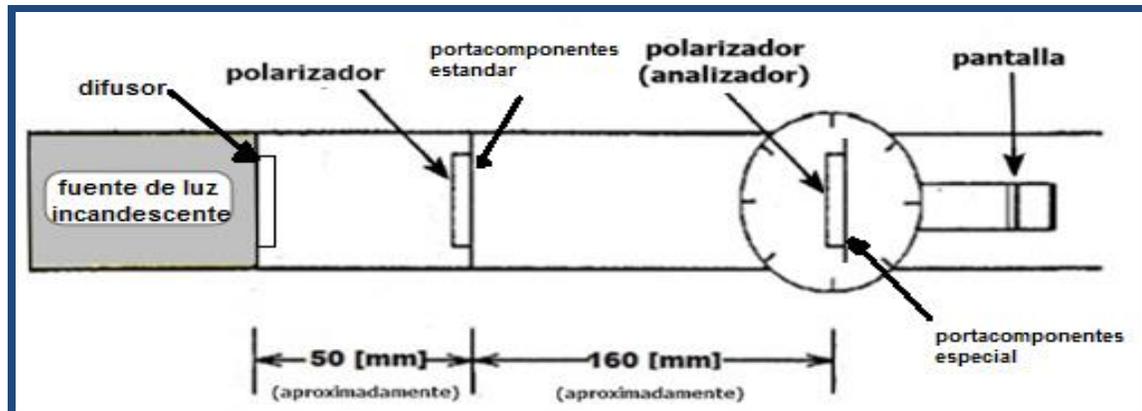


Figura 3.1 Dispositivo experimental

## ACTIVIDAD 1.

Explique a qué se deben las variaciones de intensidad observadas.

- I.3 Observe que cuando los ejes de transmisión de los dos polarizadores se hallan perpendiculares entre sí, no se transmite luz a la pantalla.

Con esta configuración, inserte un tercer polarizador entre los dos primeros (puede fijarlo a la cara posterior del portacomponentes estándar), con su eje de transmisión formando un ángulo de  $45^\circ$  con respecto a los ejes de los otros dos; observe lo que ocurre en la pantalla.

## ACTIVIDAD 2.

Explique a qué se debe la variación de intensidad en el haz transmitido, luego de la inserción del tercer polarizador.

## EXPERIMENTO II. LEY DE MALUS.

- II.1 Restablezca la orientación original del analizador (eje de transmisión en dirección vertical), retire del dispositivo experimental la pantalla y el tercer polarizador.

A continuación, conecte la sonda del fotómetro al portaanalizadores del brazo móvil del transportador angular, como lo indica la figura 3.2.

Procure que el extremo de la sonda quede a ras de la superficie interior del portaanalizadores.



# Manual de Prácticas

División de Ciencias Básicas

Área: Laboratorio de Acústica y Óptica

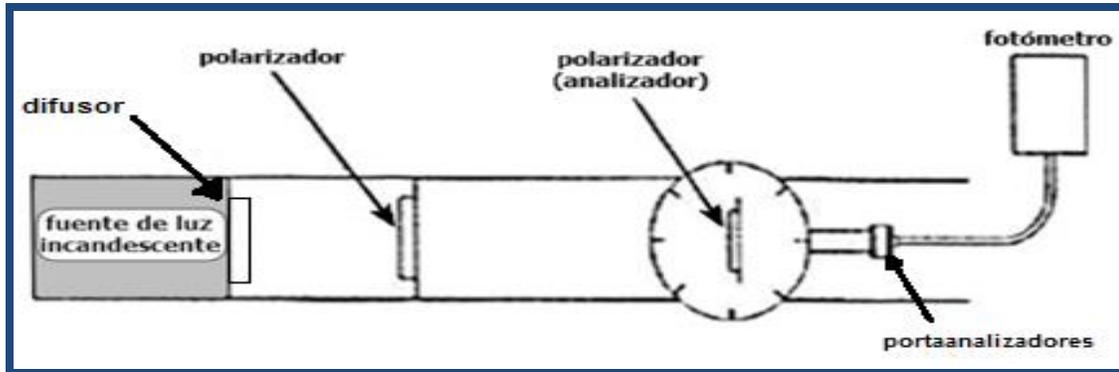


Figura 3.2 Fotómetro y polarizadores

- II.2 Por medio de los controles de “sensibilidad”, “ajuste de cero” y “variable”, ajuste el fotómetro para que indique una lectura de 10 (escala completa) cuando los ejes de transmisión de los polarizadores se hallen paralelos entre sí, y una lectura de 0, cuando aquéllos se hallen perpendiculares entre sí.
- II.3 Gire el polarizador un ángulo  $\theta$  con respecto al eje de transmisión (vertical) del segundo polarizador (analizador) y registre las lecturas “I” del fotómetro para diversos valores de  $\theta$  entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  (por ejemplo, cada  $10^\circ$ ).

Realice la serie completa de mediciones al menos 5 veces y calcule el valor promedio de “I” para cada valor de  $\theta$ .

### ACTIVIDAD 3.

Presente en una tabla y en una gráfica ( $\bar{I}(\theta)/I(0)$  vs  $\theta$ ), los valores observados de la razón  $\bar{I}(\theta)/I(0)$  y los valores correspondientes de dicha razón, calculados a partir de la ley de Malus.

$\theta$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$\bar{I}(\theta)$	Experimental	Teórica
							$\bar{I}(\theta)/I(0)$	$I(\theta)/I(0)$
$0^\circ$								
$10^\circ$								
$20^\circ$								
$30^\circ$								
$40^\circ$								
$50^\circ$								
$60^\circ$								
$70^\circ$								
$80^\circ$								
$90^\circ$								

Comente sus resultados.



# Manual de Prácticas

División de Ciencias Básicas

Área: Laboratorio de Acústica y Óptica

## EXPERIMENTO III.      **ÁNGULO DE BREWSTER.**

- III.1 En el dispositivo de la figura anterior sustituya el analizador por la placa de vidrio, de manera que su arista frontal inferior coincida con uno de los diámetros marcados en la mesa giratoria, como se muestra en la figura 3.3.
- III.2 Gire el polarizador hasta que su eje de transmisión quede en dirección horizontal y coloque en la cara posterior del mismo portacomponentes la abertura rectangular en posición vertical y la pantalla con escala milimétrica en la cara anterior del primer portaanalizadores del brazo móvil.
- III.3 Gire un ángulo pequeño la mesa giratoria y ajuste la posición del brazo móvil de manera que pueda observar en la pantalla el haz de luz reflejado. Continúe girando la mesa y el brazo móvil hasta que el haz reflejado alcance un mínimo de intensidad.

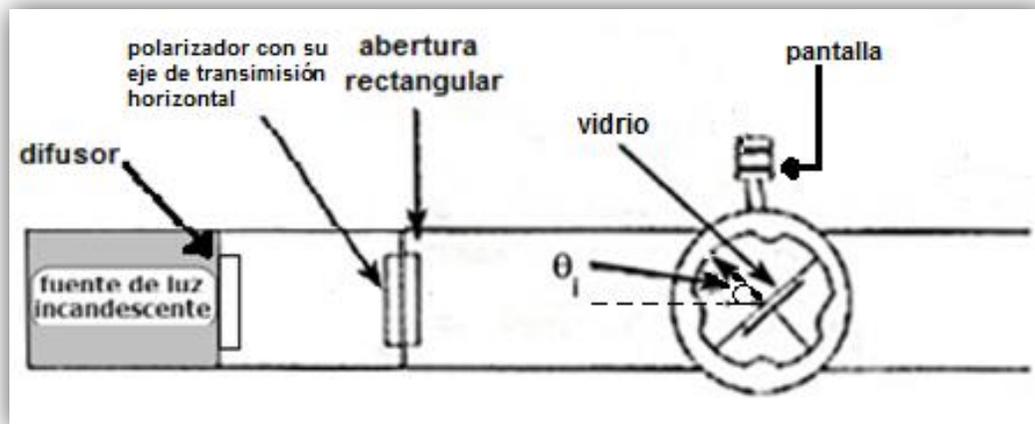


Figura 3.3 Dispositivo experimental para la determinación del ángulo de Brewster.

### ACTIVIDAD 4.

Registre el valor del ángulo de incidencia con mínima intensidad reflejada, obtenido en el inciso III.3, y explique por qué se afirma que éste es el ángulo de Brewster.

- III.4 Sin modificar la orientación de la placa de vidrio, traslade el polarizador al primer portaanalizador, a fin de que sirva como analizador de la luz reflejada en el vidrio; ubique la pantalla en el segundo portaanalizador (figura 3.4).



# Manual de Prácticas

División de Ciencias Básicas

Área: Laboratorio de Acústica y Óptica

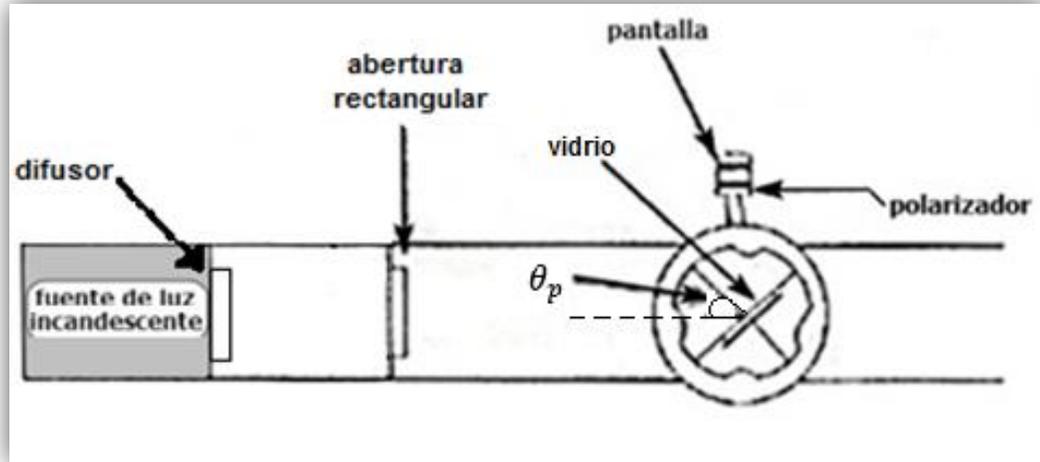


Figura 3.4 Polarización por reflexión.

- III.5 Gire el polarizador en torno a su eje óptico y observe las variaciones de intensidad del haz reflejado.

En caso de que el haz se halle completamente polarizado, determine la dirección de polarización con respecto al plano de incidencia que en este caso es horizontal.

- III.6 Analice el haz transmitido a través de la placa de vidrio en la misma forma que lo hizo en el inciso III.5 con el haz reflejado, girando el brazo móvil hasta que el haz transmitido llegue a la pantalla a través del polarizador.

## ACTIVIDAD 5.

Enuncie los resultados obtenidos en los incisos III.5 y III.6 y dé una explicación breve de ellos, por ejemplo apoyada en gráficas de la reflectancia y la transmitancia.

## 5. Conclusiones

## 6. Cuestionario previo

1. ¿En qué caso se dice que una onda electromagnética está polarizada linealmente?
2. ¿Qué tipo de polarización tiene la luz natural?
3. ¿En qué consiste un polarizador dicróico?
4. ¿Qué establece la ley de Malus?
5. ¿Cómo se explica la polarización de la luz por reflexión?

	<b>Manual de Prácticas</b>	
División de Ciencias Básicas	Área: Laboratorio de Acústica y Óptica	

6. ¿Cómo se define el “ángulo de Brewster” o “ángulo de polarización”?

## 7. Bibliografía

- Hecht E.; “ÓPTICA”; Editorial Adisson – Wesley Iberoamericana. España, 2000.
- Young H. D. y Freedman R. A.; “Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA” Vol. 2; Editorial Pearson; 13ª edición; México, 2014.

	<b>Manual de Prácticas</b>	
División de Ciencias Básicas	Área: Laboratorio de Acústica y Óptica	

# **Práctica 4.**

## **Polarización de microondas**

	<b>Manual de Prácticas</b>	
División de Ciencias Básicas	Área: Laboratorio de Acústica y Óptica	

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ninguno	Ninguno

## 2. Objetivos de aprendizaje

1. Verificar la ley de Malus.
2. Observar el funcionamiento de una rejilla metálica como polarizador de microondas.
3. Determinar el ángulo de Brewster para la interfaz aire – polietileno.

## 3. Material y equipo

emisor de microondas de 10.525 [GHz]  $\pm$  5 %  
receptor de microondas de 10.525 [GHz]  $\pm$  5 %  
goniómetro con su riel portacomponentes  
portacomponentes estándar  
mesa giratoria  
polarizador [rejilla]  
panel de polietileno  
goniómetro de plástico para emisores y receptores que no cuentan con él.

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. LEY DE MALUS.

- I.1 El emisor del equipo produce microondas linealmente polarizadas a lo largo del eje del diodo que las genera; esta dirección es vertical cuando el emisor se encuentra en su posición normal como indica la figura 4.1.



# Manual de Prácticas

División de Ciencias Básicas

Área: Laboratorio de Acústica y Óptica

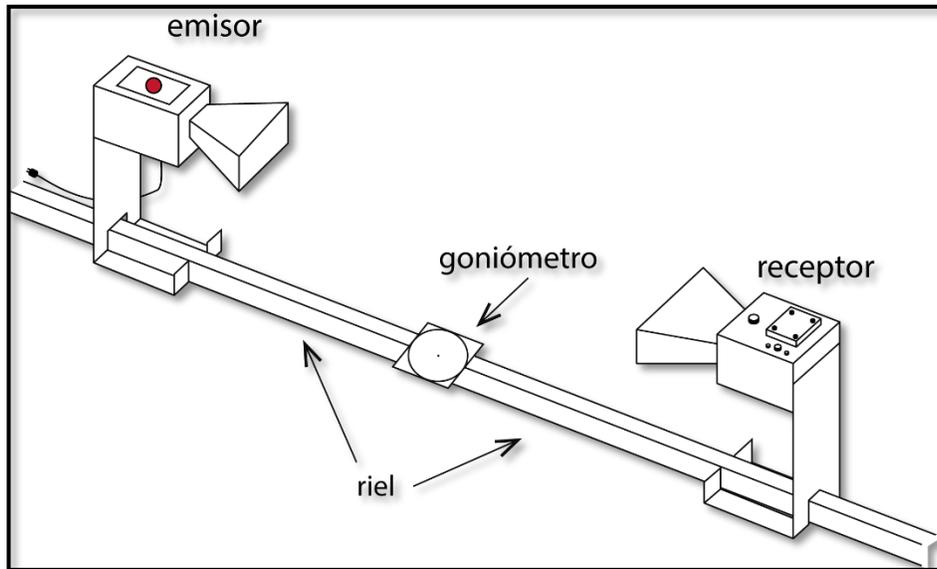


Figura 4.1 Dispositivo experimental.

- I.2 De igual modo, el diodo del receptor responde únicamente a la componente de la señal de microondas polarizada a lo largo de él (vertical) en la posición normal del receptor, mostrada en la figura 4.1.
- I.3 Disponga el equipo como se indica en la figura 4.1 y ajuste los controles del receptor de modo que se tenga una lectura de escala completa aproximadamente.
- I.4 Afloje ligeramente el tornillo que sujeta al emisor y gírelo un ángulo  $\theta$  con respecto a la dirección (vertical) del diodo receptor. Observe cómo varía la lectura en el receptor cuando  $\theta$  varía de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  y registre las lecturas para los diferentes valores de  $\theta$ , con intervalos de  $10^\circ$ .

Para ello, sírvase de la escala angular marcada en la parte posterior del emisor. Realice la serie completa de mediciones al menos 5 veces y calcule el promedio  $\bar{L}$  de las 5 lecturas para cada valor de  $\theta$ .

## ACTIVIDAD 1.

A partir de los datos obtenidos en el inciso I.4 calcule para cada valor de  $\theta$  la razón  $\bar{L}(\theta)/L(0)$  en la que  $L(0)$  es el valor de  $L$  correspondiente a  $\theta = 0^\circ$ , y presente sus resultados en una tabla como la siguiente.



# Manual de Prácticas

División de Ciencias Básicas

Área: Laboratorio de Acústica y Óptica

$\theta$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$L_5$	$\bar{L}(\theta)$	Experimental $\bar{L}(\theta)/L(0)$	Teórica $I(\theta)/I(0)$
0°								
10°								
20°								
30°								
40°								
50°								
60°								
70°								
80°								
90°								

## ACTIVIDAD 2.

En una misma gráfica presente los valores de  $\bar{L}(\theta)/L(0)$  obtenidos experimentalmente y la relación  $I(\theta)/I(0)$  vs  $\theta$ , dada por la ley de Malus.

**Nota:** La lectura del receptor es sólo aproximadamente proporcional a la intensidad (o irradiancia) de la señal recibida, por lo que no cabe esperar una concordancia perfecta entre las cantidades  $\bar{L}(\theta)/L(0)$  e  $I(\theta)/I(0)$ .

## EXPERIMENTO II. POLARIZADOR DICROICO.

II.1 Regrese el emisor a su posición normal (figura 4.1) y, por medio del portacomponentes, coloque la rejilla metálica (polarizador) frente a la corneta de microondas con las rendijas en posición horizontal como en la figura 4.2.

II.2 Ajuste los controles del receptor para tener una lectura de media escala aproximadamente.

II.3 Gire el polarizador para que las rendijas queden ahora en posición vertical y observe cómo se modifica la lectura en el receptor.



# Manual de Prácticas

División de Ciencias Básicas

Área: Laboratorio de Acústica y Óptica

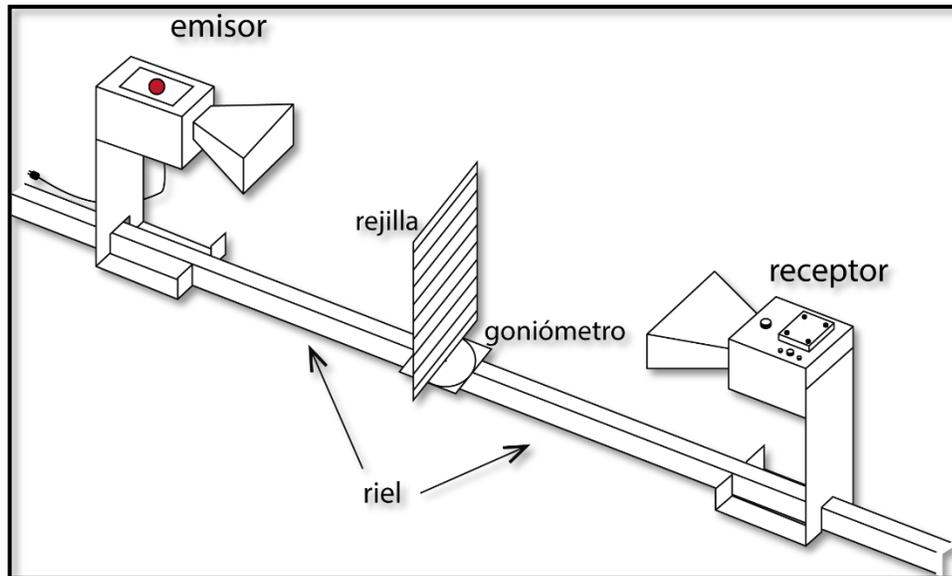


Figura 4.2. Rejilla polarizadora de microondas.

### ACTIVIDAD 3.

Con base en las observaciones anteriores, deduzca e indique qué dirección tiene el eje de transmisión de la rejilla con respecto a la dirección de las rendijas.

- II.4 Retire el polarizador, pero deje en su lugar el portacomponentes, y gire el emisor hasta que la dirección de su campo eléctrico forme un ángulo de  $90^\circ$  con respecto a la del receptor. Observe la lectura.
- II.5 Coloque nuevamente el polarizador frente al emisor con sus rendijas inclinadas  $45^\circ$  con respecto a la vertical y observe la lectura nueva.

### ACTIVIDAD 4.

Enuncie los hechos observados en los incisos II.4 y II.5 y dé una explicación breve.

### EXPERIMENTO III.      **ÁNGULO DE BREWSTER.**

- III.1 Prepare el dispositivo experimental de la figura 4.3 con las direcciones del campo eléctrico del emisor y del receptor en posición horizontal.



# Manual de Prácticas

División de Ciencias Básicas

Área: Laboratorio de Acústica y Óptica

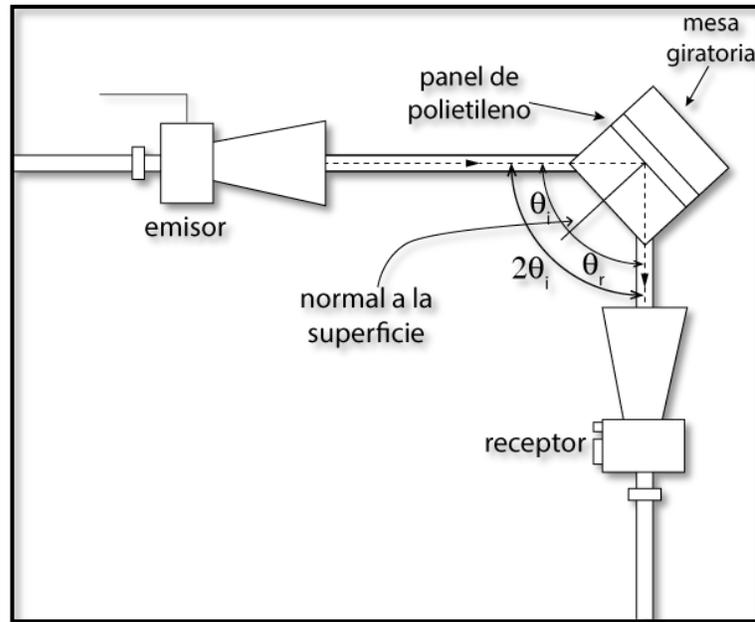


Figura 4.3. Reflexión de microondas con su campo eléctrico paralelo al plano de incidencia.

- III.2 Coloque el panel de polietileno de manera tal que su superficie frontal, sobre la que incide la señal del emisor, contenga al eje de giro (vertical) de la mesa giratoria.
- III.3 Gire la mesa hasta que el ángulo de incidencia de las microondas sobre el panel sea de  $45^\circ$  y gire el brazo móvil del goniómetro hasta que el receptor quede en la dirección de la señal reflejada en el panel (recuerde que  $\theta_r = \theta_i$ ).
- III.4 Ajuste los controles del receptor para tener una lectura de media escala aproximadamente.
- III.5 Incremente el ángulo de incidencia con intervalos de  $5^\circ$ , hasta un valor máximo de  $70^\circ$ . En cada paso, ajuste la posición del brazo móvil del goniómetro y registre la lectura del receptor.

## ACTIVIDAD 5.

Trace una gráfica de las lecturas  $L_r$  del receptor obtenidas en el inciso III.5, en función de los ángulos de incidencia  $\theta_i$  y estime a partir de ella el ángulo de Brewster ( $\theta_p$ ).

## ACTIVIDAD 6.

Usando el valor del ángulo de Brewster obtenido por usted, calcule el índice de refracción ( $n_2$ ) del panel de polietileno, a partir de la expresión  $\tan\theta_p = n_2/n_1$ , donde  $n_1$ , es el índice de refracción del aire.

	<b>Manual de Prácticas</b>	
División de Ciencias Básicas	Área: Laboratorio de Acústica y Óptica	

## 5. Conclusiones

## 6. Bibliografía

- Hecht E.; “ÓPTICA”. Editorial Adisson – Wesley Iberoamericana. 3ª. Edición. España, 2000.
- Young H. D. y Freedman R. A.; “Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA” Vol. 2; Editorial Pearson; 13ª edición; México, 2014.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	29/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 5.

## Reflexión y refracción

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	30/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	banco óptico	Mal colocado puede caer de la mesa y provocar una lesión.

## 2. Objetivos de aprendizaje

- Determinar la ley de la reflexión.
- Aplicar la ley de Snell para determinar el índice de refracción del vidrio y del acrílico.
- Observar el fenómeno de reflexión interna total, determinar el ángulo crítico y utilizar la desviación angular mínima para obtener el índice de refracción de un prisma.

## 3. Material y Equipo

fuente de luz incandescente  
banco óptico  
transportador angular  
portacomponentes estándar  
portacomponentes especial  
abertura rectangular  
pantalla con escala milimétrica  
espejo plano  
placa de acrílico  
prisma de vidrio 45° 90° 45°  
calibrador con vernier

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. LEY DE LA REFLEXIÓN.

- Disponga el equipo como se muestra en la figura 5.1. Realice los cuatro ajustes que se mencionan a continuación:

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	31/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

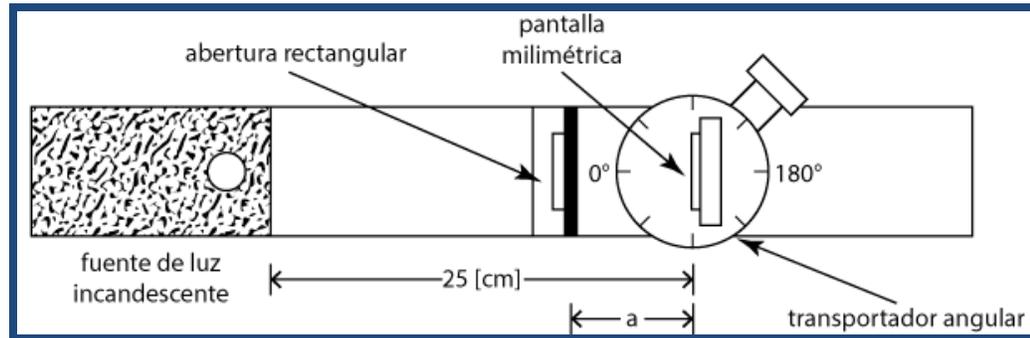


Figura 5.1 Dispositivo experimental.

- a) La fuente de luz incandescente debe estar colocada al extremo izquierdo del banco óptico y alineada con éste.
  - b) Coloque el transportador angular a una distancia de 25 [cm], medidos a partir del extremo derecho de la fuente de luz. Asegúrese de que la línea de 0° 180° coincida con el eje longitudinal del banco óptico.
  - c) Coloque la pantalla con escala milimétrica en el portacomponentes especial del transportador. Haga coincidir el plano de la pantalla con la línea de 90° 270° del transportador angular.
  - d) Coloque la abertura rectangular en el portacomponentes estándar y éste a su vez a una distancia **a** que permita al brazo móvil del transportador angular girar sin obstáculos los 360°. Ajuste la abertura rectangular (sin mover el portacomponentes) hasta que el haz de luz se encuentre centrado horizontalmente en la pantalla.
- I.2 Una vez realizados los ajustes, proceda a quitar la pantalla y en su lugar coloque el espejo plano. Coloque la pantalla en el brazo móvil del transportador angular como se muestra en la figura 5.2.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	32/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

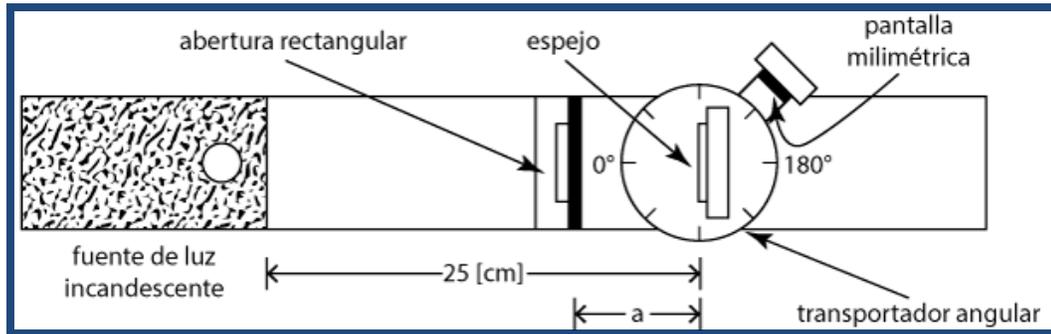


Figura 5.2 Dispositivo experimental.

- I.3 A continuación gire un ángulo  $\theta_i = 35^\circ$  la mesa giratoria del transportador angular. Desplace el brazo móvil hasta centrar en la pantalla el haz de luz reflejado y registre el ángulo  $\varphi$  que forman el brazo móvil y la dirección del haz incidente; observe que  $\varphi = \theta_i + \theta_r$ .
- I.4 Repita el inciso I.3 para los ángulos siguientes:  $40^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $55^\circ$  y  $60^\circ$ .

#### ACTIVIDAD 1.

Elabore una tabla donde se registre el ángulo de incidencia  $\theta_i$ , el ángulo  $\varphi$  y el de reflexión ( $\theta_r = \varphi - \theta_i$ ).

#### ACTIVIDAD 2.

¿Qué relación guardan entre sí los ángulos de incidencia y de reflexión?

### EXPERIMENTO II. LEY DE LA REFRACCIÓN.

- II.1 Verifique los ajustes solicitados en el punto I.1 de esta práctica sustituya el espejo plano por la placa de acrílico y coloque la pantalla en el brazo móvil; gire éste hasta que la pantalla quede paralela a la placa de acrílico.

#### ACTIVIDAD 3.

Cuando el haz incidente es transmitido o refractado, ¿experimenta algún cambio de dirección? Explique su respuesta para  $\theta_i = 0$  y para  $\theta_i \neq 0$ .

- II.2 Gire la mesa giratoria del transportador angular un ángulo de  $45^\circ$ , gire el brazo móvil en sentido horario y antihorario, recorriendo el perímetro del transportador angular buscando el haz reflejado y el transmitido.

#### ACTIVIDAD 4.

¿Cuántos haces de luz observa? Explique por qué.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	33/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

II.3 Regrese el brazo móvil a la posición inicial, es decir la indicada en el punto II.1 (pantalla paralela a la placa de acrílico), mida el desplazamiento **d** del haz transmitido, indicado en la figura 5.3.

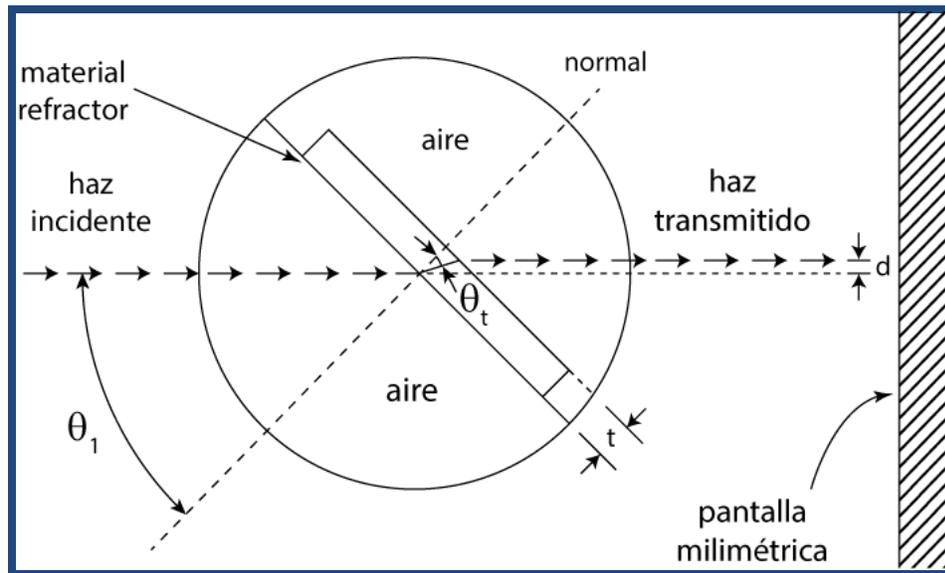


Figura 5.3. Desplazamiento lateral del haz transmitido.

II.4 Repita el proceso anterior para los ángulos de incidencia 50°, 55° y 60° y mida la distancia **d**. Realice este experimento dos veces más, como mínimo, para los ángulos elegidos.

**ACTIVIDAD 5.**

Elabore una tabla donde se registren los ángulos de incidencia y de refracción o transmisión del haz con el desplazamiento lateral **d** medido en el punto anterior. La expresión que nos permite determinar el ángulo de transmisión  $\theta_t$  es:

$$\tan\theta_t = \left[ \frac{\text{sen}\theta_i - \frac{d}{t}}{\text{cos}\theta_i} \right]$$

$\theta_i$ [°]	$d$ [mm]	$d$ [mm]	$\theta_t$ [°]
45			
50			
55			
60			

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	34/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

donde el espesor  $t$  de la placa de vidrio debe medirse con el calibrador vernier.

#### ACTIVIDAD 6.

Para cada pareja de datos  $(\theta_i, \theta_t)$  obtenga un valor del índice de refracción para el acrílico. Calcule el valor más representativo de estos valores, incluyendo su incertidumbre.

Para la realización de esta actividad, se sugiere concentrar la información en la tabla siguiente:

$$\bar{n}_{acrilico} = \underline{\hspace{2cm}} \left[ \begin{array}{c} \phantom{\pm} \\ \phantom{\pm} \end{array} \right]$$

$$\bar{n} \pm \Delta n = \underline{\hspace{2cm}} \left[ \begin{array}{c} \phantom{\pm} \\ \phantom{\pm} \end{array} \right]$$

$\theta_i$ [°]	$\theta_t$ [°]	$\text{sen } \theta_i$	$\text{sen } \theta_t$	$n$
45				
50				
55				
60				

#### ACTIVIDAD 7.

Conociendo el ángulo de incidencia ¿cómo se puede determinar el valor del ángulo crítico? En su respuesta muestre la construcción geométrica necesaria.

#### ACTIVIDAD 8.

Determine el ángulo crítico para la interfaz vidrio-aire.

#### ACTIVIDAD 9.

Registre el ángulo de desviación mínima  $\delta_m$  y a partir de éste obtenga el índice de refracción del vidrio del que está hecho el prisma.

#### ACTIVIDAD 10.

Compare el índice de refracción del vidrio con el del acrílico. ¿El índice de refracción es función de las dimensiones de la muestra? De acuerdo con lo anterior: ¿qué tipo de propiedad física es el índice de refracción?

### EXPERIMENTO III. REFLEXIÓN INTERNA TOTAL.

III.1 Sustituya la placa de acrílico por el prisma de vidrio, colocándolo como se muestra en la figura 5.4.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	35/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

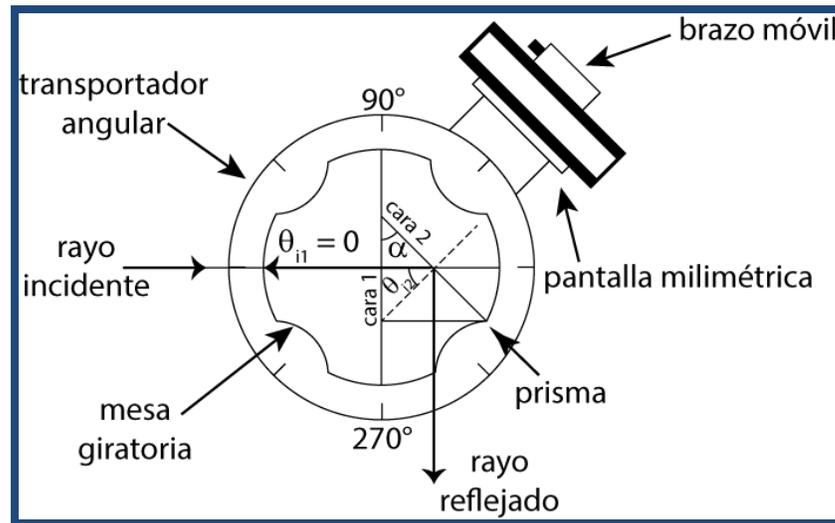


Figura 5.4. Reflexión interna total en prisma;  $\theta_{i2} > \theta_c$ .

III.2 Gire la mesa del transportador angular y un ángulo  $\theta_{i1}$ , tal que aparezca un haz transmitido restante en la cara 2 del prisma.

#### EXPERIMENTO IV.      **ÁNGULO DE DESVIACIÓN MÍNIMA.**

IV.1 Para determinar el ángulo de desviación mínima, gire la mesa del transportador en el sentido horario y observe que el movimiento del haz transmitido conserva un mismo sentido antihorario hasta un punto donde se invierte; en dicho punto se tiene el ángulo de desviación mínima.

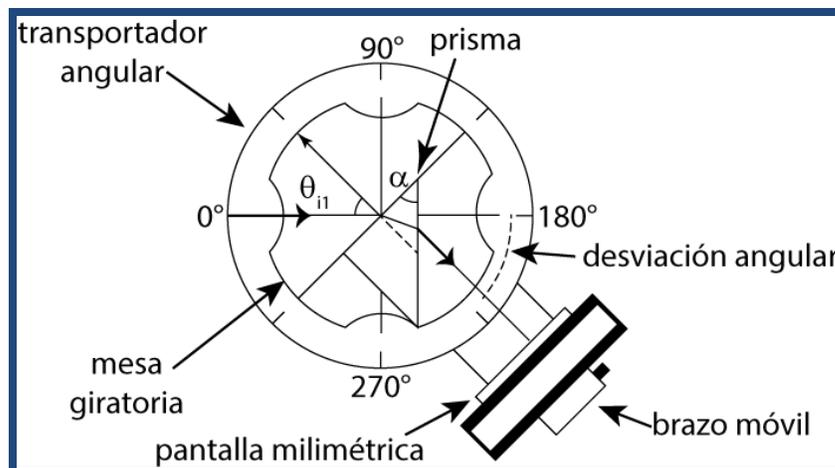


Figura 5.5. Desviación angular  $\delta$ .

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	36/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. Conclusiones

## 6. Cuestionario previo

1. ¿Cómo se definen los ángulos de incidencia, reflexión y transmisión?
2. ¿Qué es el índice de refracción de una sustancia y sus unidades en el SI?
3. ¿Qué establece la ley de Snell?
4. ¿En qué consiste el fenómeno de reflexión interna total?
5. ¿Qué se entiende por “ángulo crítico”?
6. ¿A qué se llama “desviación angular”  $\delta$  en un prisma dispersor?
7. ¿Cuál es la expresión que permite determinar el índice de refracción de un prisma, si se conoce el ángulo entre las caras que intervienen en la desviación del haz y la desviación angular mínima  $\delta_m$ ?

## 7. Bibliografía

- Alonso M. y Finn E.; “FÍSICA VOL. II: CAMPOS Y ONDAS”. Editorial Adisson–Wesley Iberoamericana. México, 1987.
- Hecht E.; “ÓPTICA”. Editorial Adisson – Wesley Iberoamericana. 3ª. Edición. España, 2000.
- Resnick R., Halliday D. y Krane K. S.; “FÍSICA” Vol. I. Editorial C.E.C.S.A. 3ª edición. México, 1997.
- Young H. D. y Freedman R. A.; “Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA” Vol. 2; Editorial Pearson; 13ª edición; México, 2014.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	37/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 6.

## Guías de ondas y Fibras ópticas

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	38/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Láser de He – Ne de 0.5 [mW]	Dirigir el haz sobre superficies reflejantes o directamente al ojo puede causar severos daños a la vista.
2	Fotómetro con sonda	La sonda puede zafarse del conector y dar lecturas erróneas. Doblar o torcer la sonda puede causar que se rompan sus fibras.

## 2. Objetivos de aprendizaje

1. Conocer las precauciones que requiere el uso del láser y de la sonda del fotómetro.
2. Observar el efecto de encauzamiento de ondas electromagnéticas, y clasificar los conductos utilizados como “guías de ondas” o “fibras ópticas”.

## 3. Material y equipo

láser de He – Ne de 0.5 [mW]  
 recipiente transparente con orificio de 3.175 [mm] (1/8 de pulgada), cercano a su base  
 banco óptico  
 transportador angular  
 sonda del fotómetro  
 emisor de microondas de 10.525 [GHz]  
 receptor de microondas de 10.525 [GHz]  
 goniómetro con su riel portacomponentes  
 bolsa de granitos de estireno  
 calibrador con Vernier  
 eliminador de baterías

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. GUÍAS DE LUZ.

- 1.1 Llene con agua el recipiente transparente y arme el dispositivo experimental de la figura 6.1.

Utilice como base para el recipiente algún objeto de dimensiones apropiadas (un cuaderno grueso, por ejemplo).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	39/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- I.2 Al utilizar el láser deben observarse estrictamente las precauciones siguientes:
- Nunca mirar directamente el haz luminoso del láser, ni sus reflexiones en espejos o superficies metálicas.
  - Colocar el láser en una posición tal, que se evite cualquier posibilidad de contacto visual accidental con el haz luminoso por parte de los integrantes de la propia brigada de trabajo o de los miembros de otras brigadas.
  - Apagar el láser antes de moverlo hacia otro dispositivo experimental.
- I.3 Encienda el láser, dirija el haz luminoso al orificio de salida del recipiente como se muestra en la figura 6.1 y observe como el chorro de agua guía a la luz.

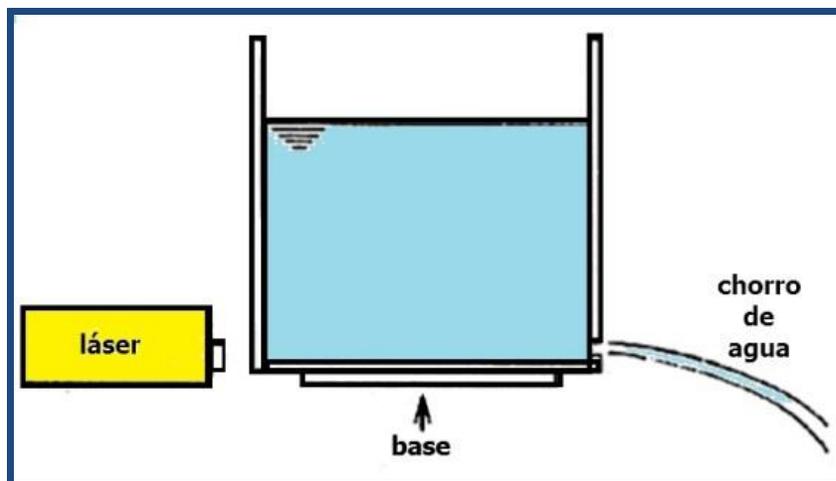


Figura 6.1. Dispositivo experimental.

### ACTIVIDAD 1.

Represente en un diagrama simplificado la trayectoria de un rayo de luz en el interior del chorro de agua. Con base en el diámetro del chorro y la longitud de onda de la luz del láser, clasifique al chorro de agua como “guía de ondas” o “fibra óptica”.

- I.4 Monte en el banco óptico el dispositivo que se muestra en la figura 6.2, tomando en consideración las recomendaciones que se hacen en los incisos 1.5 y 1.6 siguientes.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	40/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

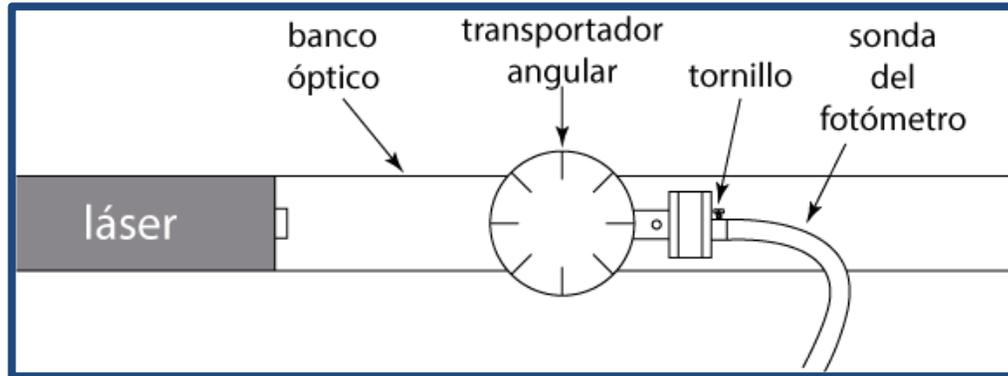


Figura 6.2. Montaje de la sonda del fotómetro y el láser.

- I.5 La sonda del fotómetro es un instrumento que requiere cuidado especial. No debe flexionarse con un radio menor de 5 [cm] en ningún punto, ni flexionarse en lo absoluto dentro de 7.5 [cm] a partir de cualquiera de sus extremos. Evite raspar o manchar los extremos de la sonda.
- I.6 Para fijar la sonda al portaanalizadores del brazo móvil del transportador angular, afloje el tornillo ubicado en la parte posterior de éste, introduzca la sonda suavemente y luego apriete el tornillo ligeramente. Una presión excesiva podría dañar la sonda.
- I.7 Encienda el láser y dirija el haz al extremo fijo de la sonda, apunte el extremo libre de ésta hacia algún objeto (no al ojo), para observar la luz transmitida por la sonda.
- I.8 Apague el láser, desmonte la sonda y observe con cuidado sus extremos. Advertirá que ella se compone de un manojo de fibrillas delgadas. Estime el diámetro de una de esas fibrillas. Para ello, mida el diámetro externo de la sonda con el calibrador con vernier, determine el espesor ( $e$ ) aproximado del revestimiento de plástico, deduzca el diámetro interno de la sonda y considere que ésta contiene alrededor de 60 fibrillas.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	41/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

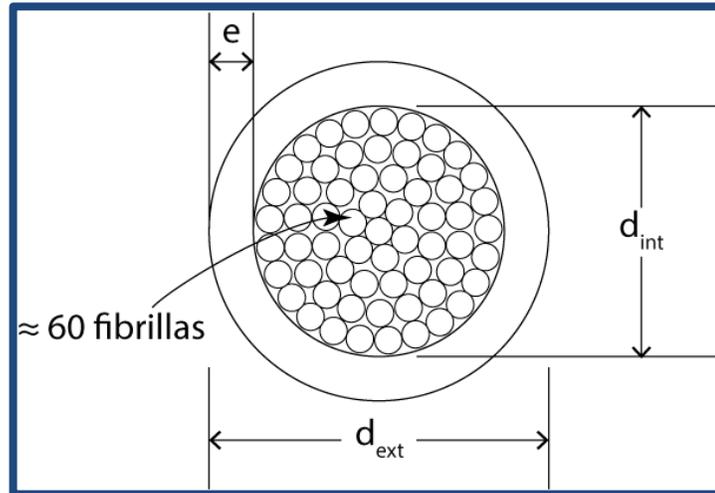


Figura 6.3. Corte transversal de la sonda del fotómetro

## ACTIVIDAD 2.

Tomando como base el diámetro aproximado de las fibrillas de la sonda y la longitud de onda de la luz roja del láser, clasifique a la fibrilla como “guía de ondas” o “fibra óptica”.

## EXPERIMENTO II. GUÍAS DE MICROONDAS.

II.1 Disponga el emisor y el receptor de microondas sobre los brazos del goniómetro como lo indica la figura 6.3 conecte el emisor y ajuste los controles del receptor para tener una lectura de media escala aproximadamente.

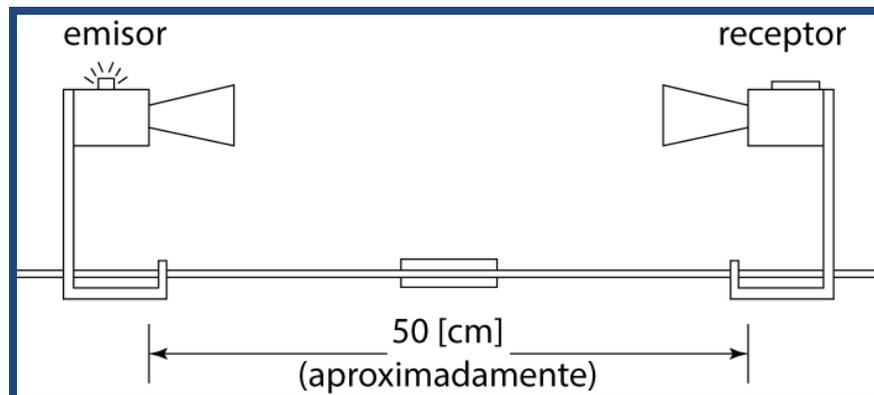


Figura 6.4. Emisor y receptor de microondas.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	42/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- II.2 Coloque uno de los extremos de la bolsa llena de granitos de estireno en la corneta de microondas del emisor y observe cómo varía la lectura del receptor.
- II.3 En seguida, coloque el otro extremo de la bolsa en la corneta de microondas del receptor y observe nuevamente la lectura del receptor.

### ACTIVIDAD 3.

Compare la intensidad de la señal detectada en el inciso II.3, con la de la señal detectada en ausencia de la bolsa en el inciso II.1 y proporcione una explicación cualitativa de los hechos.

- II.4 Retire la bolsa tubular y gire el brazo móvil del goniómetro hasta que la lectura en el receptor sea de cero.
- II.5 Coloque un extremo de la bolsa tubular en la corneta de microondas del emisor y con mucho cuidado flexione la bolsa para colocar su otro extremo en el receptor y observe la nueva lectura en éste.

### ACTIVIDAD 4.

Compare las intensidades de la señal detectadas en los incisos II.4 y II.5; explique de manera cualitativa la razón de las diferencias observadas.

- II.6 Evitando dañar la bolsa, estime, con ayuda del calibrador con Vernier, el diámetro de la bolsa tubular.

### ACTIVIDAD 5.

Con base en el diámetro de la bolsa y la longitud de onda de las microondas, clasifique a la bolsa como “guía de ondas” o como “fibra óptica”.

## 5. Conclusiones

## 6. Cuestionario previo

- ¿Qué es una “fibra óptica” y qué es una “guía de ondas”?
- ¿Cuál es la diferencia esencial entre una “fibra óptica” y una “guía de ondas”?
- En el caso de una fibra óptica, ¿cuál es el fenómeno óptico que le permite a la luz seguir la trayectoria impuesta por la fibra?

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	43/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

4. ¿Qué relación debe existir entre el índice de refracción de un material y el del medio que lo rodea, para que sea posible la reflexión interna total en el primero?
5. Indique el orden de magnitud de la longitud de onda de:
  - a) la luz visible (en  $nm$ )
  - b) las microondas (en  $mm$ )

## 7. Bibliografía

- Resnick R., Halliday D. y Krane K.S. "FÍSICA" Vol. I. Editorial C.E.C.S.A. 3ª edición. México, 1997.
- Hecht E. "ÓPTICA". Editorial Adisson – Wesley Iberoamericana. 3ª. Edición España, 2000.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	44/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 7. Lentes

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	45/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Banco óptico	Puede caerse y lastimar las extremidades de los alumnos.
2	Lentes	Pueden caerse y dañarse permanentemente.

## 2. Objetivos de aprendizaje

- Determinar las distancias focales de lentes esféricas.
- Observar las características de las imágenes producidas por las lentes esféricas.
- Estudiar el aumento lateral de una imagen.

## 3. Material y Equipo

fuente de luz incandescente  
 banco óptico  
 transportador angular  
 tres portacomponentes estándar  
 pantalla con escala milimétrica  
 figura transparente (flechas cruzadas)  
 lente biconvexa ( $f = 48 [mm]$ )  
 lente biconvexa ( $f = 127 [mm]$ )  
 lente plano-cóncava ( $f = -22 [mm]$ )  
 difusor  
 abertura rectangular

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. DISTANCIA FOCAL DE UNALENTE CONVERGENTE.

- 1.1 Prepare el dispositivo experimental que se muestra en la figura 7.1. Fije el difusor sobre la superficie frontal de la fuente y coloque la figura transparente, montada en un portacomponentes, tan próxima al difusor como sea posible. De preferencia haga que la flecha graduada apunte hacia arriba.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	46/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

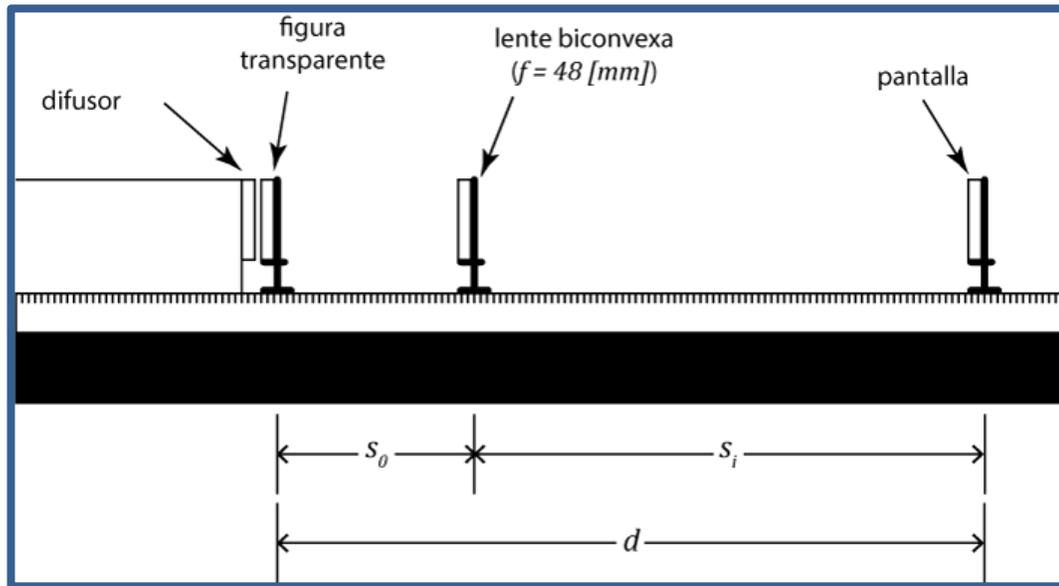


Figura 7.1 Dispositivo experimental

- I.2 Para una distancia objeto-imagen  $d$ , tal que  $d > 4f$ , la ecuación de las lentes puede expresarse como:

$$\frac{1}{s_0} + \frac{1}{d - s_0} = \frac{1}{f}$$

Donde  $f$  es la distancia focal y  $s_0$  la distancia objeto-lente. La distancia focal viene dada entonces por la expresión:

$$f = \left[ \frac{ds_0 - s_0^2}{d} \right]$$

El resultado es una ecuación de segundo grado, lo cual significa que hay dos valores para la distancia objeto-lente correspondiente. El que esta ecuación sea de segundo grado en  $s_0$ , significa que hay dos valores ( $s_{01}$  y  $s_{02}$ ), correspondientes a las posiciones que la lente puede ocupar para las que se forma una imagen nítida en la pantalla.

- I.3 Manteniendo fija la pantalla cerca del extremo derecho del banco óptico, desplace la lente a lo largo de éste para localizar las dos posiciones que dan lugar a las imágenes nítidas, conocidas como imágenes conjugadas de la lente. Determine los valores  $s_{01}$  y  $s_{02}$  correspondientes y estime sus incertidumbres.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	47/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### ACTIVIDAD 1.

Con cada uno de los valores  $s_0$  obtenidos ( $s_{01}$  y  $s_{02}$ ) calcule la distancia focal de la lente y su incertidumbre correspondiente y compare los resultados con el valor dado por el fabricante. Calcule el % de error de exactitud, si el valor del fabricante fuese exacto.

### EXPERIMENTO II. CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES.

#### ACTIVIDAD 2.

Utilizando el dispositivo experimental de la actividad anterior, con la misma lente, y para los casos de valores  $s_0$  propuestos en la tabla siguiente, observe las características de las imágenes y regístrelas en ella.

$s_0$	$s_i$ (+ o -)	Imagen		Aumento
		Real o virtual	Derecha o invertida	$> 1$ $= 1$ $< 1$
$s_0 > 2f$				
$f < s_0 < 2f$				
$s_0 = f$				
$s_0 < f$				

### EXPERIMENTO III. AUMENTO LATERAL.

Mediante el mismo dispositivo experimental y para alguna separación  $d$  apropiada, para que la imagen de la flecha graduada quepa en la pantalla, determine el tamaño ( $y_i$ ) de la imagen usando la graduación de la pantalla y mida también  $s_0$  y  $s_i$ . Se sugiere que:  $f < s_0 < 2f$ .

#### ACTIVIDAD 3.

Determine el aumento lateral o transversal  $m = \frac{y_i}{y_0}$  y compare su valor con el predicho por la fórmula.

$$M_T = m = -\frac{s_i}{s_0}$$

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	48/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

#### EXPERIMENTO IV. DISTANCIA FOCAL DE UNALENTE DIVERGENTE.

IV.1. En el caso de una lente cóncava o plano-cóncava no es posible determinar la distancia focal con el procedimiento del experimento I, debido a que las imágenes de objetos ubicados a una distancia finita de la lente son siempre virtuales; sin embargo, existen varios métodos alternos.

Uno de ellos consiste en medir las dimensiones  $y_1$  y  $y_2$  de un haz de rayos que son paralelos hasta incidir en la lente, y divergentes luego de atravesarla para dos posiciones diferentes de la pantalla y medir las distancias  $s_1$  y  $s_2$  correspondientes, y calcular la distancia focal mediante la expresión siguiente:

$$|f| = \left| \frac{s_2 y_1 - s_1 y_2}{y_2 - y_1} \right|$$

Que se deduce de la construcción geométrica de la figura 7.2.

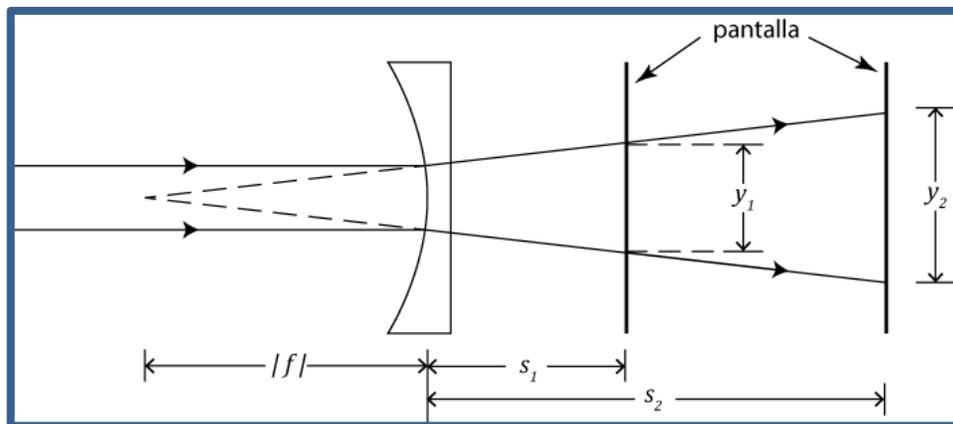


Figura 7.2. Diagrama del dispositivo experimental

#### ACTIVIDAD 4.

Justifique la expresión anterior para  $f$ , a partir de la figura 7.2.

IV.2. Prepare el dispositivo experimental de la figura 7.3. Coloque la lente biconvexa a una distancia mayor de  $27[mm]$  de la lámpara incandescente. Desplace la pantalla hasta observar en ella la imagen nítida del filamento incandescente.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	49/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

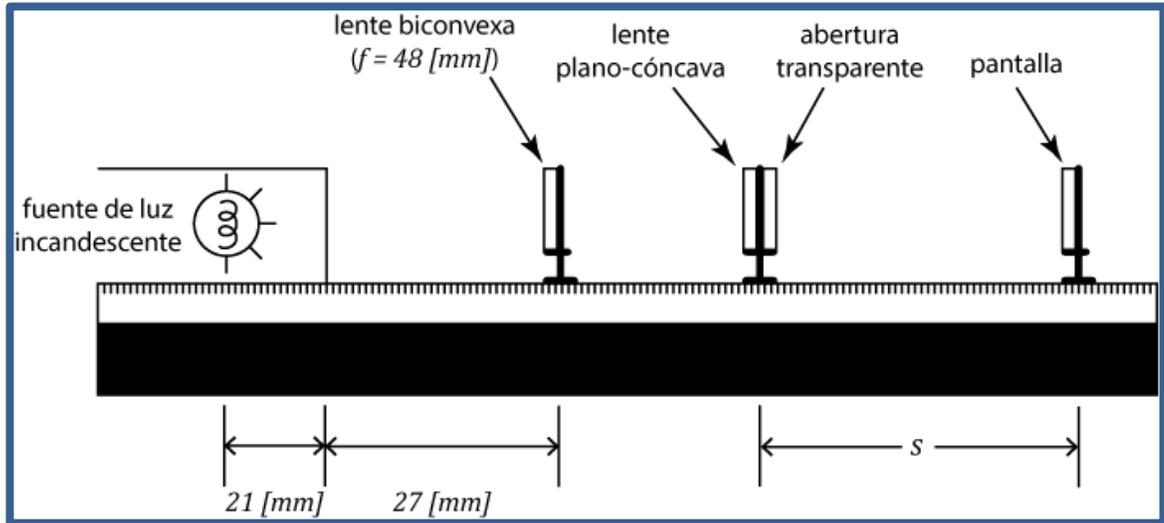


Figura 7.3 Dispositivo experimental.

#### ACTIVIDAD 5.

Explique brevemente por qué la lente biconvexa ubicada como se indicó en el párrafo anterior, tiene el efecto de permitir que la lente plano cóncava forme imágenes reales del filamento incandescente.

IV.3. Coloque la lente biconvexa a la distancia de la lámpara indicada en la figura 7.3. Para dos posiciones diferentes de la pantalla mida las distancias  $s_1$  y  $s_2$  y los anchos  $y_1$  y  $y_2$  correspondientes del haz transmitido y observado en la pantalla y estime las incertidumbres en sus mediciones.

#### ACTIVIDAD 6.

Calcule la distancia focal objeto de la lente plano-cóncava con su incertidumbre y compárela con el valor proporcionado por el fabricante.

## 5. Conclusiones

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	50/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 6. Cuestionario previo

1. ¿Qué se entiende por “imagen” de una fuente puntual?
2. ¿Cuál es la diferencia entre una imagen real y una imagen virtual?
3. ¿Cómo se definen los conceptos de “foco objeto” y “foco imagen” de una superficie refractora?
4. ¿Cómo se definen los términos “distancia focal objeto” y “distancia focal imagen” de una superficie refractora?
5. ¿Qué relación guardan entre si las distancias focales objeto e imagen, en el caso de una lente delgada?
6. ¿Cuál es la forma gaussiana de la ecuación de las lentes delgadas?
7. ¿Cómo se define el “aumento lateral”  $M_T$  de una imagen?

## 7. Bibliografía

- Young H. D. y Freedman R. A.; “Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA” Vol. 2; Editorial Pearson; 13ª edición; México, 2014.
- Hecht E.; “ÓPTICA”. Editorial Adisson – Wesley Iberoamericana. 3ª. Edición. España, 2000.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	51/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 8. Sistemas de lentes

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	52/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Banco óptico	Puede caerse y lastimar las extremidades de los alumnos.
2	Lentes	Pueden caerse y dañarse permanentemente.

## 2. Objetivos de aprendizaje

- Construir en sus versiones más sencillas los siguientes sistemas de lentes:
  - Microscopio compuesto.
  - Telescopio de Kepler.
  - Telescopio terrestre (catalejo).
  - Telescopio de Galileo.
- Determinar el aumento angular (poder de aumento) de cada uno de los sistemas anteriores.
- Verificar experimentalmente las predicciones teóricas para la distancia objetivo–ocular en telescopios.

## 3. Material y equipo

fuente de luz incandescente  
banco óptico  
cuatro portacomponentes estándar  
pantalla con escala milimétrica  
figura transparente (flechas cruzadas)  
lente biconvexa ( $f = 252 [mm]$ )  
lente biconvexa ( $f = 127 [mm]$ )  
lente biconvexa ( $f = 48 [mm]$ )  
lente plano–cóncava ( $f = -22 [mm]$ )  
difusor

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. MICROSCOPIO COMPUESTO.

- Arme el dispositivo experimental de la figura 8.1 empleando para el objetivo y el ocular las lentes biconvexas que se indican.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	53/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

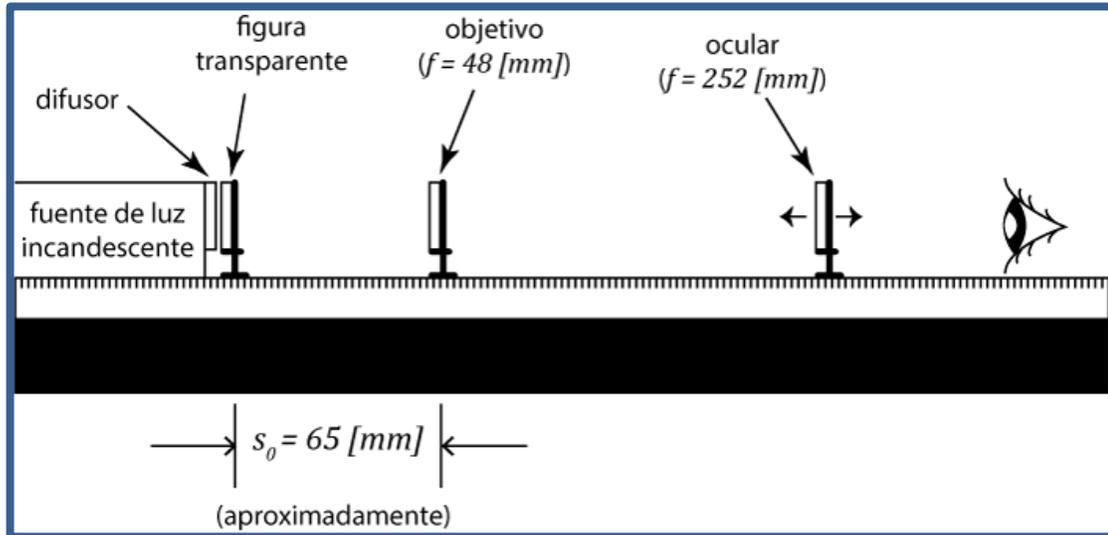


Figura 8.1 Lentes del microscopio compuesto

- I.2 Mirando a través del ocular, desplácelo a lo largo del banco óptico hasta observar una imagen nítida.

#### ACTIVIDAD 1.

Con base en el valor de  $f_{oc}$  proporcionado por el fabricante del equipo, calcule el aumento angular del ocular.

- I.3 Sustituya el ocular por la pantalla y desplácela a lo largo del banco óptico hasta observar en ella una imagen nítida del objeto transparente, el objetivo debe permanecer fijo en su posición original, y mida las distancias objeto-lente ( $s_o$ ) y lente-imagen ( $s_i$ ) correspondientes.

#### ACTIVIDAD 2.

Con base en los datos obtenidos determine el aumento lateral del objetivo y el aumento angular (poder de aumento) del microscopio compuesto.

#### EXPERIMENTO II. TELESCOPIO DE KEPLER.

- II.1 Monte el dispositivo del telescopio como muestra la figura 8.2 colocando el ocular a unos 100 [mm] del extremo derecho del banco óptico.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	54/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

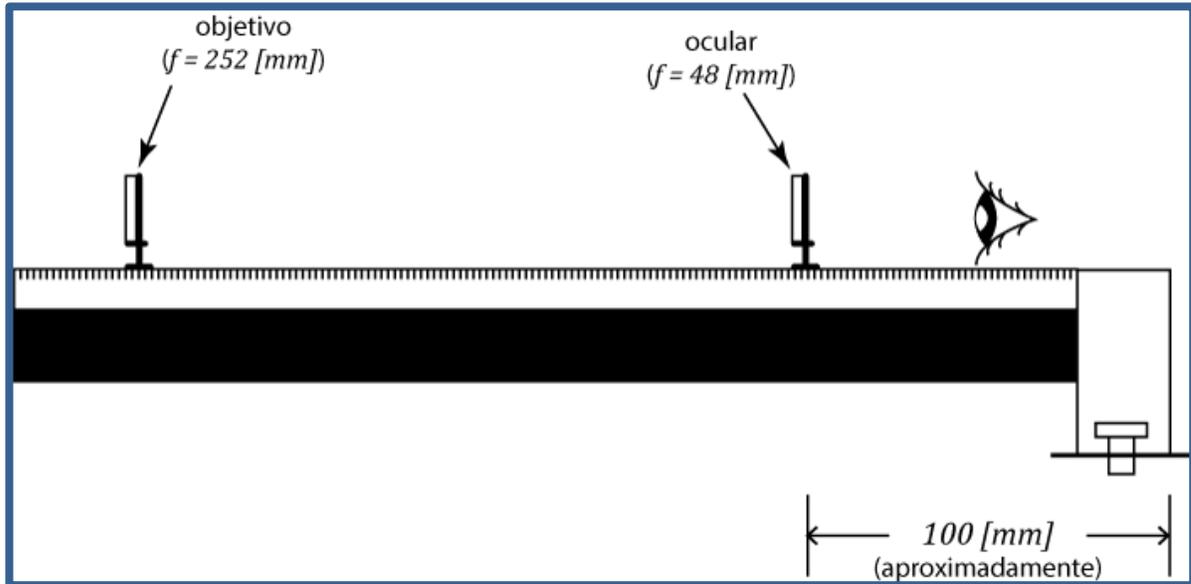


Figura 8.2 Telescopio de Kepler

II.2 Mire a través del ocular, aproximando su ojo tanto como sea posible, y desplace el objetivo a lo largo del banco hasta enfocar algún objeto lejano (al menos unos 30[m]).

### ACTIVIDAD 3.

Mida la separación objetivo–ocular ( $d$ ) cuando el telescopio se halla enfocado y compárela con la que predice la teoría:

$$d = f_{\text{objetivo}} + f_{\text{ocular}}$$

### ACTIVIDAD 4.

Determine el aumento angular (poder de aumento) del telescopio, a partir de las distancias focales proporcionadas por el fabricante del equipo.

Para la siguiente actividad, el banco óptico debe estar firmemente apoyado sobre la mesa.

II.3 Manteniendo fijos en sus posiciones el objetivo y el ocular del telescopio ya enfocado, agregue los componentes que faltan para completar el dispositivo experimental de la figura 8.3.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	55/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

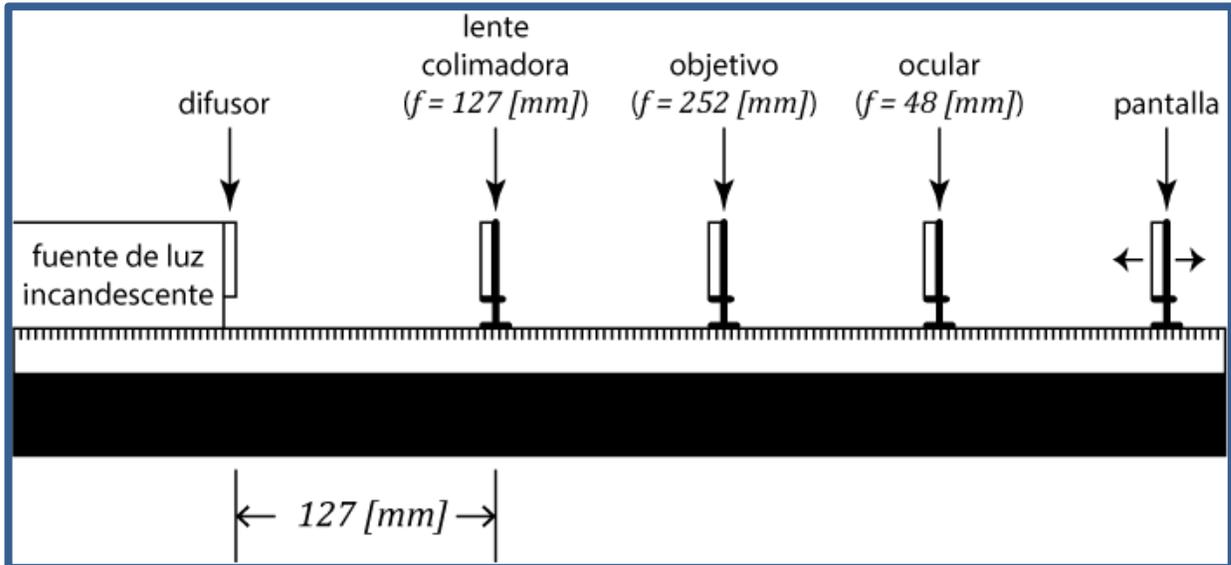


Figura 8.3 Dispositivo experimental

- II.4 Encienda la lámpara y observe la imagen del objetivo formada por el ocular en la pantalla. Desplace la pantalla hasta obtener la imagen más nítida posible, la cual tiene, como podrá observarse, un diámetro mínimo, esta imagen recibe el nombre de “pupila de salida”.

#### ACTIVIDAD 5.

Mida el diámetro de la pupila de salida del telescopio.

#### ACTIVIDAD 6.

A partir del diámetro conocido del objetivo ( $D = 21.8 [mm]$ ) y del diámetro medido de la pupila de salida, calcule el aumento angular (poder de aumento) del telescopio y compárelo con el calculado en la actividad 4.

### EXPERIMENTO III. TELESCOPIO TERRESTRE (CATALEJO).

- III.1 Retire del banco óptico los componentes del dispositivo de la figura 8.3, con excepción del objetivo y del ocular.
- III.2 Desplace el objetivo alejándolo  $508 [mm]$  del ocular a partir de su posición inicial, coloque en medio de ellos una tercera lente biconvexa ( $f = 127 [mm]$ ) y desplácela lentamente a lo largo del banco, entre el objetivo y el ocular, hasta observar por el ocular una imagen nítida.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	56/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

III.3 Observe que la imagen es ahora derecha, gracias a la inversión que realiza la nueva lente (inversora) de la imagen formada por el objetivo.

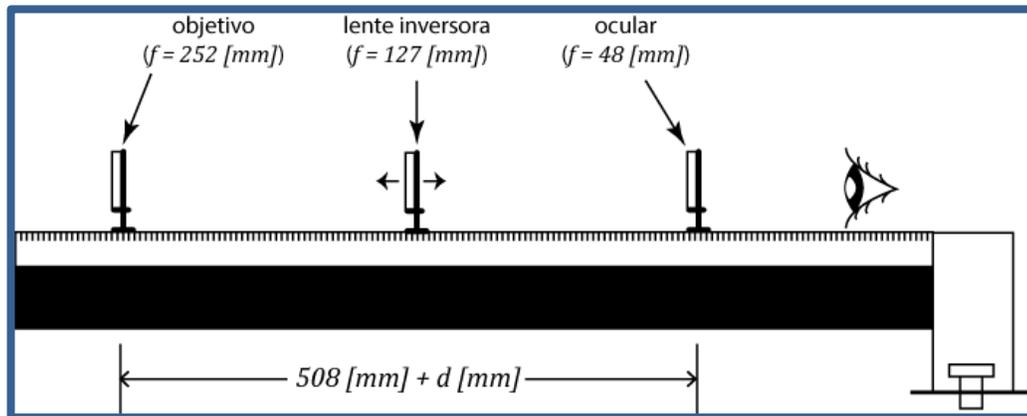


Figura 8.4 Telescopio terrestre (catalejo)

#### ACTIVIDAD 7.

Explique por qué la introducción de la lente inversora con distancia focal  $f_{inv}$  obliga a incrementar la separación objetivo-ocular en  $4f_{inv}$ .

#### EXPERIMENTO IV. TELESCOPIO DE GALILEO.

IV.1 Reemplace la lente biconvexa que opera como ocular en el telescopio de Kepler, por la lente plano-cóncava con  $f = -22[mm]$ , y desplace el objetivo con el fin de enfocar algún objeto lejano.

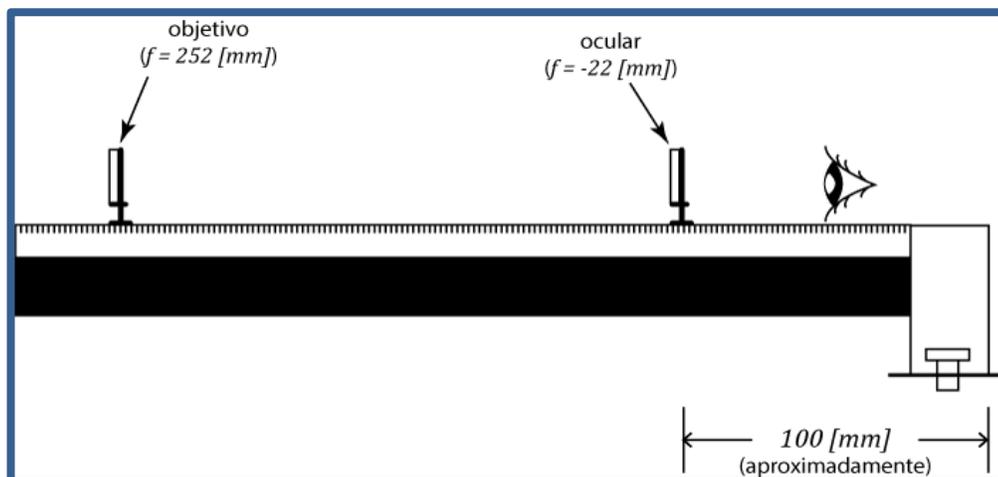


Figura 8.5. Telescopio de Galileo

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	57/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### ACTIVIDAD 8.

Mida la separación objetivo–ocular ( $d$ ) en el telescopio enfocado y compárela con la predicción teórica para este tipo de telescopio dada por:

$$d = \left| |f_{\text{objetivo}}| - |f_{\text{ocular}}| \right|$$

### ACTIVIDAD 9.

Calcule el aumento angular (poder de aumento) del telescopio, tomando como base las distancias focales indicadas en las etiquetas de las lentes.

IV.2. Sustituya la lente de 252 [mm] de distancia focal por la de 127 [mm], como objetivo del telescopio, enfóquelo, de acuerdo con la actividad 8, y observe cómo es el nuevo aumento con relación al de la configuración anterior.

### ACTIVIDAD 10.

Calcule, como en la actividad 9, el nuevo aumento angular del telescopio y compárelo con el determinado en esa actividad.

## 5. Conclusiones

## 6. Cuestionario previo

1. ¿Cómo se define el “aumento angular” de un microscopio simple?
2. En un sistema de lentes, ¿qué se entiende por “objetivo” y qué por “ocular”?
3. ¿Cómo se define el “aumento total” de un microscopio compuesto?
4. En un microscopio compuesto, ¿qué relación hay entre el aumento total, el aumento angular del ocular y el aumento lateral del objetivo?
5. ¿Cómo se define el “aumento angular” de un telescopio?
6. ¿Qué relación existe entre el aumento angular del telescopio y las distancias focales de su objetivo y de su ocular?
7. ¿Qué se entiende por “pupila de salida” (o anillo ocular)?

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	58/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

8. ¿Qué relación existe entre el aumento angular del telescopio y los diámetros de su objetivo y de su pupila de salida?

## 7. Bibliografía

- Hecht E.; "ÓPTICA". Editorial Adisson – Wesley Iberoamericana. 3ª. Edición. España, 2000.
- Young H. D. y Freedman R. A.; "Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA" Vol. 2; Editorial Pearson; 13ª edición; México, 2014.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	59/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 9. Interferencia

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	60/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Láser de He – Ne de 0.5 [mW]	Dirigir el haz sobre superficies reflejantes o directamente al ojo puede causar severos daños a la vista.
2	Banco óptico	Mal colocado puede caer de la mesa y provocar una lesión.
3	Placa de vidrio	Puede romperse y causar cortaduras.
4	Lentes	Pueden caerse y dañarse permanentemente.

## 2. Objetivos de aprendizaje

- Reproducir el experimento de Young para observar el fenómeno de interferencia por división de frente de onda.
- Reproducir el fenómeno de interferencia por división de amplitud, debido a reflexiones múltiples.

## 3. Material y equipo

láser de He – Ne de 0.5 [mW]  
 fuente de luz incandescente  
 pantalla con escala milimétrica  
 banco óptico  
 tres portacomponentes estándar  
 banco de alineamiento para láser  
 difusor  
 abertura rectangular  
 rendijas [9116]  
 rendijas dobles [9165-B]  
 placa de vidrio  
 dos lentes biconvexas ( $f = 18 [mm]$  y  $f = 48 [mm]$ )  
 calibrador con vernier

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. EXPERIMENTO DE YOUNG.

- Arme el dispositivo experimental que se muestra en la Figura 9.1. Coloque entre la fuente de luz y las rendijas dobles, un portacomponentes estándar con una abertura rectangular y las rendijas sencillas.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	61/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

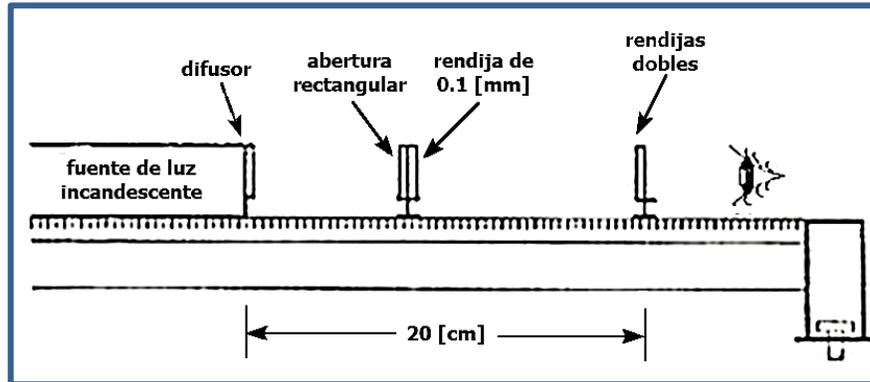


Figura 9.1 Dispositivo experimental

- I.2 Coloque la rendija sencilla de 0.1 [mm] de ancho al centro del portacomponentes y la abertura rectangular de manera que al encender la fuente de luz, sólo se ilumine dicha rendija. El haz de luz que emerja de la rendija sencilla deberá iluminar a todas y cada una de las rendijas dobles.
- I.3 Acerque un ojo a las rendijas dobles y observe los patrones de interferencia producidos por cada par de rendijas. Fije su atención en la parte central del patrón de difracción, que es la más luminosa.

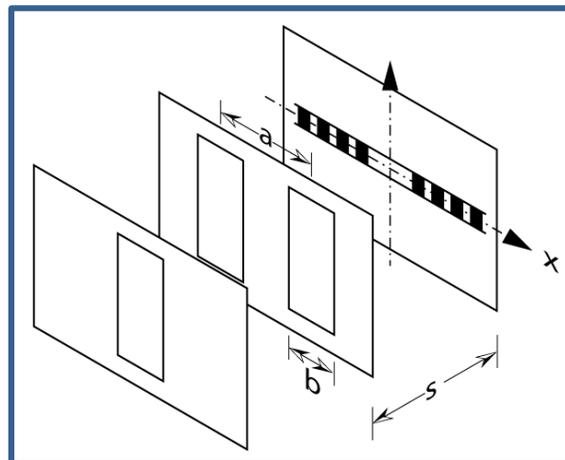


Figura 9.2 Representación esquemática de las rendijas

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	62/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### ACTIVIDAD 1.

Registre la separación (**a**) de las rendijas dobles y el ancho (**b**) de las mismas. Elabore un esquema de la tarjeta que contiene las rendijas dobles, identificando cada par con las letras A, B, C y D; cada par con sus datos: separación entre rendijas (**a**) y ancho de rendija (**b**).

### ACTIVIDAD 2.

Elabore un bosquejo de los patrones de interferencia producidos por los pares de rendijas A y B; recuerde observar la parte central más luminosa. En forma cualitativa, ¿qué relación existe entre los patrones de interferencia observados y la separación **a** entre las rendijas?

--	--

bosquejo para las rendijas A

bosquejo para las rendijas B

### ACTIVIDAD 3.

Elabore un bosquejo de los patrones de interferencia producidos por los pares de rendijas A y C.

¿Qué relación cualitativa existe entre los patrones de interferencia observados y el ancho **b** de las rendijas dobles que los producen?

--	--

bosquejo para las rendijas A

bosquejo para las rendijas C

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	63/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

#### ACTIVIDAD 4.

Dibuje un esquema que muestre la forma en que ocurre la división del frente de onda del haz luminoso en este dispositivo.

#### EXPERIMENTO II. INTERFERENCIA POR REFLEXIONES MÚLTIPLES.

- II.1 Retire la fuente de luz incandescente del banco óptico y en su lugar coloque el láser. Monte las lentes en los portacomponentes para armar el ensanchador de haz mostrado en la figura 9.3.

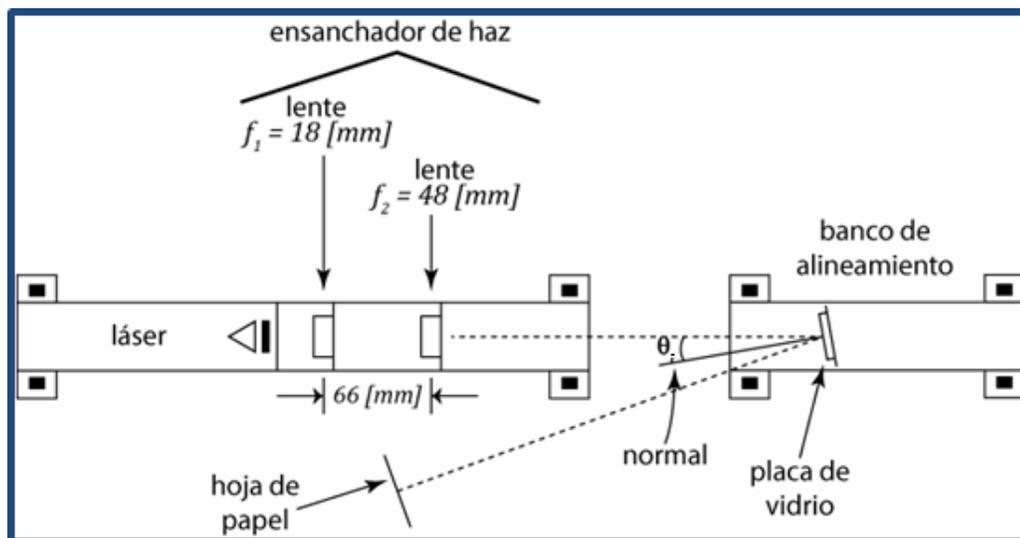


Figura 9.3 Interferencia por reflexiones múltiples

- II.2 Coloque la placa de vidrio en un portacomponentes y éste, a su vez en el banco de alineamiento para el láser.
- II.3 Al utilizar el láser deben observarse estrictamente las precauciones siguientes:
- Nunca mirar directamente el haz luminoso del láser, ni sus reflexiones en espejos o superficies metálicas.
  - Colocar el láser en una posición tal, que se evite cualquier posibilidad de contacto visual accidental con el haz luminoso, por parte de los integrantes de la propia brigada de trabajo o de los miembros de otras brigadas.
  - Apagar el láser antes de moverlo hacia otro dispositivo experimental.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	64/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

II.4 Encienda el láser y haga incidir el haz ensanchado en la placa de vidrio con un ángulo de incidencia  $\theta_i \approx 4^\circ$ , de manera que el haz reflejado incida en la hoja de papel.

#### ACTIVIDAD 5.

Elabore un esquema del patrón de interferencia observado. Si es necesario ajuste ligeramente la distancia de separación entre las lentes.

#### ACTIVIDAD 6.

Bosqueje lo que ocurre al incidir el haz ensanchado del láser en la placa de vidrio. Explique brevemente cómo ocurre el fenómeno de interferencia por división de amplitud.

#### ACTIVIDAD 7.

Elabore un esquema y explique por qué el sistema de lentes utilizado ensancha el haz proveniente del láser.

## 5. Conclusiones

## 6. Cuestionario previo

- Con respecto a las ondas electromagnéticas, ¿a qué se refieren los conceptos siguientes: interferencia, interferencia constructiva e interferencia destructiva?
- Describa brevemente el experimento de Young.
- En el experimento de Young, ¿qué relación guarda la diferencia de caminos ópticos ( $r_1 - r_2$ ) con la separación  $a$  entre las rendijas y con la longitud de onda de la luz incidente?
- En la relación de la diferencia de caminos ópticos con la longitud de onda, ¿para qué valores de  $m$  en la expresión de la diferencia de camino óptico, se da la interferencia constructiva y para cuáles valores, la destructiva?
- ¿Cuál es la diferencia entre los dos tipos de interferencia observados: por división de frente de onda y por división de amplitud?
- ¿A cuál de los tipos de interferencia mencionados en la pregunta 5, corresponden:
  - el que se utiliza en el experimento de Young?
  - los que producen interferencia por reflexiones múltiples?

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	65/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 7. Bibliografía

- Young H. D. y Freedman R. A.; “Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA” Vol. 2; Editorial Pearson; 13ª edición; México, 2014.
- Hecht E.; “ÓPTICA”, Editorial Adisson – Wesley Iberoamericana. 3ª. Edición, España, 2000.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	66/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 10. Difracción

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	67/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Láser de He – Ne de 0.5 [mW]	Dirigir el haz sobre superficies reflejantes o directamente al ojo puede causar severos daños a la vista.
2	Banco óptico	Mal colocado puede caer de la mesa y provocar una lesión.
3	Placa de vidrio	Puede romperse y causar cortaduras.
4	Lentes	Pueden caerse y dañarse permanentemente.

## 2. Objetivos de aprendizaje

1. Observar un patrón de difracción de Fresnel (o de campo cercano).
2. Observar un patrón de difracción de Fraunhofer (o de campo lejano).
3. Observar el disco y los anillos de Airy.

## 3. Material y equipo

láser de He - Ne de 0.5 [mW]  
 banco óptico  
 tres portacomponentes estándar  
 aberturas circulares [9118]  
 rendijas sencillas [9165 - A]  
 rendijas dobles [9165 - B]  
 pantalla con escala milimétrica  
 lente biconvexa ( $f = 252$  [mm])

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. DIFRACCIÓN DE FRESNEL.

- I.1 Arme el dispositivo que se muestra en la figura 10.1, haga incidir el haz del láser en cada una de las rendijas sencillas y observe los patrones de difracción generados.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	68/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

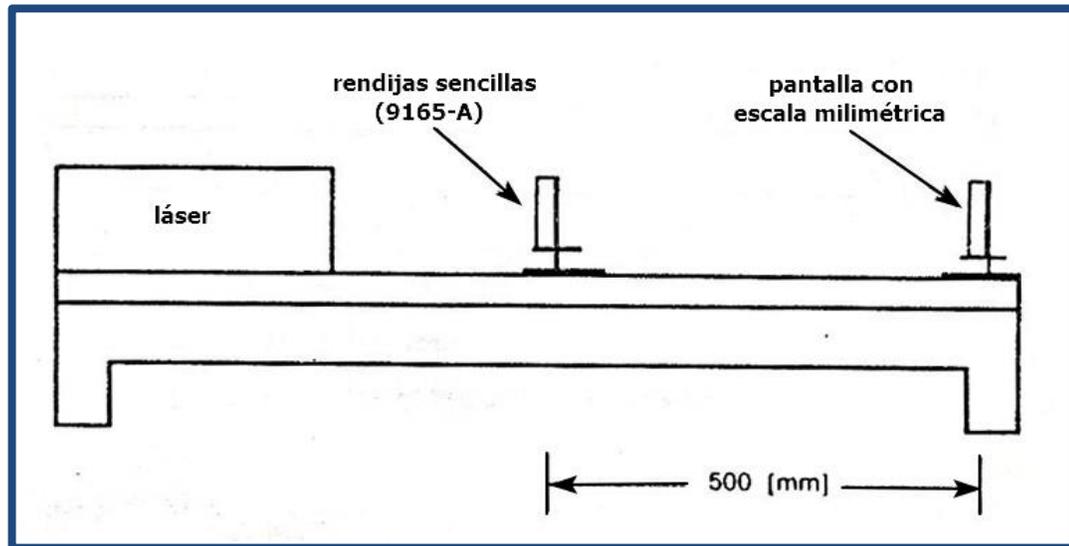


Figura 10.1 Dispositivo experimental para observar la difracción Fresnel.

- I.2 Al utilizar el láser deben observarse estrictamente las precauciones siguientes:
- Nunca mirar directamente el haz luminoso del láser, ni sus reflexiones en espejos o superficies metálicas.
  - Colocar el láser en una posición tal, que se evite cualquier posibilidad de contacto visual accidental con el haz luminoso por parte de los integrantes de la propia brigada de trabajo o de los miembros de otras brigadas.
  - Apagar el láser antes de moverlo hacia otro dispositivo experimental.

#### ACTIVIDAD 1.

Elabore un esquema de los patrones observados, anotando para cada uno de ellos el ancho de la rendija utilizada.

- I.3 Sustituya las rendijas sencillas por las rendijas dobles y haga incidir el haz en cada par de ellas.

#### ACTIVIDAD 2.

Bosqueje los patrones observados anotando el ancho (**b**) y la separación (**a**) del par de rendijas que los generó.

#### ACTIVIDAD 3.

Anote las diferencias entre los patrones para rendijas sencillas y para rendijas dobles. ¿A qué se deben estas diferencias?

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	69/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## EXPERIMENTO II. DIFRACCIÓN DE FRAUNHOFER.

II.1 Coloque nuevamente las rendijas sencillas y además ponga la lente biconvexa ( $f = 252 \text{ [mm]}$ ) en el portacomponentes.

Desplace la pantalla hacia la lente hasta que quede situada a una distancia focal ( $f$ ) de ésta, como se indica en la figura 10.2.

Haga incidir el haz en cada rendija y observe los patrones generados.

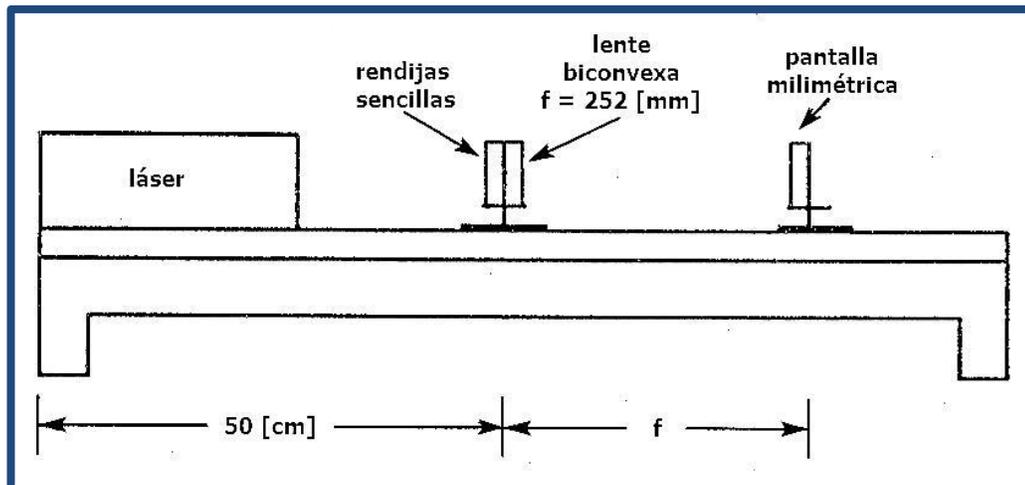


Figura 10.2 Dispositivo experimental para observar la difracción de Fraunhofer.

### ACTIVIDAD 4.

Bosqueje los patrones de difracción como se pide en la actividad 1.

II.2 Sustituya las rendijas sencillas por las dobles y haga incidir el haz en cada par de ellas.

### ACTIVIDAD 5.

Repita la actividad 2 para este caso.

### ACTIVIDAD 6.

¿Qué diferencia existe entre los patrones observados de la difracción de Fresnel y la difracción de Fraunhofer?

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	70/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### EXPERIMENTO III. DISCO Y ANILLOS DE AIRY.

III.1 Arme el dispositivo mostrado en la figura 10.3, colocando la pantalla en el extremo derecho del banco, (o bien, una hoja de papel a mayor distancia), haga incidir el haz del láser en la abertura circular de  $0.5 [mm]$  y observe el patrón de difracción.

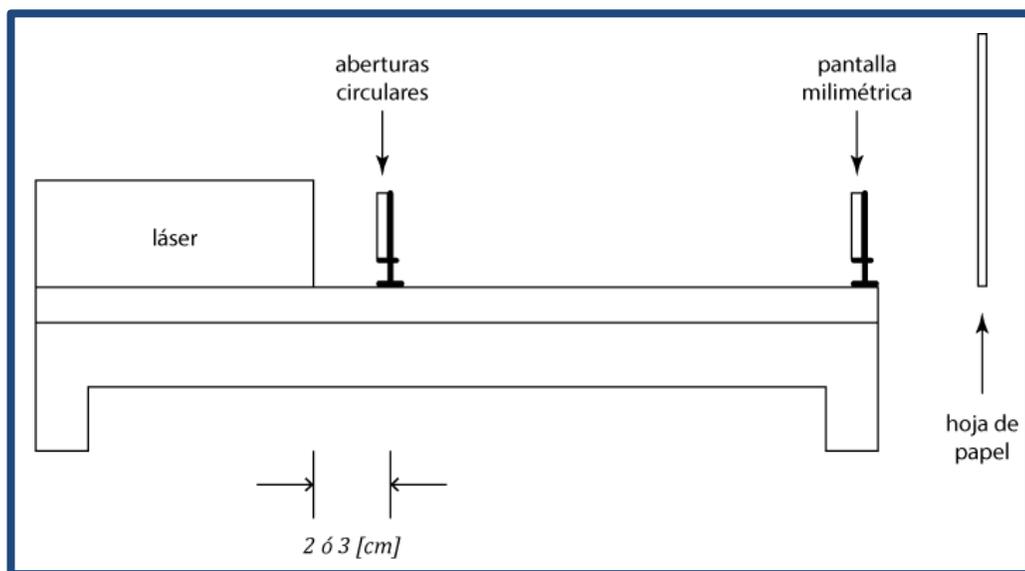


Figura 10.3 Dispositivo experimental para observar el disco y los anillos de Airy

A continuación, desplace la tarjeta para que el haz del láser pase a través de la abertura circular de  $0.75 [mm]$  de diámetro y observe el patrón correspondiente.

#### ACTIVIDAD 7.

Haga un esquema que muestre el patrón de difracción de cada abertura circular.

#### ACTIVIDAD 8.

¿Qué diferencia existe entre ambos patrones?

#### ACTIVIDAD 9.

¿Qué relación guarda el diámetro de la abertura circular con los anillos observados?

#### ACTIVIDAD 10.

¿Qué tipo de difracción (de Fresnel o de Fraunhofer) se presenta en el dispositivo usado?

## 5. Conclusiones

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	71/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 6. Cuestionario previo

1. Con respecto a los fenómenos ondulatorios en general, ¿a qué se refiere el concepto de difracción?
2. Explique brevemente la difracción de Fresnel o de campo cercano.
3. Explique brevemente la difracción de Fraunhofer o de campo lejano.
4. ¿Cuál es la diferencia entre los patrones de la difracción de Fresnel y la de Fraunhofer?
5. En el experimento de Young se observa, además del patrón de interferencia, una serie de bandas luminosas y oscuras más anchas que las producidas por la interferencia, ¿a qué se debe esto?
6. ¿A qué se les denomina disco y anillos de Airy?

## 7. Bibliografía

- Hecht E., "ÓPTICA", Editorial Adisson – Wesley Iberoamericana, 3ª. Edición. España, 2000.
- Young H. D. y Freedman R. A.; "Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA" Vol. 2; Editorial Pearson; 13ª edición; México, 2014.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	72/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 11.

## Interferometría de Fabry-Perot (optativa)

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	73/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Láser de He – Ne de 0.5 [mW]	Dirigir el haz sobre superficies reflejantes o directamente al ojo puede causar severos daños a la vista.

## 2. Objetivos de aprendizaje

1. Conocer el interferómetro de Fabry–Perot y familiarizarse con su procedimiento de ajuste.
2. Observar el patrón de interferencia producido por el interferómetro con el haz ensanchado de un láser.
3. Emplear la técnica interferométrica para determinar la longitud de onda del láser de He-Ne.

## 3. Material y equipo

base del interferómetro  
 láser de He – Ne de 0.5 [mW]  
 montaje del espejo estacionario  
 espejo móvil  
 banco de alineamiento de láser  
 portacomponentes especial  
 portacomponentes estándar  
 pantalla (grande)  
 lente biconvexa ( $f = 18$  [mm])

## 4. Desarrollo

### AJUSTE DEL INTERFERÓMETRO.

1. Disponga el equipo como indica la figura 11.1, con excepción de la lente, la cual se deberá incorporar posteriormente. Coloque el láser sobre su banco de alineamiento para que se halle a la altura apropiada.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	74/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

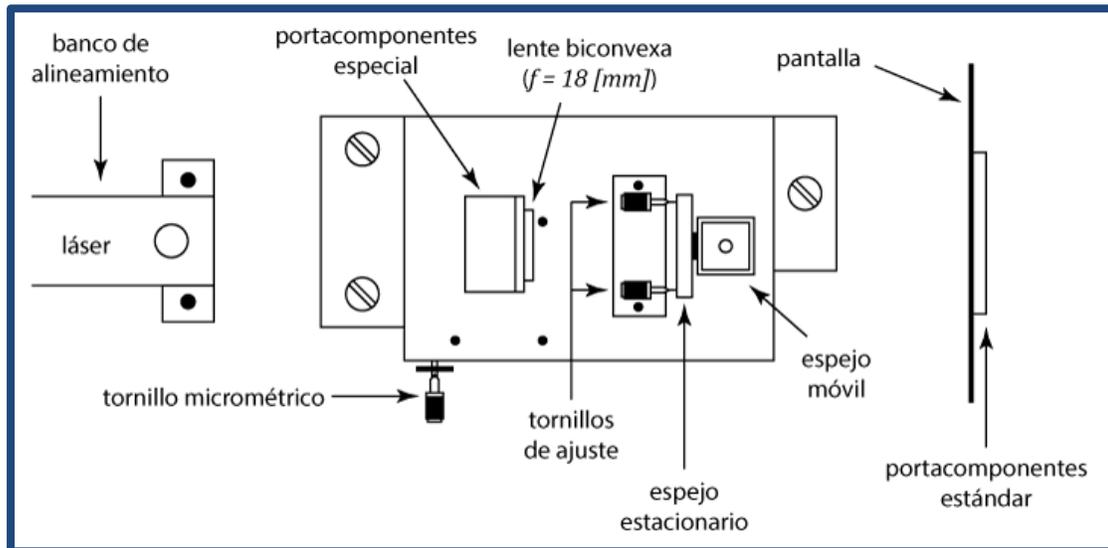


Figura 11.1 Montaje del interferómetro de Fabry–Perot

2. Al utilizar el láser deben observarse estrictamente las precauciones siguientes:
  - a) Nunca mirar directamente el haz luminoso del láser, ni sus reflexiones en espejos o superficies metálicas.
  - b) Colocar el láser en una posición tal, que se evite cualquier posibilidad de contacto visual accidental con el haz luminoso por parte de los integrantes de la propia brigada de trabajo o de los miembros de otras brigadas.
  - c) Apagar el láser antes de moverlo hacia otro dispositivo experimental.
3. Encienda el láser y dirija su haz a través del etalón, es decir, el sistema de espejos, hacia la pantalla.
4. Ajuste la inclinación del espejo estacionario hasta que se observe un sólo punto brillante en la pantalla. Para ello utilice los dos tornillos de ajuste ubicados (en posición horizontal) en la parte posterior del espejo.

#### ACTIVIDAD 1.

¿Qué se puede concluir acerca de la orientación relativa de los espejos del etalón, cuando el haz de láser que los atravesó incide en un solo punto de la pantalla?

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	75/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## EXPERIMENTO I. PATRÓN DE INTERFERENCIA.

- I.1 Por medio del portacomponentes especial coloque la lente biconvexa sobre la base del interferómetro a 6 [cm] aproximadamente del espejo estacionario, en la trayectoria del láser, como lo indica la figura 11.1.
- I.2 Observe el patrón de interferencia que se forma en la pantalla y acérquela o aléjela para que la visión del patrón resulte lo más nítida posible.

### ACTIVIDAD 2.

Elabore un bosquejo del patrón de interferencia observado.

### ACTIVIDAD 3.

Represente de manera esquemática el efecto del juego de espejos del interferómetro, en un rayo de luz cuyo ángulo de incidencia sea diferente a  $0^\circ$ .

### ACTIVIDAD 4.

Explique brevemente la función de la lente biconvexa en el dispositivo experimental.

## EXPERIMENTO II. LONGITUD DE ONDA DEL LÁSER.

- II.1 Gire suavemente el tornillo micrométrico. Si se halla asegurado, gire la tuerca que lo asegura; ésta es de color negro y se encuentra cerca de la base del tornillo.

Observe cómo al girar el tornillo micrométrico, las franjas del patrón de interferencia se desplazan, de tal manera que la posición original de una franja es ocupada sucesivamente por otras.

- II.2 El tornillo micrométrico controla, por medio de un sistema mecánico, el movimiento del espejo móvil, que lo aleja o lo aproxima al espejo estacionario.

El sistema está calibrado de modo que cada división en la escala del tornillo micrométrico representa un desplazamiento de un micrómetro ( $\mu m$ ) por parte del espejo móvil o, lo que es lo mismo, una vuelta completa del tornillo corresponde a un desplazamiento del espejo de 25 [ $\mu m$ ] ( $\pm 1\%$ ).

### ACTIVIDAD 5.

Con base en la relación matemática que existe entre el orden de interferencia ( $m$ ) de una franja dada, el ángulo de refracción ( $\theta_t$ ) de los rayos que originan dicha franja, la separación ( $d$ ) de los espejos del interferómetro y la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la radiación, justifique de manera concisa los cambios de posición de las franjas, observados en el inciso II.1.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Acústica y Óptica</b>	Código:	MADO-10
		Versión:	01
		Página	76/76
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	20 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Acústica y Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### ACTIVIDAD 6.

A partir de la relación matemática mencionada en el párrafo anterior, para el caso particular de  $\theta_t = 0$ , demuestre que el número de franjas ( $\Delta m$ ) que pasan por una posición dada en la pantalla, cuando la separación de los espejos experimenta un cambio ( $\Delta d$ ), guarda con la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la radiación la relación siguiente:

$$\lambda \Delta m = 2 \Delta d$$

II.3 Registre la lectura del tornillo y luego gírelo lentamente al tiempo que cuenta las franjas que pasan por una posición determinada en la pantalla. Cuente 20 o 30 franjas y registre la lectura nueva del tornillo micrométrico. Repita el proceso completo por lo menos 5 veces y anote sus resultados.

### ACTIVIDAD 7.

Resuma en una tabla los valores de  $\Delta m$  y  $\Delta d$  obtenidos por usted en el inciso II.3 y utilícelos para calcular la longitud de onda  $\lambda$ , de la luz utilizada en el experimento.

## 5. Conclusiones

## 6. Cuestionario previo

1. ¿Cuál es el principio de operación del interferómetro de Fabry–Perot?
2. ¿Qué parte del interferómetro de Fabry–Perot recibe el nombre de etalón?
3. ¿A cuál de los tipos de interferómetros, divisores de frente de onda o divisores de amplitud, pertenece el de Fabry–Perot?
4. En el interferómetro de Fabry–Perot y, en general, en la interferencia de haces múltiples, ¿qué relación existe entre la longitud de onda  $\lambda$  de la radiación, la separación  $d$  entre las superficies reflectoras y el orden de interferencia  $m$ ?

## 7. Bibliografía

- Hecht E., “ÓPTICA”, Editorial Adisson – Wesley Iberoamericana, 3ª. Edición, España, 2000
- Smith F.G. y Thompson J.H., “ÓPTICA”, Editorial Limusa, México, 1979.