

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	1/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Manual de prácticas del laboratorio de Fundamentos de Óptica

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Dr. Heriberto Aguilar Juárez	M. en A. M. del Carmen Maldonado Susano	Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales	2 de agosto de 2019
Ing. Martín Bárcenas Escobar	Q. Antonia del Carmen Pérez León		
Fis. Salvador E. Villalobos Pérez	Dr. Heriberto Aguilar Juárez		
Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales	Fis. Salvador E. Villalobos Pérez		
	Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales		

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	2/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de 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. Reflexión y Refracción.....</b>	<b>9</b>
<b>Práctica 3. Lentes .....</b>	<b>20</b>
<b>Práctica 4. Interferencia .....</b>	<b>27</b>
<b>Práctica 5. Difracción .....</b>	<b>35</b>
<b>Práctica 6. Polarización de la luz.....</b>	<b>41</b>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	3/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica 1. Movimiento ondulatorio

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	4/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de 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 [m] de longitud  
 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

### Para el profesor

luz estroboscópica  
 osciloscopio y conector BNC  
 balanza digital para medir la masa de la cuerda  
 dos cables banana-banana

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	5/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. ONDAS LONGITUDINALES.

Conecte el generador de funciones al tomacorriente y mediante dos cables banana-banana, conecte la bocina al generador.

Encienda el generador de funciones, seleccione la señal senoidal y ajuste la perilla de rango de frecuencia en el valor más pequeño.

Gire la perilla 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 en la bocina al variar la frecuencia de la señal.

#### ACTIVIDAD 2.

Realice un diagrama de la señal anterior, con sus respectivas características.

#### ACTIVIDAD 3.

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	6/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## EXPERIMENTO II. ONDAS TRANSVERSALES ESTACIONARIAS.

Arme el dispositivo experimental de la figura 1.1 y genere una onda estacionaria transversal.

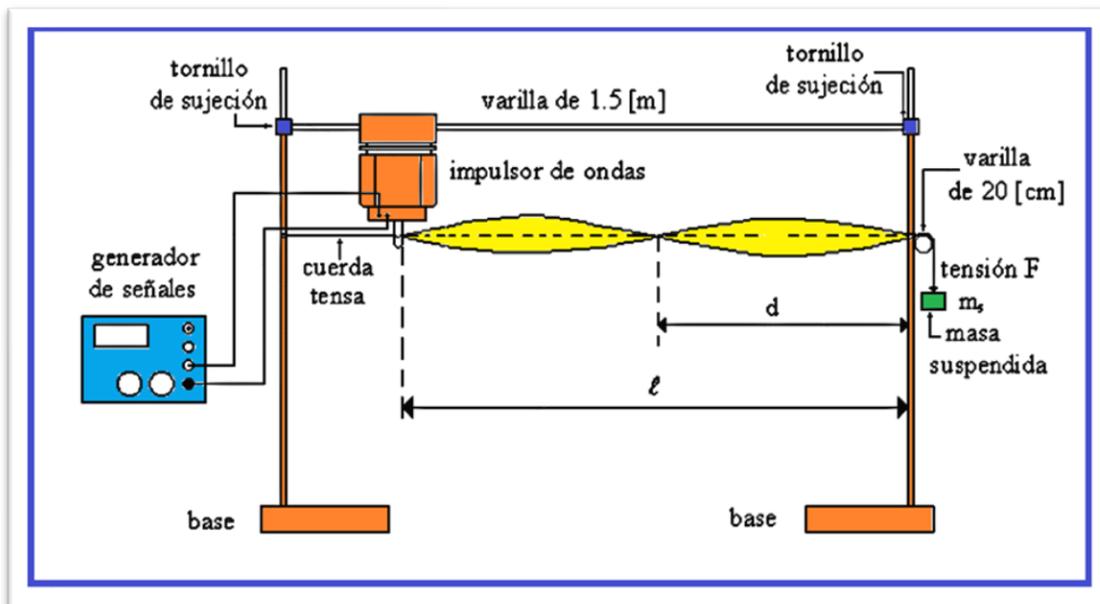


Figura 1.1. Dispositivo experimental para generar una onda estacionaria.

### ACTIVIDAD 4.

Dibuje la onda estacionaria transversal oscilando en la frecuencia fundamental.

### ACTIVIDAD 5.

Calcule la densidad lineal de la cuerda, en unidades del SI.

Masa de la cuerda	Longitud de la cuerda	Densidad lineal

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	7/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

**ACTIVIDAD 6.**

Llene la siguiente tabla con sus respectivas unidades en el SI.

Modos de vibración	Tensión de la cuerda	Rapidez de propagación	Distancia entre nodos consecutivos	Frecuencia de vibración.
1				
2				
3				
4				
5				
6				

**ACTIVIDAD 7.**

¿Cómo son las frecuencias con respecto a la frecuencia del modo fundamental (modo 1)?

**ACTIVIDAD 8.**

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

**ACTIVIDAD 9.**

¿Qué relación existe entre las longitudes de onda de los modos de vibración con respecto a la longitud de onda del modo fundamental?

**ACTIVIDAD 10.**

¿Cómo varía la rapidez de propagación en cada uno de los modos de vibración?

**5. Conclusiones**

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	8/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 6. Cuestionario

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.
- 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 Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	9/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica 2. Reflexión y Refracción

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	10/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de 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	Fuente de láser de He-Ne de 0.5 [mW]	No dirigir el haz sobre superficies reflejantes o directamente al ojo humano, ya que puede causar severos daños en la vista.

## 2. Objetivos de aprendizaje

1. Determinar la ley de la reflexión.
2. Aplicar la ley de Snell para determinar el índice de refracción del acrílico.
3. 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 láser de He-Ne de 0.5 [mW]  
 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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	11/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. LEY DE LA REFLEXIÓN.

Disponga el equipo como se muestra en la figura 2.1. Realice los cuatro ajustes que se mencionan a continuación:

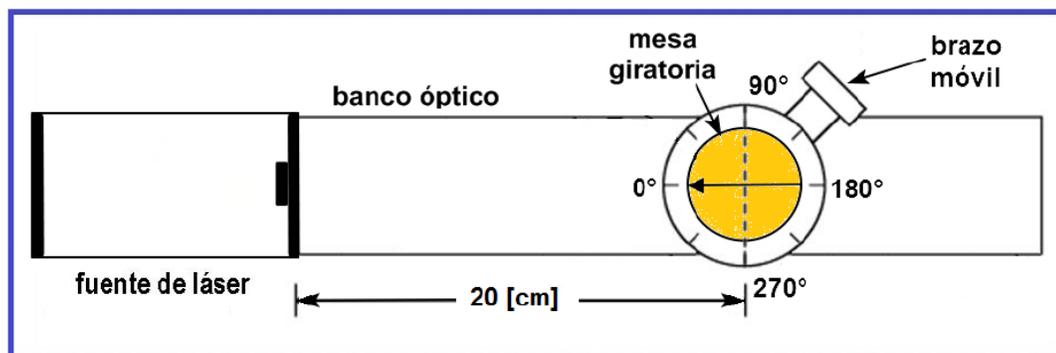
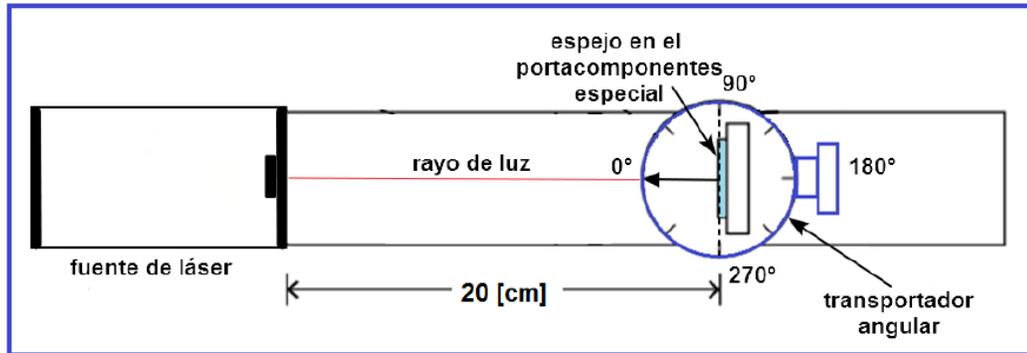


Figura 2.1 Dispositivo experimental.

- Sobre el banco óptico, con la escala graduada hacia el frente, coloque la fuente de láser sin encenderla, de manera que su rayo apunte hacia la pared más próxima para evitar incidir en algún compañero del grupo.
- Coloque sobre el banco óptico, a 20 [cm] aproximadamente de la fuente de láser, el transportador angular, alineándolo longitudinalmente con el banco en la dirección 0° y 180° (ver figura 2.1)
- Coloque sobre la mesa giratoria, del transportador angular, el portacomponentes especial (el de menor altura) con el espejo plano adherido. Hacer coincidir la línea de dirección 90° y 270° con el plano del espejo, a su vez quedando de frente a la fuente de láser, como se muestra en la figura 2.2

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	12/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			



**Figura 2.2 Dispositivo experimental.**

- d) Encienda el láser y verifique el alineamiento del transportador angular y del espejo; como el rayo de luz incide sobre el espejo con un ángulo de cero grados, determinar el ángulo con que se refleja, recordar que los ángulos de incidencia, de reflexión y de transmisión se miden con respecto a la normal de la muestra en el punto de incidencia y dichos rayos y la normal son coplanares.

Gire  $10^\circ$  la mesa móvil del transportador, de manera que ahora el ángulo de incidencia  $\theta_i$  sea de  $10^\circ$ , gire el brazo móvil del transportador angular en el cual colocamos la pantalla con escala milimétrica para localizar el rayo reflejado por el espejo.

Determine el ángulo entre los rayos incidente y reflejado, recuerde que:

$$\varphi = \theta_i + \theta_r$$

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	13/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

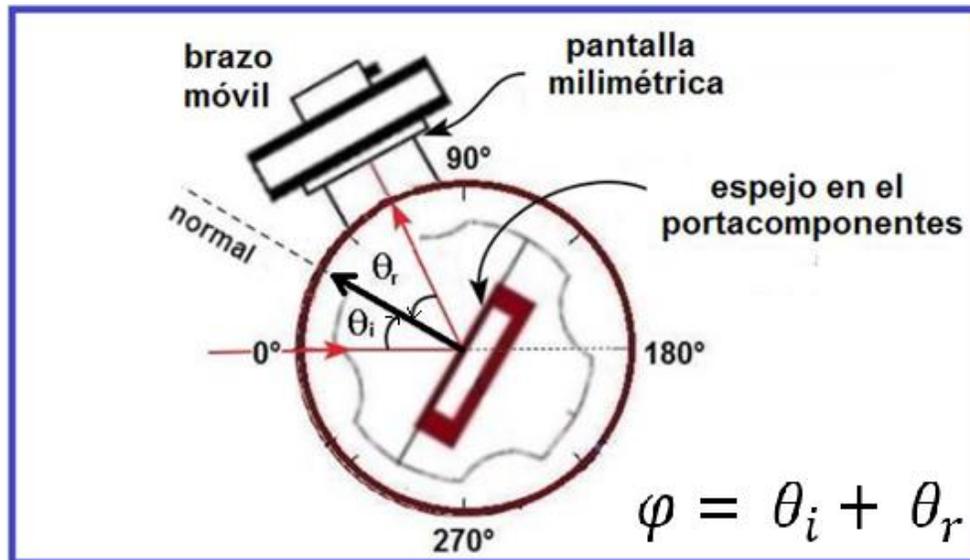


Figura 2.3 rayo incidente y rayo reflejado.

**ACTIVIDAD 1.**

Registre el ángulo de incidencia  $\theta_i$ , el ángulo  $\varphi$  y el de reflexión ( $\theta_r = \varphi - \theta_i$ ).

$\theta_i$ [°]	$\varphi$ [°]	$\theta_r$ [°]
0		
10		
20		
30		
40		
50		
60		

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	14/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### ACTIVIDAD 2.

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

### EXPERIMENTO II. LEY DE LA REFRACCIÓN.

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.

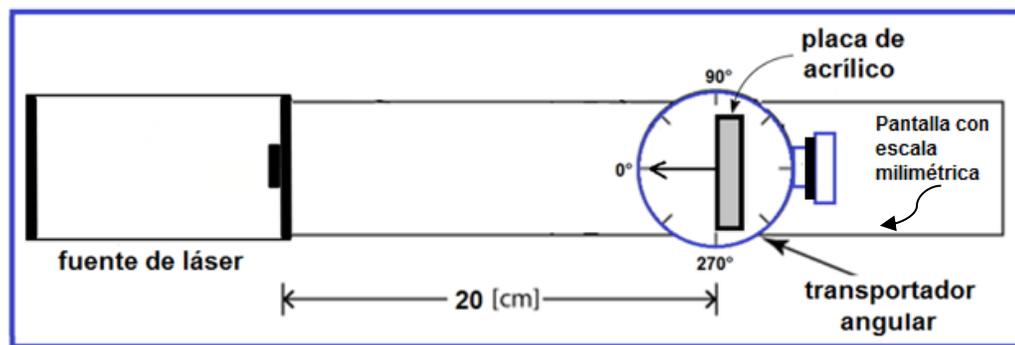


Figura 2.4 Dispositivo con la placa de acrílico.

### ACTIVIDAD 3.

Con la ayuda del calibrador con vernier mida el espesor “t” del acrílico y registrarlo.

$$t = \text{_____} [\text{mm}]$$

### ACTIVIDAD 4.

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

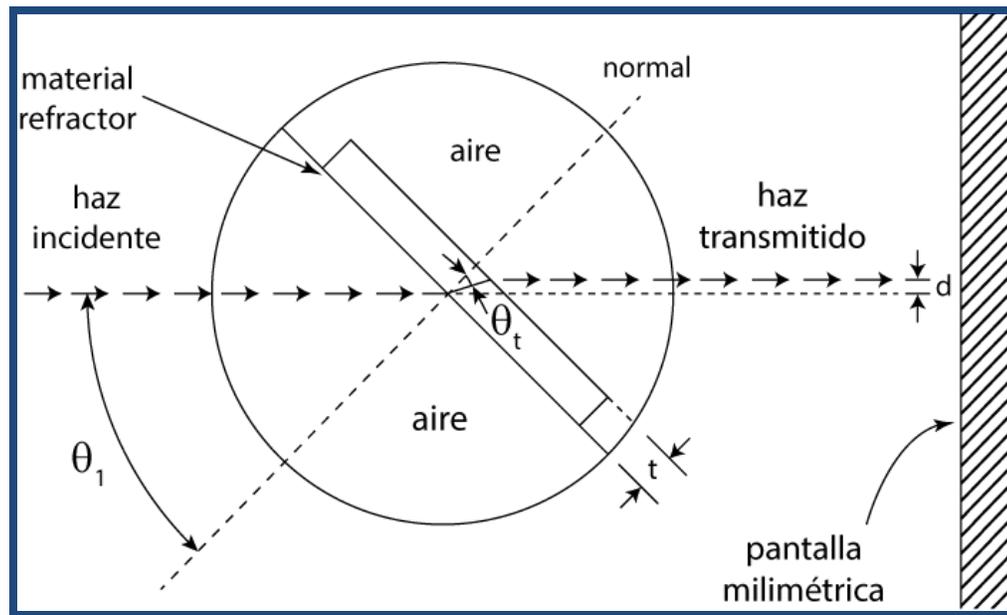
Gire la mesa giratoria del transportador angular un ángulo de  $45^\circ$ , gire el brazo móvil en sentido horario y antihorario, recorriendo el perímetro del transportador angular buscando el haz reflejado y el transmitido.

### ACTIVIDAD 5.

¿Cuántos haces de luz observa? Explique por qué.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	15/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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 2.5



**Figura 2.5 Desplazamiento lateral del haz transmitido.**

Repita el proceso anterior para los ángulos de incidencia  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$  y  $35^\circ$ , y mida la distancia  $d$ . Realice este experimento dos veces más, como mínimo, para los ángulos elegidos.

**ACTIVIDAD 6.**

Registre 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:

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	16/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

$\theta_i$ [°]	$d$ [mm]	$d/t$ [1]	$\theta_t$ [°]
35			
40			
45			
50			
55			
60			
65			

**ACTIVIDAD 7.**

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

Concentre la información en la tabla siguiente:

$\theta_i$ [°]	$\theta_t$ [°]	$\text{sen } \theta_i$	$\text{sen } \theta_t$	$n$
35				
40				
45				
50				
55				
60				
65				

$$n_{\text{acrílico}} = \underline{\hspace{2cm}} [ \quad ]$$

$$n \pm \Delta n = \underline{\hspace{2cm}} [ \quad ]$$

Recuerde que el índice de refracción del aire es  $n_{\text{aire}} = 1.00029 (\approx 1)$ .

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	17/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### EXPERIMENTO III. REFLEXIÓN INTERNA TOTAL.

Sustituya la placa de acrílico por el prisma de vidrio y coloque el prisma como se muestra en la figura 2.6.

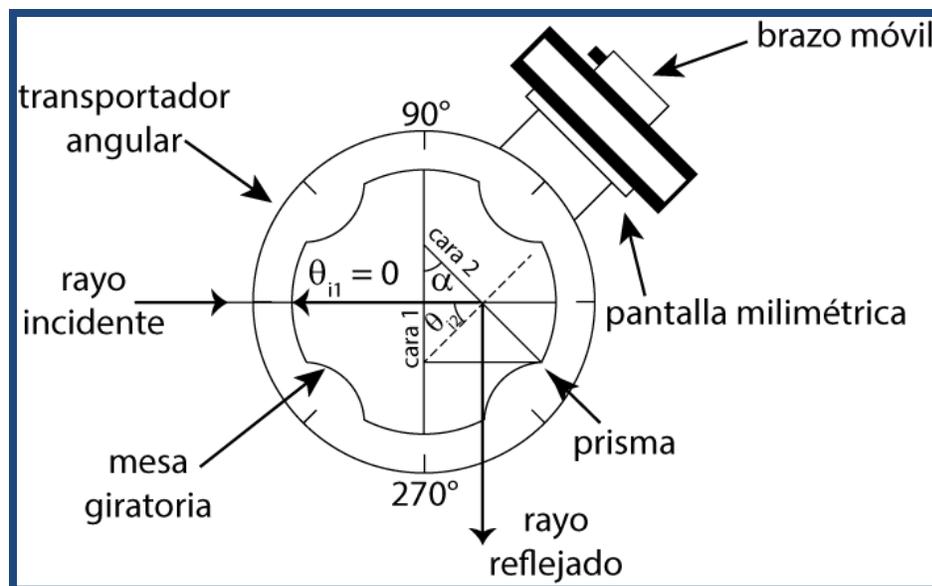


Figura 2.6 Reflexión interna total en prisma;  $\theta_{i2} > \theta_c$ .

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

#### ACTIVIDAD 8.

Conociendo el ángulo de incidencia  $\theta_{i2}$  ¿cómo se puede determinar el valor del ángulo crítico? En su respuesta muestre la construcción geométrica necesaria.

#### ACTIVIDAD 9.

Determine el ángulo crítico para la interfaz vidrio-aire, es decir cuando  $\theta_{i2} = \theta_c$ .

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	18/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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

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.

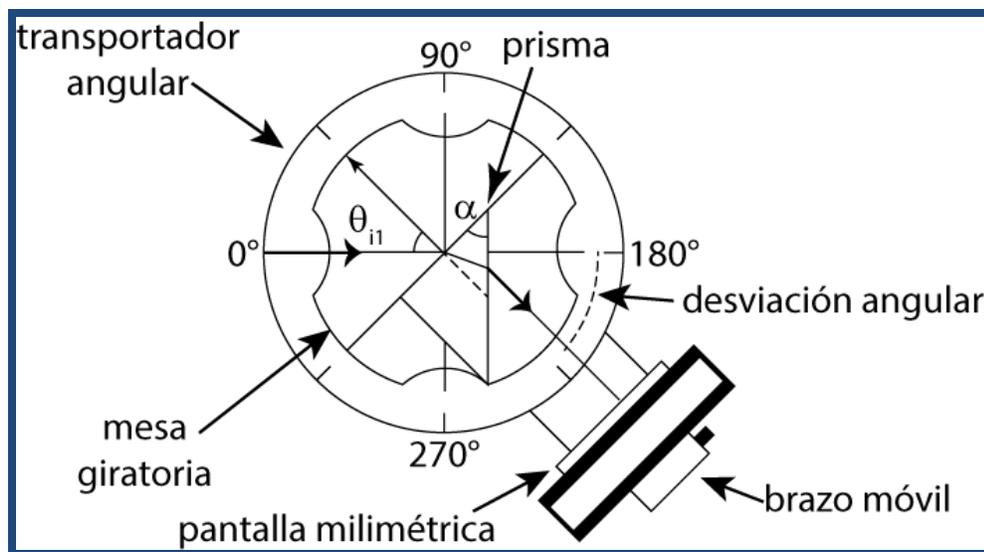


Figura 2.7 Desviación angular  $\delta$ .

#### ACTIVIDAD 10.

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 11.

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?

## 5. Conclusiones

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	19/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 6. Cuestionario

1. ¿Cómo se definen los ángulos de incidencia, reflexión y transmisión?
2. ¿Qué es el índice de refracción de una sustancia y cuáles son 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 ( $\alpha$ ) 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 Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	20/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica 3. Lentes

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	21/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de 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

1. Determinar las distancias focales de lentes esféricas.
2. Observar las características de las imágenes producidas por las lentes esféricas.
3. 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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	22/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Desarrollo

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

Prepare el dispositivo experimental que se muestra en la figura 3.1 Fije el difusor sobre la superficie frontal de la fuente y coloque la figura transparente, montada en un porta-componentes, tan próxima al difusor como sea posible. De preferencia haga que la flecha graduada apunte hacia arriba.

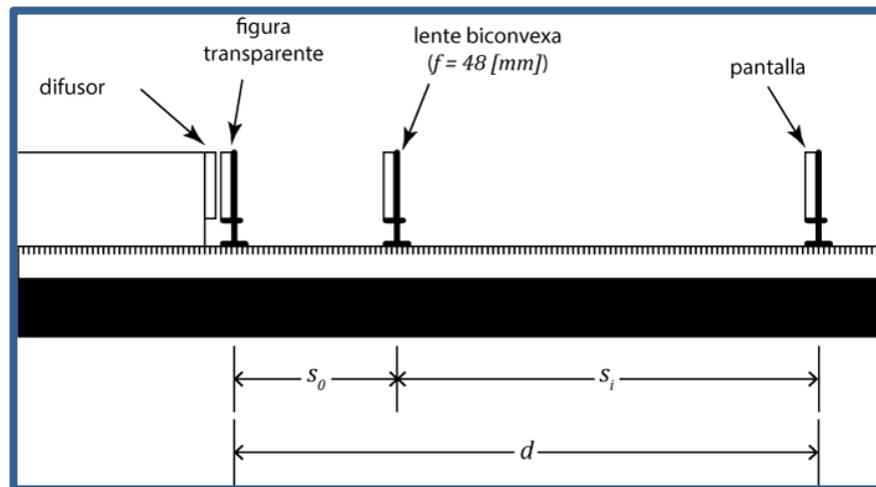


Figura 3.1 Dispositivo experimental

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:

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	23/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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.

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.

#### 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	$> 1$ $= 1$ $< 1$
$s_0 > 2f$				
$f < s_0 < 2f$				
$s_0 = f$				
$s_0 < f$				

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	24/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### 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.

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

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

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. Calcule 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 3.2.

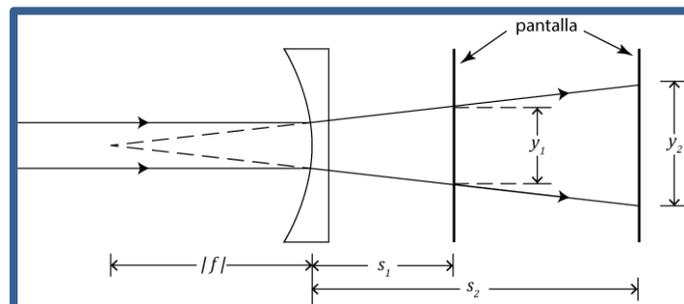


Figura 3.2. Diagrama del dispositivo experimental.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	25/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

#### ACTIVIDAD 4.

Justifique la expresión anterior para  $f$ .

Prepare el dispositivo experimental de la figura 3.3 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.

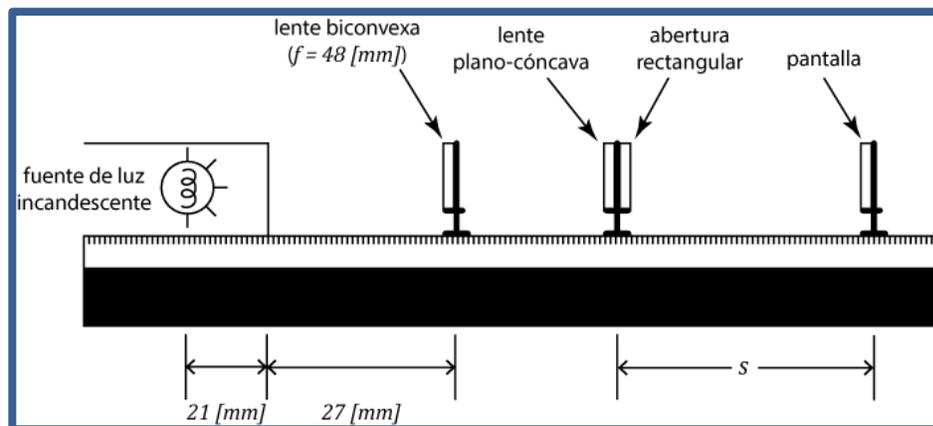


Figura 3.3 Dispositivo experimental.

#### ACTIVIDAD 5.

Explique brevemente por qué la lente biconvexa ubicada tiene el efecto de permitir que la lente plano cóncava forme imágenes reales del filamento incandescente.

Coloque la lente biconvexa a la distancia de la lámpara indicada en la figura 3.3. 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 Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	26/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 6. Cuestionario

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 Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	27/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica 4. Interferencia

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	28/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de 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. Reproducir el experimento de Young para observar el fenómeno de interferencia por división de frente de onda.
2. 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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	29/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. EXPERIMENTO DE YOUNG.

Arme el dispositivo experimental que se muestra en la Figura 4.1. Coloque entre la fuente de luz y las rendijas dobles, con la etiqueta del lado del observador, un portacomponentes estándar con una abertura rectangular y las rendijas sencillas

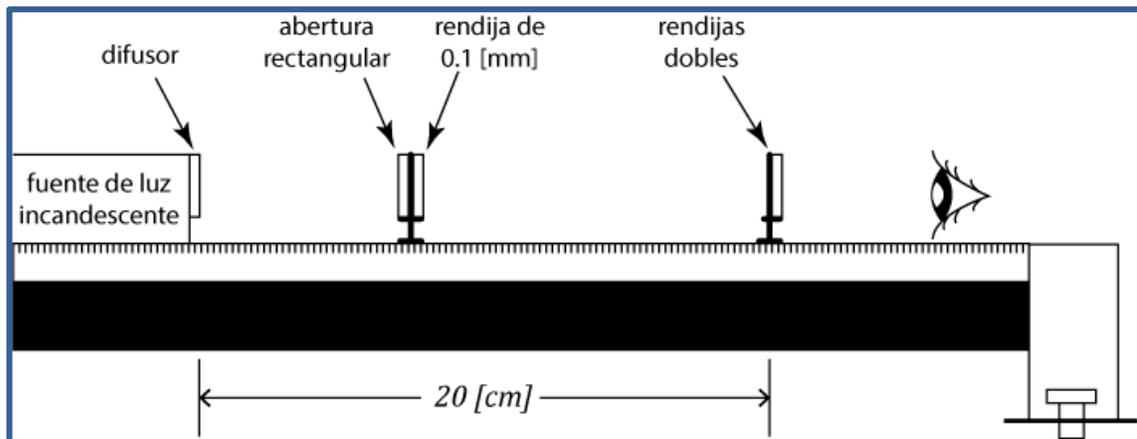


Figura 4.1 Dispositivo experimental.

Coloque la rendija sencilla de 0.1 [mm] de ancho al centro del porta-componentes 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.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	30/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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.

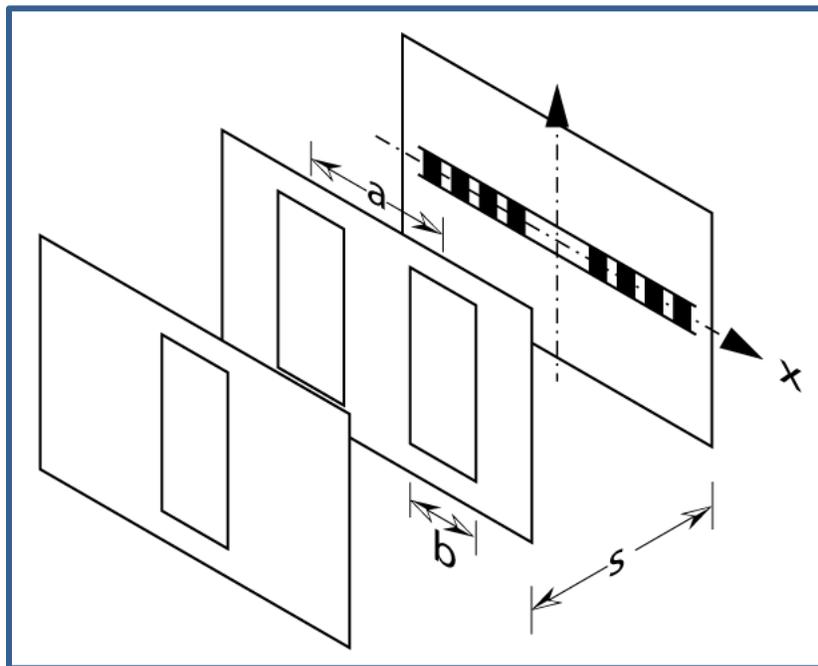


Figura 4.2 Representación esquemática de las rendijas.

### 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**).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	31/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

**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**

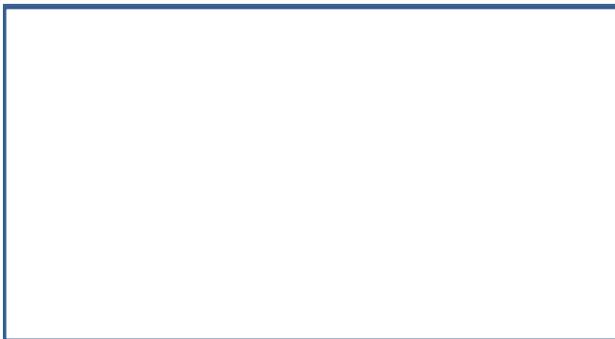


**bosquejo para las rendijas B**

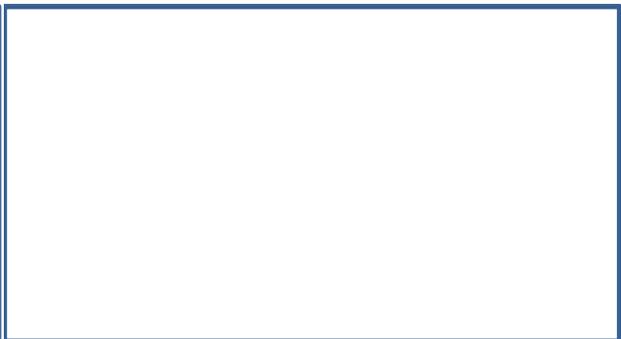
**ACTIVIDAD 3.**

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 Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	32/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de 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.

Retire la fuente de luz incandescente del banco óptico y en su lugar coloque el láser. Monte las lentes en los porta-componentes para armar el ensanchador de haz mostrado en la figura 4.3.

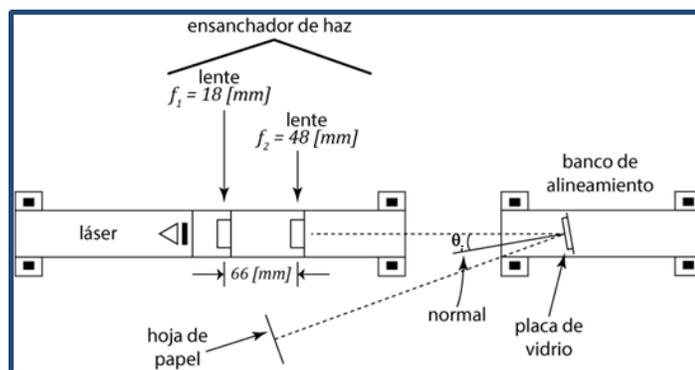


Figura 4.3 Interferencia por reflexiones múltiples.

Coloque la placa de vidrio en un porta-componentes y éste, a su vez en el banco de alineamiento para el láser.

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 Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	33/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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**

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	34/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 6. Cuestionario

1. Con respecto a las ondas electromagnéticas, ¿a qué se refieren los conceptos siguientes: interferencia, interferencia constructiva e interferencia destructiva?
2. Describa brevemente el experimento de Young.
3. 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?
4. 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?
5. ¿Cuál es la diferencia entre los dos tipos de interferencia observados: por división de frente de onda y por división de amplitud?
6. ¿A cuál de los tipos de interferencia mencionados en la pregunta 5, corresponden:
  - a) el que se utiliza en el experimento de Young?
  - b) los que producen interferencia por reflexiones múltiples?

## 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 Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	35/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica 5. Difracción

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	36/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de 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

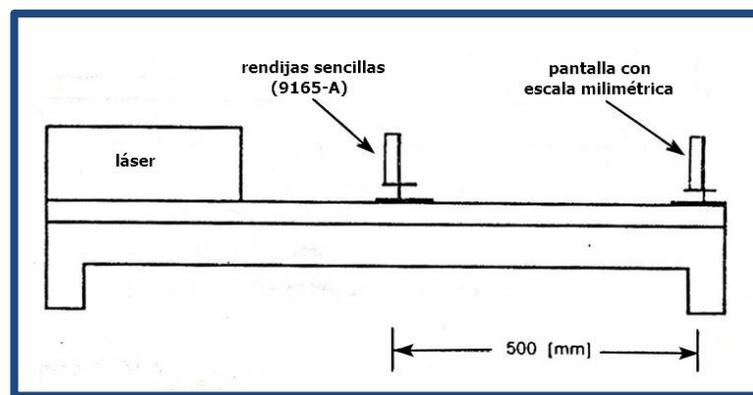
láser de He - Ne de 0.5 [mW]  
 banco óptico  
 tres portacomponentes estándar  
 aberturas circulares [9118]  
 rendijas sencillas [9165 - A]  
 rendijas dobles [9165 - B]  
 pantalla con escala milimétrica  
 lente biconvexa ( $f = 252$  [mm])

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	37/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. DIFRACCIÓN DE FRESNEL.

Arme el dispositivo que se muestra en la figura 5.1 haga incidir el haz del láser en cada una de las rendijas sencillas y observe los patrones de difracción generados.



**Figura 5.1** Dispositivo experimental para observar la difracción Fresnel.

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.

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	38/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### 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?

## EXPERIMENTO II. DIFRACCIÓN DE FRAUNHOFER.

Coloque nuevamente las rendijas sencillas y además ponga la lente biconvexa ( $f = 252 [mm]$ ) 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 5.2.

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

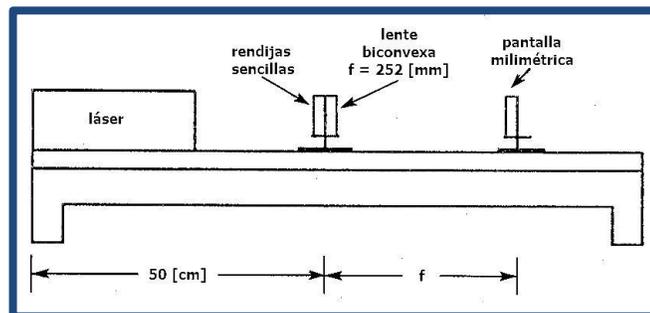


Figura 5.2 Dispositivo experimental para observar la difracción de Fraunhofer.

### ACTIVIDAD 4.

Bosqueje los patrones de difracción como se pide en la actividad 1. Sustituya las rendijas sencillas por las dobles y haga incidir el haz en cada par de ellas.

### ACTIVIDAD 5.

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	39/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### ACTIVIDAD 6.

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

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

Arme el dispositivo mostrado en la figura 5.3, 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.

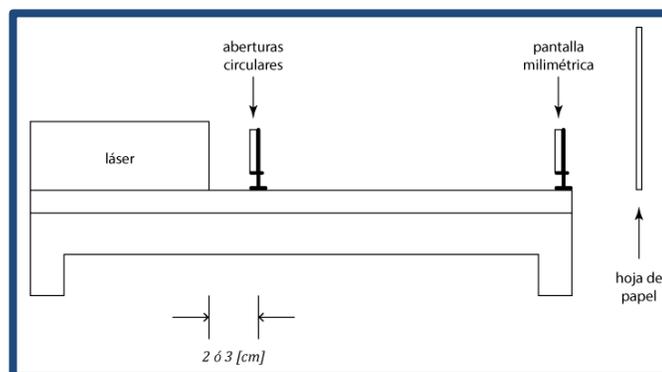


Figura 5.3 Dispositivo experimental para observar el disco y los anillos de Airy

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?

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	40/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. Conclusiones

## 6. Cuestionario

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 Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	41/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica 6. Polarización de la luz

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	42/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de 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 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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	43/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Desarrollo

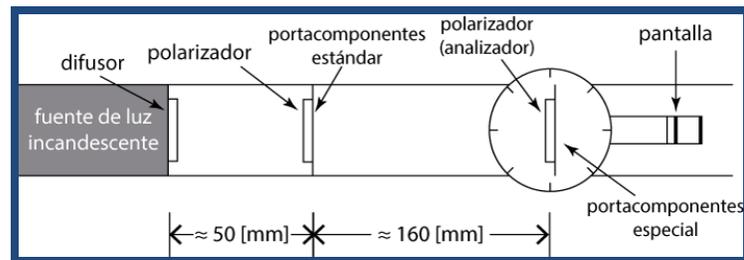
### EXPERIMENTO I POLARIZADORES DICROICOS.

Monte el dispositivo experimental de la figura 6.1, 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.

Usando como analizador el otro polarizador, como se muestra en la figura 6.1, observe cómo varía la intensidad de la luz en la pantalla al girar este alrededor de su eje óptico.

#### ACTIVIDAD 1.

Explique a qué se deben las variaciones de intensidad observadas.



**Figura 6.1 Dispositivo experimental**

Con el dispositivo experimental de la figura 6.1, ajuste los dos polarizadores de tal manera que se hallen perpendiculares entre sí y no se transmita luz a la pantalla.

Con esta configuración, inserte un tercer polarizador entre los dos primeros (puede fijarlo a la cara posterior del porta-componentes 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.

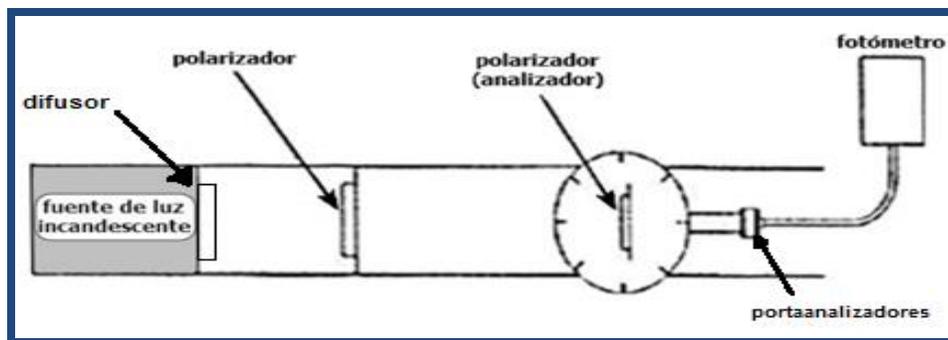
	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	44/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## EXPERIMENTO II. LEY DE MALUS.

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 porta-analizadores del brazo móvil del transportador angular, como lo indica la figura 6.2

Procure que el extremo de la sonda quede a ras de la superficie interior del porta-analizadores.



**Figura 6.2 Fotómetro y polarizadores**

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.

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  $\theta$ .

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	45/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### ACTIVIDAD 3.

Registre en la tabla los valores observados calculados a partir de la ley de Malus. Realice una gráfica ( $\bar{I}(\theta)/I(0)$  vs  $\theta$ ) y comente sus resultados.

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	46/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### EXPERIMENTO III. ÁNGULO DE BREWSTER.

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 6.3.

Gire el polarizador hasta que su eje de transmisión quede en dirección horizontal y coloque en la cara posterior del mismo porta-componentes la abertura rectangular en posición vertical y la pantalla con escala milimétrica en la cara anterior del primer porta-analizadores del brazo móvil.

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.

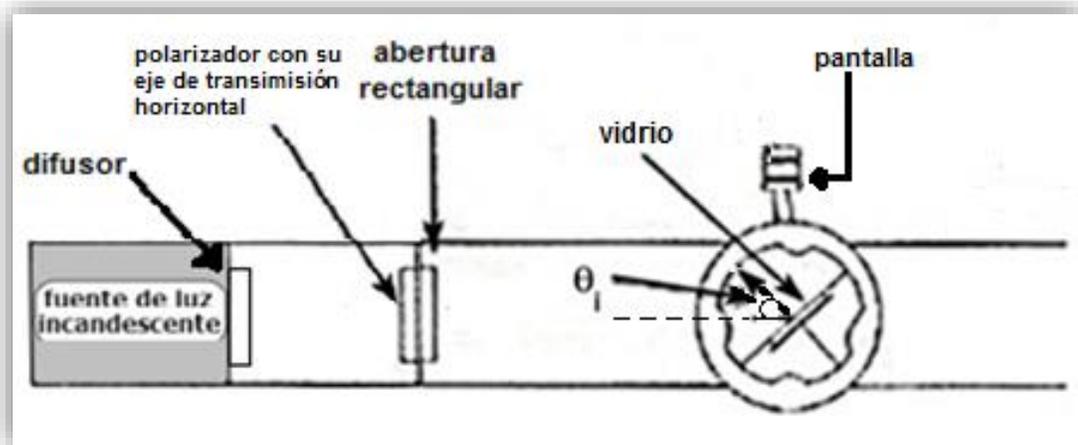


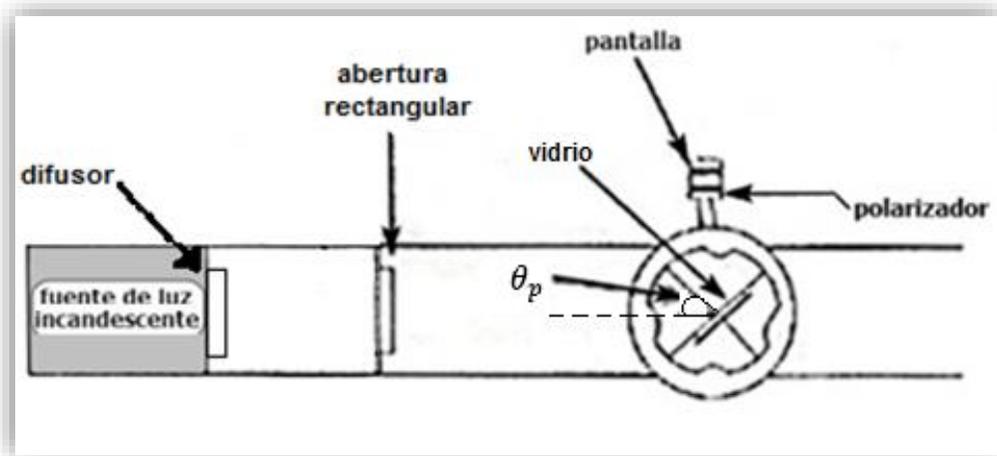
Figura 6.3 Dispositivo experimental para la determinación del ángulo de Brewster.

#### ACTIVIDAD 4.

Registre el valor del ángulo de incidencia con mínima intensidad reflejada y explique por qué se afirma que éste es el ángulo de Brewster.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	47/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Sin modificar la orientación de la placa de vidrio, traslade el polarizador al primer porta-analizador, a fin de que sirva como analizador de la luz reflejada en el vidrio; ubique la pantalla en el segundo porta-analizador (figura 6.4).



**Figura 6.4 Polarización por reflexión.**

- 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.
- Analice el haz transmitido a través de la placa de vidrio en la misma forma que lo hizo anteriormente 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 la actividad anterior y dé una explicación breve de ellos, por ejemplo, apoyada en gráficas de la reflectancia y la transmitancia.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Fundamentos de Óptica</b>	Código:	MADO-11
		Versión:	03
		Página	48/48
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	2 de agosto de 2019
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fundamentos de Óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. Conclusiones

## 6. Cuestionario

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?
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 FISICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA” Vol. 2; Editorial Pearson; 13ª edición; México, 2014.