
	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	1/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


# Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y Óptica (modalidad a distancia)

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Dr. Heriberto Aguilar Juárez Ing. Martín Bárcenas Escobar M.I. Juan Carlos Cedeño Vázquez Ing. Juan Manuel Gil Pérez Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales Ing. Francisco Miguel Pérez Ramírez	<b>M.I. Juan Carlos Cedeño Vázquez</b> <b>M.I. Rigel Gámez Leal</b> <b>M.I. Mayverena Jurado Pineda</b> <b>M.I. Adriana Yoloxóchil Jiménez Rodríguez</b> <b>M. en A. M. del Carmen Maldonado Susano</b> <b>Q. Antonia del Carmen Pérez León</b> <b>Dr. Heriberto Aguilar Juárez</b> <b>Fis. Salvador E. Villalobos Pérez.</b> <b>Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales</b>	<b>Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales</b>	<b>27 de agosto de 2021</b>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	2/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


## Índice

Práctica 1 Distribución de carga eléctrica y campo eléctrico.....	<a href="#">3</a>
Práctica 2. Conexiones con capacitores.....	<a href="#">12</a>
Práctica 3. Leyes de Kirchhoff.....	<a href="#">20</a>
Práctica 4. Fundamentos del magnetismo.....	<a href="#">27</a>
Práctica 5. Inducción electromagnética.....	<a href="#">36</a>
Práctica 6. Transformador.....	<a href="#">44</a>
Práctica 7. Movimiento ondulatorio.....	<a href="#">50</a>
Práctica 8. Reflexión y refracción.....	<a href="#">57</a>
Práctica 9. Lentes.....	<a href="#">66</a>
Práctica 10. Sistemas de lentes.....	<a href="#">72</a>
Práctica 11. Polarización de la luz.....	<a href="#">83</a>
Práctica 12. Interferencia.....	<a href="#">90</a>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	3/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 1

## Distribución de carga eléctrica y campo eléctrico

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	4/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Objetivos de aprendizaje

### I. Objetivo general:

El alumno conocerá la forma de distribución de la carga eléctrica en cuerpos conductores. Comprenderá el concepto de campo eléctrico y podrá visualizar diferentes configuraciones de las líneas de dicho campo.

### II. Objetivos específicos:

- Conocer el modo de la distribución de la carga eléctrica en superficies metálicas.
- Observar el comportamiento del campo eléctrico nulo en el interior de cuerpos metálicos cerrados.
- Medir indirectamente la carga eléctrica empleando el electrómetro.
- Deducir algunas propiedades de las líneas de campo eléctrico.


## 2. Introducción

Las cargas eléctricas no necesitan de ningún medio material para influir entre ellas, por tanto, las fuerzas asociadas a ellas se les considera como fuerzas de acción a distancia o fuerzas de campo. Esta es la razón por la que se recurre al concepto de campo eléctrico para facilitar la descripción en términos físicos, de la influencia que una o más cargas ejercen sobre el espacio que les rodea.

El concepto de campo surge ante la necesidad de explicar la forma de interacción entre cuerpos en ausencia de contacto físico y sin medios de sustentación para las posibles interacciones. La acción a distancia se explica entonces, mediante efectos provocados por la entidad causante de la interacción, sobre el espacio mismo que la rodea, permitiendo asignar a dicho espacio propiedades medibles. Así, será posible hacer corresponder a cada punto del espacio, valores que dependerán de la magnitud de la propiedad del cuerpo que provoca la interacción y de la ubicación del punto que se considera.

El campo eléctrico representa en cada punto del espacio afectado por una carga, una propiedad local asociada a dicho punto. Una vez conocido el campo eléctrico en un punto no es necesario saber qué lo origina para calcular la fuerza eléctrica sobre una carga.

Además de las fuerzas y campos eléctricos debidos a cargas puntuales, también es posible asociarlos a distribuciones continuas de carga, a lo largo de una línea, sobre una superficie o en un volumen.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	5/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### 3. Herramienta digital

#### [Generador Van de Graaff](#)

[Vídeo P2A1](#)

[Vídeo P2A2](#)

[Vídeo P2A3](#)

[Vídeo P2A4](#)

### 4. Equipo y material en el laboratorio



Foto 1. Base y soportes de acrílico.

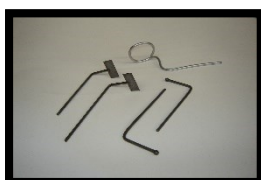


Foto 2. Juego de electrodos metálicos.



Foto 3. Fuente de luz.



Foto 4. Dos cables para diferencias de potencial elevadas.



Foto 5. Recipiente de vidrio con aceite y semillas de pasto.



Foto 6. Muestreador.



Foto 7. Generador de Van de Graaff.



Foto 8. Soporte universal, tornillo de sujeción y varilla de aluminio.



Foto 9. Cilindro metálico.



Foto 10. Esfera de unícel con hilo.



Foto 11. Cilindro de cobre.



Foto 12. Electrómetro.ma



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	6/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Foto 13.  
Punta atenuadora.



Foto 14.  
Cilindro metálico con  
terminación en forma de  
cono.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	7/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. Desarrollo

### Actividad 1. Distribución de carga en cuerpos conductores

Con simulador propuesto comprueba que la carga eléctrica se distribuye uniformemente en el casco del generador de Van de Graaff.

#### [Generador Van de Graaff](#)

Adicionalmente verifique cómo se distribuye la carga en el cilindro metálico con terminación en forma de cono, por medio del vídeo del siguiente enlace:

Observa el [vídeo P2A1](#)

#### Material y equipo

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| a. Generador de Van de Graaff.   | d. Cilindro metálico con terminación en forma de cono. |
| b. Dos cables para alto voltaje. |  |
| c. Cilindro metálico.            |  |


En el siguiente espacio realiza un esquema que indique la forma de la distribución de carga para cada caso.

Conclusiones del experimento

---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	8/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

**Actividad 2. Identificación del tipo de carga y medición del potencial eléctrico del generador de Van de Graaff**

Observa el [vídeo P2A2](#).

Comprueba el tipo de carga existente en el generador de Van de Graaff, así como el potencial eléctrico que produce.

**Material y equipo**

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Generador de Van de Graaff.</li> <li>b. Electrómetro y cable BNC con caimanes.</li> <li>c. Punta atenuadora (relación 1:1000).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>d. Soporte universal, tornillo de sujeción y varilla de aluminio.</li> </ul> |
|---|---|

En el siguiente espacio escribe mediante un diagrama tus observaciones y resultados.

Conclusiones del experimento

---




---



---



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	9/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### Actividad 3. Medición de la carga eléctrica

Determina la **magnitud de la carga eléctrica de la esfera** de unigel, previamente cargada por contacto con el generador de Van de Graaff, mostrada en el [vídeo P2A3](#).

Nota: Las mediciones de carga realizadas con el electrómetro son indirectas, por tanto, el valor de la carga se obtiene mediante la siguiente relación:

$$V = \frac{Q}{C}$$

Donde:  $Q=CV$

C: constante dada por el fabricante,  $C = 27[\text{pF}]$ .

V: diferencia de potencial leída en el electrómetro, en volts.

### Material y equipo

- a. Generador de Van de Graaff.
- b. Electrómetro y cable BNC con caimanes.
- c. Esfera de unigel con hilo.

En el siguiente espacio anota tus resultados.

Conclusiones del experimento


---



---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	10/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

#### Actividad 4. Campo eléctrico y líneas de fuerza

Observa el [vídeo P2A4](#). Visualiza y demuestra las propiedades de las líneas de fuerza de campo eléctrico en los casos siguientes:

- a) Una carga puntual.
- b) Dos cargas puntuales de diferente signo.
- c) Dos superficies planas.
- d) Un anillo abierto.
- e) Un cilindro.

Con el simulador propuesto [Generador Van de Graaff](#) podrás visualizar los incisos a, b, c y e.

#### Material y equipo

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| a. Base y soportes de acrílico.                         | d. Generador de Van de Graaff.    |
| b. Recipiente de vidrio con aceite y semillas de pasto. | e. Dos cables para alto voltaje.  |
| c. Cilindro de cobre.                                   | f. Fuente de luz.                 |
|   | g. Juego de electrodos metálicos. |

En el siguiente espacio dibuja la representación esquemática para cada caso.

Conclusiones del experimento


---



---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	11/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


## 6. Referencias

- ❖ Jaramillo, G. A., Alvarado, A. A. (2008) *Electricidad y Magnetismo*. (Reimpresión 2008.) México: Trillas.
- ❖ Serway R., Jewett J. (2009) *Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Vol. 2.* (7a edición.) México: Cengage Learning.
- ❖ Young H. D., Freedman R. A., Sears y Zemansky (2013) *Física universitaria con física moderna. Vol.2.* (13a edición) México: Pearson.
- ❖ Tipler, P. A. (2003) *Física para la ciencia y la tecnología. Vol. 2.* (6a edición.) España: Reverté.
- ❖ Resnick R., Halliday D., et al. (2011) *Física. Vol. 2*, México: Patria.
- ❖ Vascak V. (julio de 2020) Van de Graaff Generator Recuperado de [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=elpole\\_vandegraff&](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=elpole_vandegraff&)
- ❖ Laboratorio de Electricidad y Magnetismo FI UNAM (Septiembre de 2020) P2A1 Recuperado de <https://laboratorioeym.blogspot.com/2020/09/video-practica-2-actividad-1.html>
- ❖ Laboratorio de Electricidad y Magnetismo FI UNAM (Septiembre de 2020) P2A2 Recuperado de <https://laboratorioeym.blogspot.com/2020/09/video-practica-2-actividad-2.html>
- ❖ Laboratorio de Electricidad y Magnetismo FI UNAM (Septiembre de 2020) P2A3 Recuperado de <https://laboratorioeym.blogspot.com/2020/09/video-practica-2-actividad-3.html>
- ❖ Laboratorio de Electricidad y Magnetismo FI UNAM (Septiembre de 2020) P1A4 Recuperado de <https://laboratorioeym.blogspot.com/2020/09/video-practica-2-actividad-4.html>

## 7. Anexos


### Cuestionario previo.

1. Define el concepto de campo eléctrico y escribe sus unidades en el Sistema Internacional (SI).
2. Investiga algunas propiedades de las líneas de campo eléctrico.
3. ¿Qué es un electrómetro y para qué se utiliza?
4. ¿Qué es la capacitancia y cómo se calcula?

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	12/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 2

## Conexiones con capacitores

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	13/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Objetivos de aprendizaje

### I. Objetivo General:

El alumno analizará el comportamiento de las variables eléctricas en conexiones de capacitores en serie y en paralelo, y comentará con el grupo sobre las aplicaciones de este tipo de arreglos.

### II. Objetivos específicos:

- Identificar los valores nominales de un capacitor y realizar una prueba destructiva.
- Definir y comprender lo que es una conexión en serie y una conexión en paralelo.
- Encontrar experimentalmente la relación que existe entre las diferencias de potencial y la carga almacenada en conexiones de capacitores.

## 1. Introducción

Como algunas aplicaciones típicas de los capacitores podemos citar:


- Bancos de capacitores, por su cualidad de almacenar energía.
- Filtros eléctricos.
- Asociados al flash de las cámaras fotográficas.
- Conectados a tubos fluorescentes.
- Circuitos electrónicos que logren mantener la corriente eléctrica (fuentes de corriente) y circuitos que conserven las diferencias de potencial.

Son utilizados también en circuitos asociados a: ventiladores, motores de aire acondicionado, en iluminación, refrigeración, compresores, bombas de agua y motores de corriente alterna.

En los circuitos eléctricos, dos de las conexiones más comunes y básicas de sus ramas o elementos son en serie y en paralelo.

## 2. Herramienta digital

[Laboratorio virtual conexión capacitores](#)

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	14/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### 3. Equipo y material en el laboratorio



Foto 1.  
Fuente de 0-60 [V] y 0-5.1 [A] de cd.



Foto 2.  
Puente de impedancias.

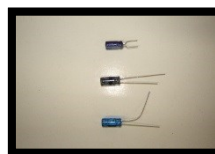


Foto 3.  
Capacitores electrolíticos.

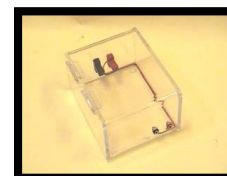


Foto 4.  
Caja para prueba destructiva.

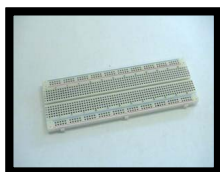


Foto 5.  
Tableta de proyectos (proporcionada por los alumnos).

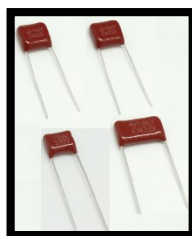


Foto 6.  
Capacitores de poliéster.

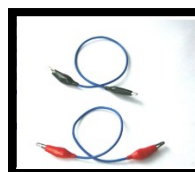



Foto 7.  
Cables para conexión (proporcionados por los alumnos).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	15/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Desarrollo

### Actividad 1 Conexión de capacitores en serie

En el simulador propuesto, seleccione la pestaña “varios capacitores”, en la sección circuitos elija la opción “tres en serie”. Establezca para cada capacitor un valor diferente de capacitancia y fije la diferencia de potencial de la batería en 1.5 V. Calcule el capacitor equivalente ( $C_{eq}$ ) de la conexión, asimismo calcule la carga del capacitor equivalente ( $Q_{eq}$ ) y compare con lo mostrado en el simulador. Compruebe con el empleo del voltímetro que la suma de las diferencias de potencial en cada capacitor será igual al proporcionado por la batería.

### [Laboratorio virtual conexión capacitores](#)

#### Material y equipo

- a. Fuente de 0-60 [V] y 0-5.1 [A] de cd.
- b. Puente de impedancias.
- c. Capacitores de poliéster.
- d. Tableta de proyectos (proporcionada por los alumnos).
- e. Cables para conexión (proporcionados por los alumnos).

En el siguiente espacio dibuja el circuito y anota tus resultados.

Conclusiones del experimento


---



---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	16/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Actividad 2 **Conexión de capacitores en paralelo**

En el simulador propuesto, seleccione la pestaña “varios capacitores”, en la sección circuitos elija la opción “3 en paralelo”. Establezca los valores de las capacitancias y de la fuente empleados en la actividad 1. Calcule el capacitor equivalente ( $C_{eq}$ ) de la conexión, asimismo calcula la carga del capacitor equivalente ( $Q_{eq}$ ) y compare con lo mostrado en el simulador. Calcule la carga en cada uno de los capacitores y compruebe que la suma es igual a la carga del capacitor equivalente.

### Laboratorio virtual conexión capacitores

#### Material y equipo

- |  |   |
|--|---|
| a. Fuente de 0-60 [V] y 0-5.1 [A] de cd. | d. Tableta de proyectos (proporcionada por los alumnos).  |
| b. Puente de impedancias.                | e. Cables para conexión (proporcionados por los alumnos). |
| c. Capacitores de poliéster.             |   |

En el siguiente espacio dibuja el circuito y anota tus resultados.

Conclusiones del experimento

---




---



---



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	17/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### Actividad 3 **Conexión mixta de capacitores**

Con los mismos tres capacitores empleados, realiza una conexión mixta, seleccionando la opción “2 en serie + 1 en paralelo”. Considere la diferencia de potencial de la fuente de 1.5 V. Calcula el capacitor equivalente ( $C_{eq}$ ) de la conexión, asimismo calcula la carga del capacitor equivalente ( $Q_{eq}$ ) y compare con lo mostrado en el simulador.

#### Laboratorio virtual conexión capacitores

##### **Material y equipo**

- |   |   |
|---|---|
| a. Fuente de 0-60 [V] y 0-5.1 [A] de cd.                      | d. Tableta de proyectos (proporcionada por los alumnos).  |
| b. Puente de impedancias.                                     | e. Cables para conexión (proporcionados por los alumnos). |
| c. Capacitores de poliéster (proporcionados por los alumnos). |   |

En el siguiente espacio dibuja el circuito y anota tus resultados

Conclusiones del experimento


---



---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	18/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

#### Actividad 4 **Capacitores polarizados y sus valores nominales**

Observe el [vídeo P6A4](#), comente con su profesor lo que sucede y las causas.

#### **Material y equipo**

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| a. Capacitores electrolíticos .         |                                   |
| b. Caja para prueba destructiva.        | d. Cables para conexión           |
| c. Fuente de 60 [V] y 0- 5.1 [A] de cd. | (proporcionados por los alumnos). |

En el siguiente espacio anota si el capacitor sufrió algún daño y si así fue registra, para qué valor de diferencia de potencial ocurrió; compara este valor con la diferencia de potencial nominal. Anota tus observaciones.

Conclusiones del experimento


---



---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	19/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


## 5. Referencias

- ❖ Jaramillo, G. A., Alvarado, A. A. (2008) *Electricidad y Magnetismo*. (Reimpresión 2008.) México: Trillas.
- ❖ Serway R., Jewett J. (2009) *Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Vol. 2.* (7a edición.) México: Cengage Learning.
- ❖ Young H. D., Freedman R. A., Sears y Zemansky (2013) *Física universitaria con física moderna. Vol.2.* (13a edición) México: Pearson.
- ❖ Tipler, P. A. (2003) *Física para la ciencia y la tecnología. Vol. 2.* (6a edición.) España: Reverté.
- ❖ Resnick R., Halliday D., et al. (2011) *Física. Vol. 2*, México: Patria.
- ❖ University of Colorado Boulder (2020) Capacitor Lab: Basics. Recuperado de <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/capacitor-lab/latest/capacitor-lab.html?simulation=capacitor-lab&locale=es>
- ❖ Laboratorio de Electricidad y Magnetismo FI UNAM (Septiembre de 2020) P6A4 Recuperado de <https://laboratorioeym.blogspot.com/2020/09/video-practica-6-actividad-4.html>

## 6. Anexos


### Cuestionario previo.

1. Explica la diferencia entre el valor nominal y el valor experimental de un capacitor.
2. Investiga las expresiones para obtener la capacitancia equivalente de una conexión de capacitores en serie y una conexión en paralelo.
3. ¿Cómo es la carga eléctrica y la diferencia de potencial en cada uno de los capacitores conectados en serie comparando estos valores con el capacitor equivalente?
4. Considera una conexión en serie de tres capacitores: 4  $[\mu\text{F}]$ , 6  $[\mu\text{F}]$  y 12  $[\mu\text{F}]$  a la que se le aplica una diferencia de potencial de 24 [V]. Calcula la carga y la diferencia de potencial en cada capacitor incluyendo el equivalente.
5. Considera una conexión en paralelo de tres capacitores: 4  $[\mu\text{F}]$ , 6  $[\mu\text{F}]$  y 12  $[\mu\text{F}]$  a la que se le aplica una diferencia de potencial de 24 [V]. Calcula la carga y la diferencia de potencial en cada capacitor incluyendo el equivalente.
6. Investiga algunas aplicaciones de los capacitores.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	20/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 3

## Leyes de Kirchhoff

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	21/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Objetivos de aprendizaje

### I. Objetivo General:

El alumno analizará el comportamiento de las variables eléctricas: diferencia de potencial eléctrico, corriente eléctrica y resistencia eléctrica en circuitos resistivos con conexiones en serie y en paralelo, aplicando las leyes de Kirchhoff en el estudio de circuitos resistivos con fuentes de diferencia de potencial continuo.

### II. Objetivos específicos:

- Demostrar experimentalmente que la suma algebraica de las diferencias de potencial en una malla en un circuito eléctrico es cero.
- Comprobar experimentalmente que la suma algebraica de las corrientes eléctricas que coinciden en un nodo es cero.
- Deducir las leyes de Kirchhoff a partir de los resultados anteriores.

## 2. Introducción


*Gustav Robert Kirchhoff (1824 - 1887)*

Físico de origen alemán que realizó numerosas aportaciones a la ciencia, destacando las que hizo en espectroscopía, en la óptica, en los circuitos eléctricos y en la emisión de cuerpo negro, entre otras.

Llegó a ser muy conocido por sus leyes en los circuitos eléctricos, ampliamente utilizadas en la ingeniería eléctrica las cuales se basan en dos principios fundamentales de la Física.

La ley de las corrientes de Kirchhoff afirma que en cualquier punto de conexión de un circuito eléctrico, la suma de las corrientes que entran es igual a la suma de las corrientes que salen; esta ley se basa en la aplicación práctica del Principio de Conservación de la carga eléctrica.

La ley de los voltajes (o diferencias de potencial) de Kirchhoff enuncia que, en un circuito, la suma algebraica de las diferencias de potencial eléctrico en una malla, o trayectoria cerrada, debe ser igual a cero; esta ley se basa en el Principio de Conservación de la energía.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	22/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### 3. Herramientas digitales

[Laboratorio virtual de circuitos](#)

[Tableta de prototipos](#)

### 4. Equipo y material en el laboratorio



Foto 1.  
Fuente 0 - 60 [V] y 0-5.1 [A] de cd.



Foto 2.  
Multímetro digital con cables.

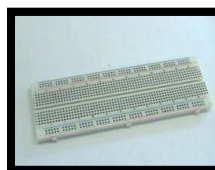


Foto 3.  
Tableta de proyectos (proporcionada por los alumnos).

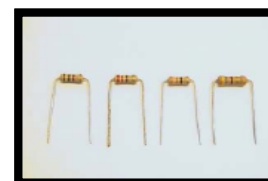


Foto 4.  
Resistores de carbón de: 1000[Ω], 470[Ω], 330[Ω], 220[Ω], 39[Ω], 27[Ω], 22[Ω] y 18[Ω], todos a 1[W] (proporcionados por los alumnos).

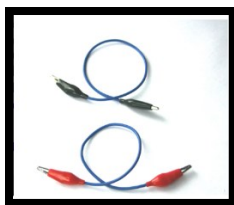



Foto 5.  
Cables para conexión (proporcionados por los alumnos).



Foto 6.  
Focos (proporcionados por los alumnos).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	23/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. Desarrollo

### Actividad 1 Circuito de resistores en serie

Con el empleo del simulador, conecta tres resistores en serie con valores de 100  $[\Omega]$ , 47  $[\Omega]$  y 33  $[\Omega]$ . Aplica en los extremos de la conexión una diferencia de potencial de 12 [V]. Realiza las mediciones de diferencia de potencial y corriente de cada uno de los elementos.

#### Tableta de prototipos

#### Material y equipo:

- a. Multímetro digital con cables.
- b. Resistores de 1000 $[\Omega]$ , 470 $[\Omega]$  y 330 $[\Omega]$  (proporcionados por los alumnos).
- c. Cables para conexión (proporcionados por los alumnos).
- d. Tableta de proyectos (proporcionada por los alumnos).
- e. Fuente de 0-60[V] y 0-5.1 [A] de cd.

En el siguiente espacio dibuja el diagrama eléctrico del circuito rotulando todos los nodos, anota en la tabla los resultados de los cálculos y mediciones de corriente, diferencia de potencial y potencia realizadas según corresponda. Identifica las relaciones entre las corrientes en los diferentes resistores; así como las relaciones entre las diferencias de potencial. Determina la potencia total disipada por los resistores del circuito y compárala con la potencia suministrada por la fuente, calculada a través de la ley de Joule.

$R_{med.} [\Omega]$	$I_{med.} [A]$	$V_{calc.} [V]$	$V_{med.} [V]$	$P_{calc.} [W]$

Conclusiones del experimento


---



---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	24/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### Actividad 2 **Circuito de resistores en paralelo**

Con los resistores seleccionados en la actividad 1, realiza en el simulador una conexión en paralelo. Aplica en los extremos de la conexión una diferencia de potencial de 12 [V]. Calcula el resistor equivalente y su corriente eléctrica. Presta especial atención en la forma de conectar el multímetro cuando se desea medir corriente o diferencia de potencial eléctricas.

#### Tableta de prototipos

#### Material y equipo:

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Multímetro digital con cables.</li> <li>b. Resistores de 1000[Ω], 470[Ω] y 330[Ω]</li> <li>c. (proporcionados por los alumnos).</li> <li>d. Cables para conexión (proporcionados por los alumnos).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>e. Tableta de proyectos (proporcionada por los alumnos).</li> <li>f. Fuente de 0-60[V] y 0-5.1 [A] de cd.</li> </ul> |
|---|---|

En el siguiente espacio dibuja el diagrama eléctrico del circuito rotulando todos los nodos, anota en la tabla los resultados de los cálculos y mediciones de corriente, diferencia de potencial y potencia, según corresponda. Identifica las relaciones entre las corrientes en los diferentes resistores; así como las relaciones entre las diferencias de potencial. Determina la potencia total disipada por los resistores del circuito y compárala con la potencia suministrada por la fuente, obtenida con la aplicación de la ley de Joule.

R <sub>med.</sub> [Ω]	V <sub>med.</sub> [V]	I <sub>calc.</sub> [A]	I <sub>med.</sub> [A]	P <sub>calc.</sub> [W]

Conclusiones del experimento

---




---



---



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	25/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### Actividad 3 Aplicación de las leyes de Kirchhoff

Con el empleo del simulador arme el circuito indicado por el profesor, considere para el foco 1  $R_{f1}=5[\Omega]$  y para el foco 2  $R_{f2}=10[\Omega]$ , deben trabajar a una potencia de 2.8125 [W] y 2.5[W] respectivamente. La fuente de alimentación es de 8 [V], calcule la resistencia que se requiere conectar en serie de cada foco para su correcto funcionamiento.

### Laboratorio virtual de circuitos

#### Material y equipo:

- |  |   |
|--|---|
| a. Resistores de valores diversos (proporcionados por los alumnos).      | d. Focos (proporcionado por los alumnos). |
| b. Cables para conexión (proporcionados por los alumnos). (proporcionada | e. Tableta de proyectos                   |
| c. Fuente de 0-60 [V] y 0-5.1 [A] de cd.                                 | por los alumnos).                         |
|  | f. Bases para focos.                      |

En el siguiente espacio dibuja el diagrama eléctrico del circuito, anota tus cálculos, mediciones y ecuaciones correspondientes.

Conclusiones del experimento


---



---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	26/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Referencias


- ❖ Jaramillo, G. A., Alvarado, A. A. (2008) *Electricidad y Magnetismo*. (Reimpresión 2008.) México: Trillas.
- ❖ Serway R., Jewett J. (2009) *Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Vol. 2.* (7a edición.) México: Cengage Learning.
- ❖ Young H. D., Freedman R. A., Sears y Zemansky (2013) *Física universitaria con física moderna. Vol.2.* (13a edición) México: Pearson.
- ❖ Tipler, P. A. (2003) *Física para la ciencia y la tecnología. Vol. 2.* (6a edición.) España: Reverté.
- ❖ Resnick R., Halliday D., et al. (2011) *Física. Vol. 2*, México: Patria.
- ❖ University of Colorado Boulder (2020) Kit de construcción de circuitos (CA y CC) Recuperado de <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/circuit-construction-kit-ac>

## 6. Anexos

### Cuestionario previo.


1. Investiga y enuncia el principio de conservación de la carga y el de la energía.
2. Investiga cómo se utiliza el código de colores para determinar el valor de un resistor.
3. Investiga las expresiones para obtener la resistencia equivalente de una conexión de resistores en serie y una conexión en paralelo.
4. ¿Cómo es la corriente eléctrica y la diferencia de potencial en cada uno de los resistores conectados en serie comparados estos valores con los del resistor equivalente?
5. ¿Cómo es la corriente eléctrica y la diferencia de potencial en cada uno de los resistores conectados en paralelo comparados estos valores con los del resistor equivalente?
6. Describe el comportamiento de un circuito RC y mencione algunas de sus aplicaciones.
7. Para un circuito RC en serie con fuente de diferencia de potencial continua, ¿Cuál es el modelo matemático que describe el comportamiento de la diferencia de potencial del capacitor, en función del tiempo, así como su gráfica correspondiente?
8. ¿Cómo se determina la constante de tiempo para un circuito RC de la pregunta anterior?


IMPORTANTE: para utilizar el simulador Tableta de prototipos deberás crear una cuenta o asociar un correo.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	27/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 4

## Fundamentos del magnetismo

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	28/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	29/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Objetivos de aprendizaje

### I. Objetivo General:

El alumno conocerá los fundamentos del magnetismo, comprenderá el concepto de campo magnético, deducirá las propiedades de las líneas de campo y comentará con el grupo algunas aplicaciones.

### II. Objetivos específicos:


- Explicar el concepto de campo magnético.
- Conocer las unidades de medición del campo magnético.
- Conocer los fenómenos magnéticos fundamentales.
- Deducir y comprender las condiciones bajo las que se manifiesta el campo magnético.
- Conocer y utilizar el concepto de líneas de inducción de campo magnético.

## 2. Introducción

Las primeras descripciones de fenómenos relacionados con magnetismo se remontan a la Grecia antigua con el descubrimiento de la magnetita y su efecto de atracción y repulsión en piezas de hierro. Históricamente el estudio formal del magnetismo fue abordado mediante los experimentos de H. C. Oersted en el año de 1820 en donde se detalló la generación de campo magnético con ayuda de una corriente circulando por un medio conductor, en el mismo siglo XIX se dieron una serie de descubrimientos encabezados por personalidades como: André Marie Ampere, Carl Friedrich Gauss, Michael Faraday y James Clerk Maxwell, llevaron a la comprensión de la teoría actual del magnetismo.

En la actualidad las aplicaciones de fenómenos relacionados con magnetismo son muy variadas y la ciencia del magnetismo se ha vuelto indispensable en el desarrollo tecnológico. Entre las principales aplicaciones se encuentra la fabricación de materiales magnéticos como medio ideal de almacenamiento de datos, lo que ha permitido aumentar la capacidad de almacenamiento de información a menor costo.

También se ha logrado el diseño de instrumentos y materiales para la medicina como es el caso de *la resonancia magnética* para el diagnóstico de enfermedades, en estos equipos mediante la ingesta de materiales magnéticos como medio de contraste y la aplicación de campos magnéticos intensos, es posible obtener imágenes tridimensionales de diferentes órganos y tejidos.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	30/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### 3. Herramientas digitales

[Campo magnético](#)

[Experimento de Oersted 1](#)

[Experimento de Oersted 2](#)

[Campo magnético en una bobina](#)

[Tubo de Crookes](#)

### 4. Equipo y material en el laboratorio



Foto 1.  
Brújula.



Foto 2.  
Brújula con  
transportador.

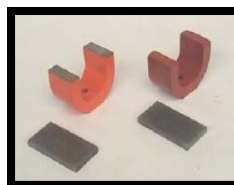


Foto 3.  
Dos imanes en forma de  
herradura.



Foto 4.  
Limadura de hierro.



Foto 5.  
Fuente de poder de 0-20  
[V] 0-10 [A] de cd.



Foto 6.  
Bobina de 80 espiras.



Foto 7.  
Solenoide de 800 vueltas  
y núcleo recto de acero.



Foto 8.  
Osciloscopio.

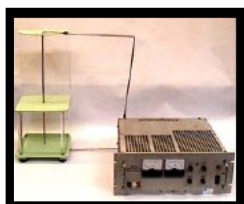


Foto 9.  
Conductor recto de cobre  
conectado a una fuente  
de alto voltaje (para uso  
del profesor).

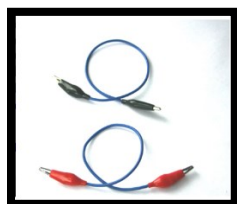



Foto 10.  
Cables para conexión  
(proporcionados por  
los alumnos).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	31/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Desarrollo

### Actividad 1 Polos magnéticos


Con el simulador propuesto, verifica la existencia de los polos magnéticos de la Tierra.

### Campo magnético

#### Material y equipo

- |                               |                                      |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| a. Brújula con transportador. | c. Dos imanes en forma de herradura. |
| b. Brújula.                   | d. Limadura de hierro.               |

Analiza y comenta con el grupo lo realizado. En el siguiente espacio anota tus resultados. Dibuja el esquema correspondiente a las líneas de campo magnético que se forman alrededor de un imán.



Conclusiones del experimento


---



---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	32/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

**Actividad 2 Campo magnético producido por un conductor recto (experimento de Oersted)**

Empleando el equipo propuesto, comprueba la existencia del campo magnético producido por un conductor a través del cual circula una corriente eléctrica. Identifica las características de las líneas de configuración de ese campo magnético.

[Experimento de Oersted 1](#)

[Experimento de Oersted 2](#)

**Material y equipo:**

- a. Conductor recto con una corriente continua de 60 [A] (para uso del profesor).
- b. Juego de brújulas y limadura de hierro.

Dibuja el esquema correspondiente a las líneas de campo magnético que se forman alrededor del conductor recto e indica su dirección. Comprueba la regla de la mano derecha y escribe las características de las líneas de campo que hayas identificado. Comenta con el profesor los resultados obtenidos

Conclusiones del experimento

---




---



---



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	33/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### Actividad 3 **Campo magnético producido por una bobina y por un solenoide**

Con el simulador propuesto, comprueba la existencia de un campo magnético producido por una bobina.

#### [Campo magnético en una bobina](#)

#### [Video P9A3](#)

#### **Material y equipo:**

- |   |   |
|---|---|
| a. Brújula.                             | d. Solenoide de 800 vueltas y núcleo recto de acero.      |
| b. Limadura de hierro.                  | e. Bobina de 80 espiras.                                  |
| c. Fuente de 0-20 [V] y 0-10 [A] de cd. | f. Cables para conexión (proporcionados por los alumnos). |

Dibuja los diagramas donde muestres las configuraciones de las líneas de campo.

Conclusiones del experimento


---



---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	34/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

#### Actividad 4 Efectos del campo magnético

Observa qué le sucede al haz de electrones cuando le acercas de manera independiente el polo norte y el polo el sur del imán.


#### [Tubo de Crookes](#) [Video P9A4](#)

#### Material y equipo

- a. Imán de herradura.
- b. Osciloscopio.


Dibuja un esquema que muestre la velocidad ( $\vec{v}$ ) del electrón, el campo magnético ( $\vec{B}$ ) y la fuerza de origen magnético ( $\vec{F}$ ) que actúa sobre el electrón. Indique las direcciones de estos vectores.

Conclusiones del experimento

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	35/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. Referencias

- ❖ Jaramillo, G. A., Alvarado, A. A. (2008) *Electricidad y Magnetismo*. (Reimpresión 2008.) México: Trillas.
- ❖ Serway R., Jewett J. (2009) *Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Vol. 2*. (7a edición.) México: Cengage Learning.
- ❖ Young H. D., Freedman R. A., Sears y Zemansky (2013) *Física universitaria con física moderna. Vol.2*. (13a edición) México: Pearson.
- ❖ Tipler, P. A. (2003) *Física para la ciencia y la tecnología. Vol. 2*. (6a edición.) España: Reverté.
- ❖ Resnick R., Halliday D., et al. (2011) *Física. Vol. 2*, México: Patria.
- ❖ University of Colorado Boulder (2020) Imán y Brújula. Recuperado de <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/magnet-and-compass>
- ❖ National Maglab (2012-2020) Oersted's Compass. Recuperado de <https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/watch-play/interactive/orsted-s-compass>
- ❖ Vascak V. (julio de 2020) Campo Magnético de una Corriente Rectilínea. Recuperado de [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mag\\_vodic&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mag_vodic&l=es)
- ❖ National Maglab (2012-2020) Electromagnetic Deflection in a Cathode Ray Tube. Recuperado de <https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/watch-play/interactive/electromagnetic-deflection-in-a-cathode-ray-tube-i>
- ❖ National Maglab (2012-2020) Electromagnetic Deflection in a Cathode Ray Tube, I. Recuperado de <https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/watch-play/interactive/electromagnetic-deflection-in-a-cathode-ray-tube-i>
- ❖ Laboratorio de Electricidad y Magnetismo FI UNAM (Septiembre de 2020) P9A3 Recuperado de <https://laboratorioeym.blogspot.com/2020/09/video-practica-9-actividad-3.html>
- ❖ Laboratorio de Electricidad y Magnetismo FI UNAM (Septiembre de 2020) P9A4 Recuperado de <https://laboratorioeym.blogspot.com/2020/09/video-practica-9-actividad-4.html>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	36/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 6. Anexos

### Cuestionario previo.

5. Explica el concepto de campo magnético.

¿Qué instrumento se utiliza para medir un campo magnético? y ¿cuál es su unidad en el SI?

¿Qué propiedades tienen las líneas de campo magnético?


¿Dónde se localizan los polos magnéticos de la Tierra? Explica mediante un diagrama.

Describe en qué consiste el experimento de Oersted.

¿Qué es un solenoide?


Investiga el funcionamiento del tubo de Crookes.

Investiga el modelo matemático de la fuerza de origen magnético que experimenta una partícula con carga que se mueve dentro de un campo magnético.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	37/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 5

## Inducción electromagnética

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	38/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Objetivos de aprendizaje

### I. Objetivo General:

El alumno comprenderá el fenómeno de inducción electromagnética y conocerá las condiciones bajo las cuales se presenta.

### II. Objetivos específicos:

- Comprender y aplicar el concepto de flujo magnético.
- Demostrar que puede obtenerse una diferencia de potencial a partir de un campo magnético y deducir las condiciones bajo las cuales ocurre esto.
- Comprender el concepto de fuerza electromotriz (*fem*) inducida.
- Deducir la ley de inducción de Faraday y el principio de Lenz de los fenómenos observados.
- Explicar la ocurrencia de diversos fenómenos con base en la aplicación de la ley del punto anterior.


## 1. Introducción

La inducción electromagnética es el fenómeno en el que se origina una diferencia de potencial inducida (o fuerza electromotriz inducida) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor en el que se forma una trayectoria cerrada, se produce una corriente inducida. Este fenómeno fue descubierto por Michael Faraday quien lo expresó indicando que la magnitud de la diferencia de potencial inducida es proporcional a la variación del flujo magnético (*Ley de Faraday*).

Por otra parte, Heinrich Lenz comprobó que la corriente debida a la *fem* inducida genera un flujo magnético que se opone al cambio de flujo magnético externo, de forma tal que la corriente tiende a mantener el flujo constante.

Los principios de la inducción electromagnética son aplicados en muchos dispositivos y sistemas, por ejemplo:

- Horno de inducción.
- Transformador.
- Generador eléctrico.
- Inductor.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	39/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 2. Herramientas digitales

[Ley de Faraday](#)

[FEM](#)

[Laboratorio magnetismo](#)

[Transformador](#)

[Simulador simbólico](#)

## 3. Equipo y material en el laboratorio



Foto 1.  
Limadura de hierro.



Foto 2.  
Autotransformador  
(Variac).



Foto 3.  
Micro-amperímetro de  
 $\pm 50$  [ $\mu\text{A}$ ] y cero central.



Foto 4.  
Brújula.



Foto 5.  
Imán en forma de herradura.



Foto 6.  
Solenoide de 800 vueltas y  
núcleo recto de acero.



Foto 7.  
Bobina sin aislamiento.



Foto 8.  
Anillo cerrado.



Foto 9.  
Anillo abierto.



Foto 10.  
Bobina con foco.



Foto 11.  
Disco giratorio y plato.



Foto 12.  
Solenoide de 1600 espiras.

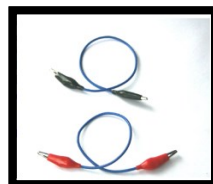


Foto 14. Cables



Foto 15.



Foto 16.


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	40/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Foto 13.  
Fuente de 0-20 [V] y  
0-10 [A] de cd.



Foto 17.  
Conector BNC con caimanes.

para conexión  
(proporcionados por los  
alumnos).



Foto 18.  
Núcleo de hierro en forma  
de O.

Osciloscopio de doble  
trazo.



Foto 19.  
Solenoides de 200  
vueltas.

Transformador reductor (127  
[V] a 10 [V] de c.a ).



Foto 20.  
Punta atenuadora para  
osciloscopio.




Foto 21.  
Cables banana- banana y  
cables caimán-banana  
(proporcionados por los  
alumnos).



Foto 22.  
Solenoides de 400 vueltas.



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	41/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Desarrollo

### Actividad 1 **Fuerza electromotriz inducida a partir del movimiento**

Analiza y comenta con tu profesor los conceptos de diferencia de potencial inducida (con su polaridad), corriente inducida (con su sentido) y campo magnético variable, cuando se acerca o se aleja un imán. Utiliza el simulador para observar dichos conceptos.

### Ley de Faraday

#### Material y equipo

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Micro-amperímetro de <math>\pm 50</math> <math>[\mu\text{A}]</math> y cero central.</li> <li>b. Imán en forma de herradura.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>c. Solenoide de 1600 espiras.</li> <li>d. Cables para conexión (proporcionados por los alumnos).</li> </ul> |
|--|--|

Dibuja los esquemas donde indiques el análisis de tu experimentación.

Conclusiones del experimento


---



---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	42/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

**Actividad 2 Fuerza electromotriz inducida a partir de corrientes variables (ley de Faraday y principio de Lenz)**

Comenta y analiza con tu profesor la ley de Faraday y el principio de Lenz. Posteriormente, el simulador propuesto observa los fenómenos descritos por Faraday y Lenz.

**FEM**

**Material y equipo**

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| a. Autotransformador (Variac).                            | e. Anillo cerrado.          |
| b. Solenoide de 800 vueltas y núcleo recto de acero.      | f. Bobina con foco.         |
| c. Anillo abierto.  | g. Bobina sin aislamiento.  |
| d. Cables para conexión (proporcionados por los alumnos). | h. Disco giratorio y plato. |

Utiliza el espacio siguiente para describir, por medio de diagramas, tus observaciones.

Conclusiones del experimento


---



---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	43/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### Actividad 3 **Flujo magnético constante**

Empleando el simulador propuesto, selecciona la pestaña *transformador*, analiza que sucede cuando en la sección electroimán se elige la opción de la pila “CC” y compara con lo observado en la opción de una señal alterna “CA”.

### Laboratorio magnetismo

#### **Material y equipo**

- |   |                        |
|---|------------------------|
| a. Solenoide de 800 vueltas y núcleo recto de acero.      | d. Bobina con foco.    |
| b. Fuente de 0-20 [V] y 0-10 [A] de cd.                   | e. Limadura de hierro. |
| c. Cables para conexión (proporcionados por los alumnos). |                        |

¿A qué se debe el comportamiento del foco? Comenta con tus compañeros y justifica tu respuesta. Dibuja un diagrama de lo que sucede en ambos casos.

Conclusiones del experimento


---



---



---

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	44/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. Referencias

- ❖ Jaramillo, G. A., Alvarado, A. A. (2008) *Electricidad y Magnetismo*. (Reimpresión 2008.) México: Trillas.
- ❖ Serway R., Jewett J. (2009) *Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Vol. 2.* (7a edición.) México: Cengage Learning.
- ❖ Young H. D., Freedman R. A., Sears y Zemansky (2013) *Física universitaria con física moderna. Vol.2.* (13a edición) México: Pearson.
- ❖ Tipler, P. A. (2003) *Física para la ciencia y la tecnología. Vol. 2.* (6a edición.) España: Reverté.
- ❖ Resnick R., Halliday D., et al. (2011) *Física. Vol. 2*, México: Patria.
- ❖ University of Colorado Boulder (2020) Ley de Faraday 1.1.23. Recuperado de [https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law\\_es.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_es.html)
- ❖ Vascak V. (julio de 2020) Ley de Lenz. Recuperado de <https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mag lenz&l=es>

## 6. Anexos

### Cuestionario previo.


6. Describe brevemente el fenómeno de inducción electromagnética.

Define el concepto de flujo magnético.

¿Qué entiendes por un flujo magnético concatenado por una espira?


Enuncia la ley de Faraday y el principio de Lenz.

Investiga en qué consiste el fenómeno de las corrientes parásitas (o remolino).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	45/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 6

## Transformador

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	46/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Objetivos de aprendizaje

### I. Objetivo General:

El alumno comprenderá el principio de operación de un transformador eléctrico monofásico y de un motor de corriente directa, y comentará sobre algunas de las aplicaciones de estos dispositivos en el campo de la ingeniería.

### II. Objetivos específicos:


- Conocer la estructura de un transformador eléctrico monofásico.
- Comprender el funcionamiento y utilidad de los transformadores eléctricos.
- Construir y analizar la función de un transformador reductor y de uno elevador
- Deducir y analizar la relación de transformación que disminuya la diferencia de potencial de la entrada (reductor) y de otro que aumente la diferencia de potencial de la entrada (elevador)

## 2. Introducción

Un transformador es un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la diferencia de potencial en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo constante la frecuencia de la señal. La potencia en la entrada del equipo, en el caso de un transformador ideal (sin pérdidas de energía) es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un porcentaje pequeño de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, entre otras variables.

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro al silicio. Las bobinas se denominan primaria y secundaria, según correspondan a la entrada o salida, respectivamente, del sistema en cuestión.

Los transformadores elevadores de diferencia de potencial, son empleados en las subestaciones de la red de transporte de energía eléctrica, con el fin de disminuir las pérdidas por efecto Joule, reduciendo así las corrientes eléctricas en las líneas por elevación de temperatura, siendo necesario reducir nuevamente dichas diferencias de potencial en otras subestaciones para adaptarlos a los valores utilizados.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	47/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### 3. Herramientas digitales

#### [Simulador simbólico](#) [Transformador](#)

### 4. Equipo y material



Foto 1.  
Osciloscopio de doble trazo.

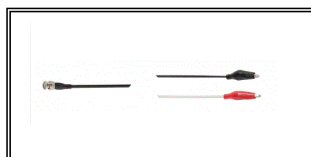


Foto 2.  
Conector BNC con caimanes.



Foto 3.  
Transformador reductor (127 [V] a 10 [V] de c.a).

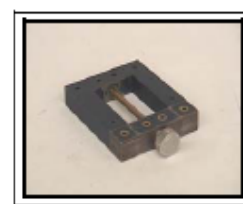


Foto 4.  
Núcleo de hierro en forma de O.



Foto 5.  
Solenoide de 200 vueltas.



Foto 6.  
Solenoide de 800 vueltas



Foto 7.  
Cables banana- banana y cables caimán- banana.



Foto 8.  
2 solenoides de 400 vueltas.




Foto 9.  
Solenoide de 1600 vueltas



Foto 10.  
Solenoide de 3200 vueltas.

### 5. Desarrollo

#### Actividad 1 Transformador elevador

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	48/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Trabaja con el simulador propuesto para observar el comportamiento del transformador en su configuración elevador, determina que características se debe cumplir. Obtén la relación de transformación de al menos tres casos.

### Transformador

En el segundo simulador, se debe seleccionar la ruta: “Ejemplos de circuitos” → “otros circuitos pasivos” → “Transformadores” → “Transformador” y observar su comportamiento.

### Simulador simbólico

#### Material y equipo

- |                               |                                    |
|-------------------------------|------------------------------------|
| a. Osciloscopio.              | d. Núcleo de hierro en forma de O. |
| b. Conector BNC con caimanes. | e. Solenoide de 400 vueltas.       |
| c. Transformador reductor.    | f. Solenoide de 200 vueltas.       |

Conclusiones del experimento

---




---



---

#### Actividad 2 Transformador reductor



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	49/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Trabaja con el simulador propuesto para observar el comportamiento del transformador en su configuración reductor, determina que características se debe cumplir. Obtén la relación de transformación de al menos tres casos.

### Transformador

En el segundo simulador, se debe seleccionar la ruta: “Ejemplos de circuitos” → “otros circuitos pasivos” → “Transformadores” → “Transformador” y observar su comportamiento.

### Simulador simbólico

#### **Equipo y material**

- |                               |                                    |
|-------------------------------|------------------------------------|
| a. Osciloscopio.              | d. Núcleo de hierro en forma de O. |
| b. Conector BNC con caimanes. | e. Solenoide de 200 vueltas.       |
| c. Transformador reductor.    | f. Solenoide de 800 vueltas.       |

Conclusiones del experimento

---




---



---

## 6. Bibliografía


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	50/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- ❖ Jaramillo, G. A., Alvarado, A. A. (2008) *Electricidad y Magnetismo*. (Reimpresión 2008.) México: Trillas.
- ❖ Serway R., Jewett J. (2009) *Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Vol. 2*. (7a edición.) México: Cengage Learning.
- ❖ Young H. D., Freedman R. A., Sears y Zemansky (2013) *Física universitaria con física moderna. Vol.2*. (13a edición) México: Pearson.
- ❖ Tipler, P. A. (2003) *Física para la ciencia y la tecnología. Vol. 2*. (6a edición.) España: Reverté.
- ❖ Resnick R., Halliday D., et al. (2011) *Física. Vol. 2*, México: Patria.
- ❖ Vascak V. (julio de 2020) Transformador. Recuperado de [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ac\\_transformator&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ac_transformator&l=es)
- ❖ Falstad P. (julio de 2020) Circuit Simulator Applet. Recuperado de <http://falstad.com/circuit/>

## 7. Anexos


### Cuestionario previo.

1. Describe el principio de operación de un transformador eléctrico monofásico.
2. Investiga algunas aplicaciones de los transformadores eléctricos.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	51/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 7

## Movimiento ondulatorio

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	52/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Objetivos de aprendizaje

1. Observar el fenómeno de propagación de ondas transversales y longitudinales.
2. Determinar la longitud de onda, la frecuencia y la rapidez de propagación de una onda transversal estacionaria.

## 2. Herramientas digitales

En el desarrollo de esta práctica se emplearán los simuladores siguientes:


- Ondas longitudinales y transversales  
<https://labovirtual.blogspot.com/search/label/laboratorio%20de%20ondas>
- Ondas estacionarias en una cuerda  
<https://www.edumedia-sciences.com/en/media/369-vibrating-string-guitar>
- Experimentos de Melde  
<https://www.geogebra.org/m/MsPMXgCs#material/Esgm8Ae6>

## 3. Desarrollo

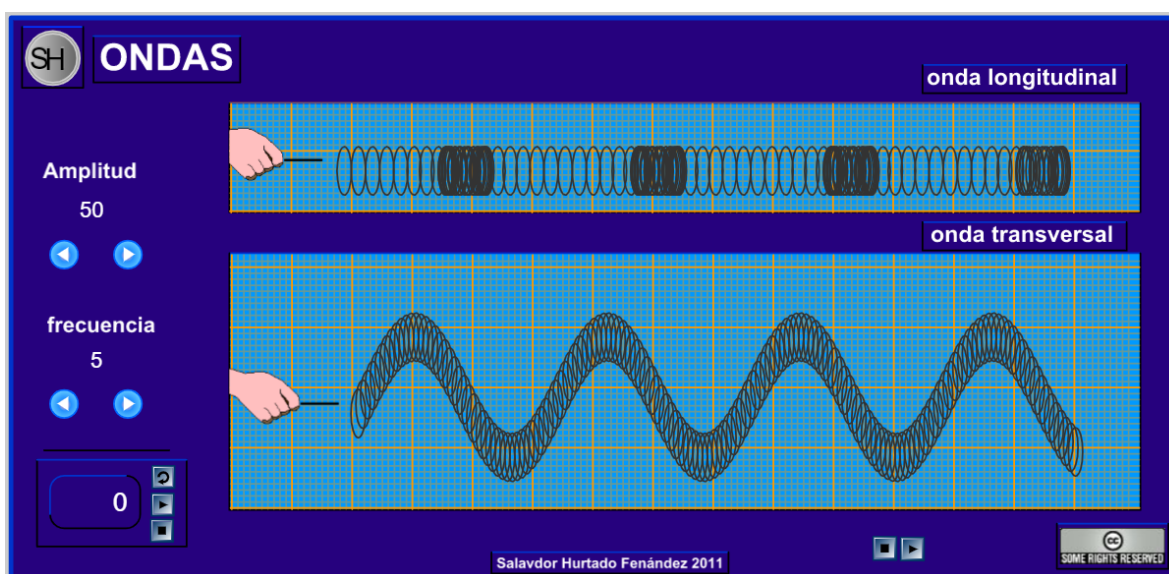
### EXPERIMENTO I. ONDAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES.

Empleando el simulador de ondas longitudinales y transversales:

1. Active la animación, si es que no se ha activado aún, y observe y compare la dirección que tienen, en las dos simulaciones, los desplazamientos de la mano que excita la perturbación ondulatoria en el resorte, en relación con la dirección de propagación de la onda, que en los dos casos mostrados es horizontal. Observe que la onda longitudinal es una **onda de compresión** de las espiras del resorte, mientras que la otra es una **onda de desplazamientos transversales** de las espiras.
2. Seleccione una frecuencia de 5 unidades y observe cómo es la **extensión de los desplazamientos** de la mano para ambos tipos de onda (longitudinal y transversal), seleccionando sucesivamente los siguientes valores de amplitud: 10, 20, 30, 40 y 50 unidades.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	53/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Para una amplitud de 50 unidades, seleccione ahora, sucesivamente, frecuencias de 1, 2, 3, 4 y 5 unidades, y observe cómo cambia el **número de desplazamientos** de la mano, **por unidad de tiempo**.



<https://labovirtual.blogspot.com/search/label/laboratorio%20de%20ondas>


Figura 1. Pantalla del simulador de ondas longitudinales y transversales.

### Actividad I.1

Comente a qué tipo de ondas (longitudinales o transversales) corresponden el sonido y la luz.

Empleando ahora el simulador de ondas estacionarias en una cuerda:

- Active el control de armónicos y observe las configuraciones que corresponden al primero (fundamental), segundo, tercero y cuarto de ellos.
- Coloque el capo (llamado también capotrasto y/o trasportador musical) y observe los mismos armónicos, ahora en una longitud libre menor de la cuerda.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	54/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			




<https://www.edumedia-sciences.com/en/media/369-vibrating-string-guitar>

Figura 2. Pantalla del simulador de ondas estacionarias en una cuerda.

**Observación:** Cuando la simulación es interrumpida por el anuncio de suscripción, se puede reanudar volviendo a cargar la página.

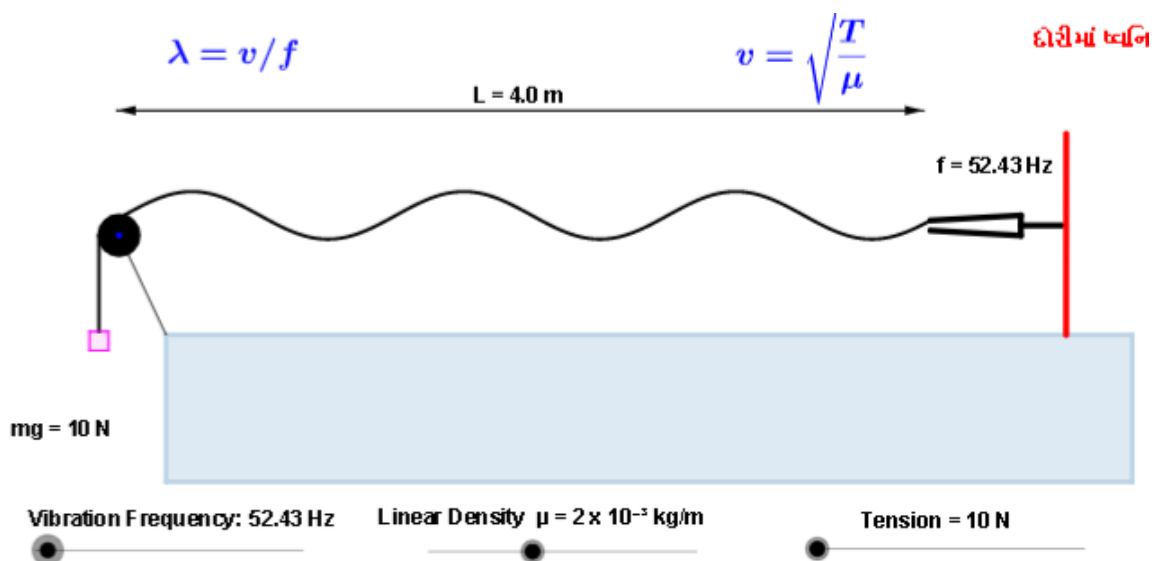
### Actividad I.2.

Elabore un dibujo que muestre las configuraciones de los cuatro armónicos de la cuerda que presenta el simulador, de manera esquemática.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	55/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## EXPERIMENTO II. ONDAS TRANSVERSALES ESTACIONARIAS.

Con el simulador Experimentos de Melde, fijando la tensión de la cuerda ( $\tau$ ) en 10 [N] y su densidad lineal ( $\mu$ )  $2 \times 10^{-3}$  [kg/m], deslice el control de frecuencia de vibración ( $f$ ) y observe como se generan los diferentes modos de vibración de las ondas estacionarias ( $n$ ).



<https://www.geogebra.org/m/MsPMXgCs#material/Esgm8Ae6>

Figura 3. Pantalla del simulador de experimentos de Melde.

### Actividad II.1.

Con la expresión matemática para la rapidez de propagación que se observa en el simulador, calcule el valor que corresponde a los valores de tensión y densidad lineal utilizados.


### Actividad II.2.

Dibuje la onda transversal estacionaria (OTE) oscilando en algunos de los modos.

### Actividad II.3.

Coloque el botón de frecuencia de vibración ( $f$ ) al mínimo (45 [Hz]), y deslícelo lentamente hasta observar claramente alguno de los modos de vibrar de la cuerda.

Cuente el número de antinodos (modo de vibración,  $n$ ) y divida la frecuencia obtenida entre el " $n$ ". Este será el valor de la frecuencia fundamental.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	56/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

#### Actividad II.4

Deslice lentamente el control de frecuencia (**f**) para ir incrementando su valor y registre los valores para los cuales se observan los modos de vibración, en la tabla 1 siguiente. Anote también la longitud de onda ( **$\lambda$** ) de cada modo y el producto de frecuencia por longitud de onda.

Tabla 1

Modo de vibración (n)	Frecuencia (f) [Hz]	Longitud de onda ( $\lambda$ ) [m]	Longitud de onda ( $\lambda$ ) [m] por frecuencia (f) [Hz]
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

**Nota:** Recuerde que el modo de vibrar corresponde al número de antinodos en cada caso, y la longitud de onda ( **$\lambda$** ) es igual a  $2L/n$ .

#### Actividad II.5.

¿Cómo es la rapidez de propagación de cada uno de los modos de vibración registrada en la cuarta columna, con respecto a las de los demás modos?

Obtenga el promedio de estos valores. Éste será el mejor valor estimado de la rapidez de propagación de las ondas en la cuerda.

Compare este valor con el obtenido teóricamente a partir de la tensión y densidad lineal y comente sus resultados.

#### Actividad II.6.

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


#### Actividad II.7.

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

#### Actividad II.8.

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



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	57/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

#### 4. Conclusiones

#### 5. 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  $n$ -ésimo modo de vibración?
6. ¿Cómo se calcula la frecuencia natural (de resonancia) del  $n$ -ésimo modo de vibración?

#### 6. Referencias


Chaudhari, L. (11 de Enero de 2016). *Virtual Physics Lab*. Obtenido de Geogebra:  
<https://www.geogebra.org/m/MsPMXgCs#material/Esgm8Ae6>

Martín Blas, T., & Serrano Fernández, A. (Octubre de 2014). *Ondas estacionarias [Entrada de Blog]*.  
 Obtenido de Curso de Física Básica:  
<http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/ondas/estacionarias.html>

Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (1997). *Física* (Tercera ed., Vol. I). México: C.E.C.S.A.


Wilson, J. (1991). *FÍSICA CON APLICACIONES* (Segunda ed.). México: McGraw-Hill.

Young, H., & Freedman, R. (2014). *Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA* (Decimotercera ed., Vol. 2). México: Pearson.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	58/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 8

## Reflexión y refracción

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	59/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Objetivos de aprendizaje

1. Determinar la ley de la reflexión.
2. Aplicar la ley de Snell para determinar el índice de refracción del vidrio.
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.

## 2. Herramienta digital


En el desarrollo de esta práctica se empleará el simulador siguiente:

- Reflexión y Refracción de la luz  
[https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_es.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_es.html)

## 3. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. LEYES DE LA REFLEXIÓN Y DE LA REFRACCIÓN

Para interactuar con el simulador “Reflexión y Refracción de la luz”, dé clic en el recuadro que dice: “Más herramientas”. Desplace con el cursor algún color para determinar una longitud de onda ( $\lambda$ ), oprima el botón rojo del láser y observe como se desvía el haz. Coloque el goniómetro con respecto a la normal y mueva el láser para diferentes ángulos de incidencia, en los distintos materiales de medio de incidencia (superior) y de medio de transmisión (inferior).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	60/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

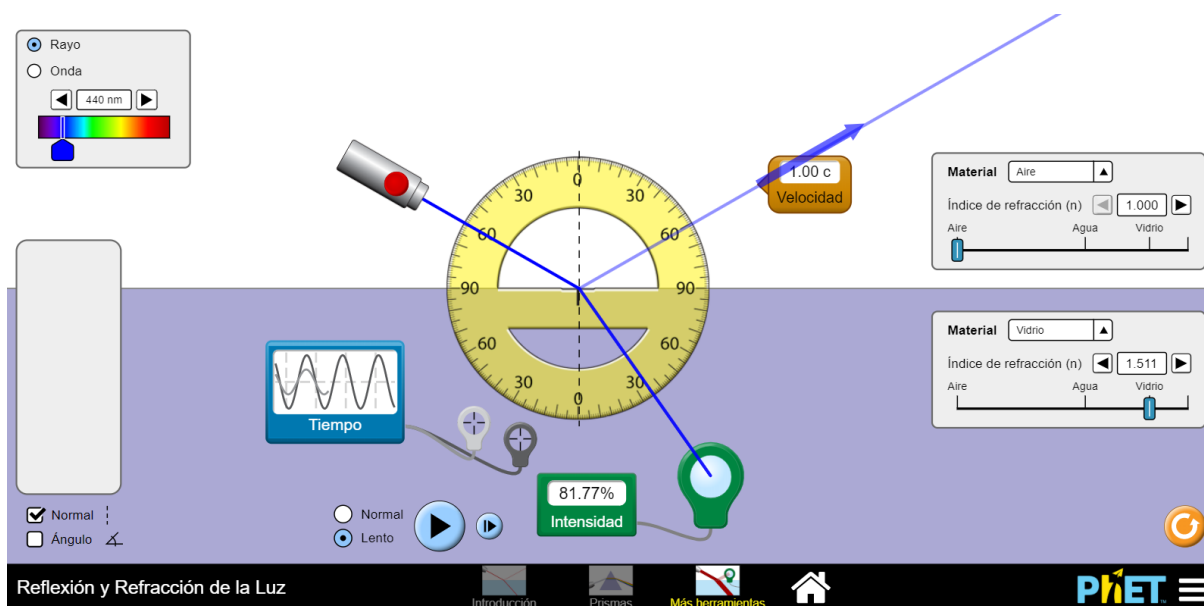


Figura 1. Reflexión y Refracción de la luz


### Actividad I.1

Seleccione una longitud de onda ( $\lambda$ ) de 450 [nm], el medio de incidencia, aire y el medio de transmisión, vidrio. Con ayuda del goniómetro, mida un ángulo de incidencia ( $\theta_i$ ), y determine el ángulo de reflexión ( $\theta_r$ ) y el ángulo de transmisión ( $\theta_t$ ).

Registre el ángulo de reflexión ( $\theta_r$ ) y el de transmisión ( $\theta_t$ ), en la tabla siguiente:

Tabla 1

$\theta_i$ [°]	$\theta_r$ [°]	$\theta_t$ [°]
0		
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	61/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### Actividad I.2

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

### Actividad I.3

Calcule el seno del ángulo de incidencia ( $\text{sen } \theta_i$ ) y el seno del ángulo de transmisión ( $\text{sen } \theta_t$ ). Regístrelos en las columnas correspondientes de la tabla 2. Finalmente calcule el índice de refracción

(n) a partir de la Ley de Snell, que en este caso se reduce a  $n = \frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_t}$ .

Tabla 2


$\theta_i$ [°]	$\theta_r$ [°]	$\theta_t$ [°]	$\text{sen } \theta_i$	$\text{sen } \theta_t$	$n$
0					
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					

### Actividad I.4

Calcule el promedio de los valores obtenidos para n. Esta será su estimación del índice de refracción del medio de transmisión.

### Actividad I.5

Calcule el error absoluto y el error relativo del valor calculado de n, con respecto al valor teórico que proporciona el simulador.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	62/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## EXPERIMENTO II. REFLEXIÓN INTERNA TOTAL.

Continuando en la ventana: “Más herramientas” del experimento anterior, seleccione ahora una longitud de onda de 650 nm. Como medio de incidencia (parte superior), seleccione agua y, como medio de transmisión (parte inferior), seleccione aire. Con esta (hipotética) elección de materiales simplemente se busca tener una condición de *reflexión interna*, esto es,  $n_i > n_t$ , para experimentar con ella.

### Actividad II.1

Anote en una tabla como la 3 los índices de refracción de los materiales seleccionados (valores que proporciona el simulador). Con ayuda del transportador, mida el *ángulo crítico* ( $q_c$ ). Recuerde que éste es el valor del ángulo de incidencia a partir del cual la reflexión interna se vuelve *total*. Registre en la tabla su valor medido de  $q_c$  y repita el procedimiento para las otras dos interfaces que se proponen en la tabla (vidrio-aire y vidrio-agua).

Tabla 3


Medio de incidencia	Medio de transmisión	$n_i$	$n_t$	$\theta_c$ (medido)	$\theta_c$ (calculado)	Error relativo
Agua	Aire					
Vidrio	Aire					
Vidrio	Agua					

### Actividad II.2

En la misma tabla de la actividad anterior, anote el valor teórico (calculado) del ángulo crítico, para cada una de las interfaces. Recuerde que  $q_c = \text{sen}^{-1}(n_t/n_i)$ .

### Actividad II.3

Complete la tabla determinando, para cada interfase, el error relativo (o porcentual) del valor medido de  $q_c$ , con respecto a su valor calculado.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	63/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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

En la figura 2, se muestra el esquema de un prisma dispersor, en que se indican el ángulo de incidencia en la cara 1 del prisma ( $\theta_{i1}$ ) y las desviaciones angulares que tienen lugar en las caras 1 y 2 ( $\beta_1$  y  $\beta_2$ ).

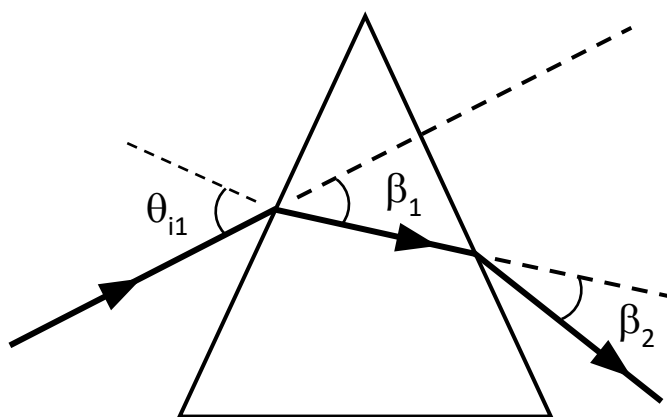



Figura 2. Prisma dispersor, con ángulo de incidencia y desviaciones angulares.

En la sección de prismas del simulador, seleccione el prisma triangular y una longitud de onda  $\lambda = 450$  [nm]. Dirija el láser hacia el prisma, con un ángulo de incidencia  $\theta_{i1} = 30^\circ$ , y mida con el goniómetro (transportador) las desviaciones angulares  $b_1$  y  $b_2$ , como se muestra en la figura 3.

**Observación:** Note que para poder medir las desviaciones  $b_1$  y  $b_2$ , es necesario que la porción del rayo de luz que se transmite *dentro del prisma* tenga una longitud mayor o igual que el radio del transportador. Esto se logra desplazando en dirección vertical la fuente de luz, o bien, el prisma, hasta una posición adecuada para cada valor del ángulo de incidencia  $\theta_{i1}$ .

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	64/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

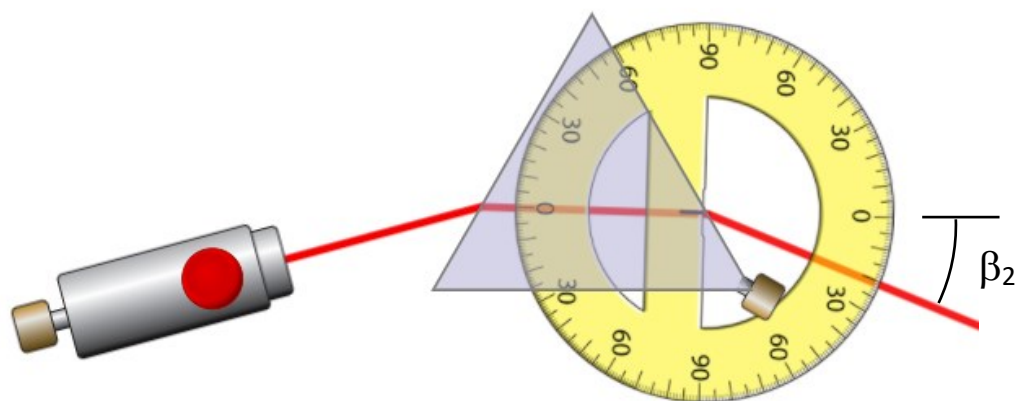


Figura 3. Medición de la desviación angular  $b_2$ .

### Actividad III.1

Registre en una tabla como la siguiente las desviaciones  $b_1$  y  $b_2$ , medidas para diferentes valores del ángulo de incidencia  $i_1$  entre  $30^\circ$  y  $70^\circ$ . Calcule y registre también la desviación angular total ( $\delta = i_1 + b_2$ ).


Tabla 3

$i_1$ $^\circ$	$b_1$	$b_2$	$\delta$
30			
40			
50			
60			
70			

### Actividad III.2

Trace una gráfica de  $d$  vs  $i_1$  y determine la desviación angular mínima  $d_m$ .



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	65/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### Actividad III.3

Registre el ángulo de desviación mínima  $d_m$  y, a partir de éste, obtenga el índice de refracción ( $n$ ) del vidrio del que está hecho el prisma.


Recuerde que:

$$n = \frac{\text{sen} \left( \frac{\delta_m + \alpha}{2} \right)}{\text{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right)}$$

## 4. Conclusiones


## 5. Cuestionario previo

1. ¿Cómo se definen los ángulos de *incidencia*, *reflexión* y *transmisión*?
2. ¿Cómo se define el *índice de refracción* de una sustancia?
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 total* ( $d$ ) en un prisma dispersor?
7. ¿Cuál es la expresión que permite determinar el índice de refracción ( $n$ ) del material de un prisma, si se conocen el ángulo entre las caras que intervienen en la desviación del haz ( $\alpha$ ) y la desviación angular mínima ( $d_m$ )?

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	66/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


## 6. Referencias

- Alonso, M., & Finn, E. (1987). *FÍSICA VOL. II: CAMPOS Y ONDAS*. México: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Hecht, E. (2000). *ÓPTICA* (Tercera ed.). Madrid, España: Addison Wesley Iberoamericana.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (1997). *Física* (Tercera ed., Vol. I). México: C.E.C.S.A.
- University of Colorado Boulder. (25 de Octubre de 2019). *Simulador: Reflexión y Refracción de la Luz*. Obtenido de PhET Interactive Simulations: [https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_es.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_es.html)
- Young, H., & Freedman, R. (2014). *Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA* (Decimotercera ed., Vol. 2). México: Pearson.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	67/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 9

## Lentes

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	68/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. 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.

## 2. Herramienta digital

- Lentes delgadas – (ir a la parte inferior) Experimente y Aprende  
<https://www.fisicalab.com/apartado/lentes-delgadas#vertambien>

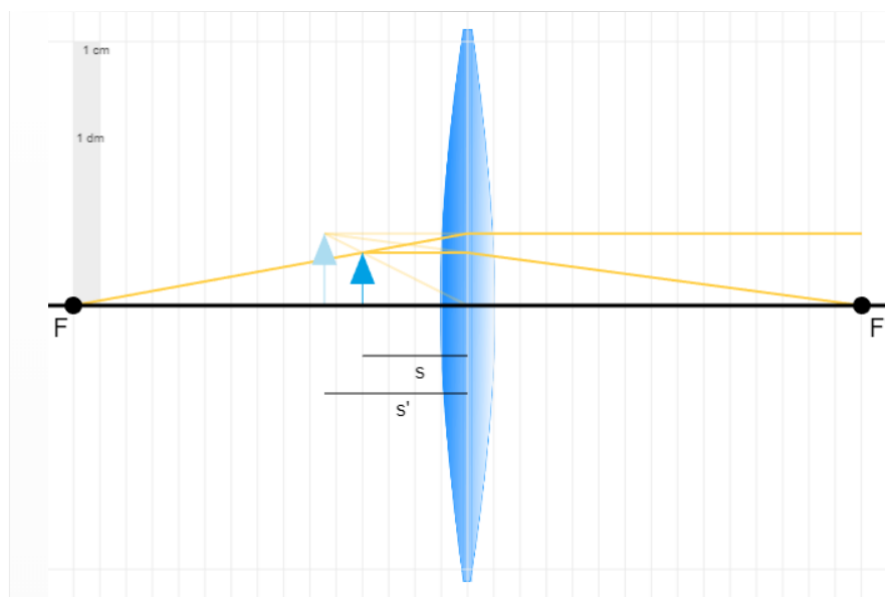



Figura 1. Simulador: Lentes delgadas.

## 3. Desarrollo

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

Familiarícese con el simulador “**Lentes delgadas – Experimente y Aprende**”. Arrastre el objeto, en azul oscuro, para cambiar su distancia “ $s$ ” respecto a la misma. Es posible que se reajuste para adaptarse a la nueva disposición de los elementos. Observe cómo cambian los rayos principales, dibujados en amarillo.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página:	69/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión:	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Abra los controles, arriba a la derecha, para cambiar distintos elementos del sistema introduciendo en las casillas correspondientes los valores que desees. Observe que la altura máxima del objeto no puede ser superior al menor de los radios de la lente.

Pulsando la casilla *Datos* se puede obtener una tabla con los valores más destacados del sistema ( $s, s', f, f', y, y', P$  y si la lente es convergente o divergente). Observe como el comportamiento convergente o divergente de una lente depende de la relación entre su propio índice de refracción,  $n'$ , y el del medio en que se encuentre,  $n$ .



Figura 2. Tabla con los valores de casilla Datos.

Los parámetros del recuadro del simulador son:

$R_1$  y  $R_2$  representan los radios de curvatura,  $n'$  es el índice de refracción de la lente,  $y$  es el tamaño del objeto,  $s$  es la distancia objeto y  $n$  es el índice del medio (aire).

Observe que, con el ratón de su computadora, usted puede modificar el tamaño del objeto y la posición (distancia de la lente).

### Actividad I.1

En los controles, elija la lente a una lente biconvexa y seleccione los siguientes parámetros:


Radio de curvatura,  $R_1$ : 10 [cm]

Radio de curvatura,  $R_2$ : 10 [cm]

Índice de refracción,  $n'$ : 1.65

Tamaño del objeto,  $y$ : 2 [cm]

Índice de refracción del ambiente,  $n = 1$

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	70/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Cambiando la distancia del objeto a la lente ( $s$ ), mida la distancia de la imagen de la lente ( $s'$ ). Registre en la tabla siguiente:

$s$ [cm]	$s'$ [cm] (del simulador)	distancia focal $f$ [cm]
10		
15		
20		

Lea el valor de la distancia imagen ( $s'$ ) de la tabla de valores, pulsando la casilla Datos.

A partir de la ecuación de las lentes delgadas, calcule la distancia focal ( $f$ ) de la lente para la pareja de valores  $s$  y  $s'$  en cada renglón de la tabla.

Recuerde que:  $f = s \cdot s' / (s + s')$

Obtenga el promedio de los 3 valores de  $f$  calculados, la cual representa una mejor estimación de la distancia focal de la lente.

Utilizando como referencia el valor de  $f$  proporcionado por el simulador, determine los valores absoluto y relativo del error de su estimación.


## EXPERIMENTO II. CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES.

### Actividad II.1

Conservando los valores de los parámetros de la simulación anterior y para los casos de valores  $s$  propuestos en la tabla siguiente, observe las características de las imágenes y regístrelas en ella.

Tabla 1

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

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	71/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### EXPERIMENTO III. AUMENTO LATERAL.

#### Actividad III.1

Determine el tamaño ( $y'$ ) de la imagen usando la graduación de la pantalla y mida también  $s$  y  $s'$ . Se sugiere que:  $f < s < 2f$ .

#### Actividad III.2

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

$$M_T = m = -\frac{s'}{s}$$

### EXPERIMENTO IV. CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES DE UNALENTE DIVERGENTE.

Elija la lente planocóncava y seleccione los siguientes parámetros:

Radio de curvatura,  $R_2$ : 4 [cm]

Índice de refracción,  $n'$ : 1.5

Tamaño del objeto,  $y$ : 2 [cm]

Índice de refracción del ambiente,  $n = 1$

Distancia focal,  $f$ : -8 [cm]


#### Actividad IV.1

Con los valores de los parámetros y para los casos de valores  $s$  propuestos en la tabla siguiente, observe las características de las imágenes y regístrelas en ella.

Tabla 2

s	s' (+ 0 -)	Imagen		Aumento
		Real o virtual	Derecha o invertida	> 1 = 1 < 1
$s > 2 f $				
$ f  < s < 2 f $				
$s =  f $				
$s <  f $				

## 4. Conclusiones

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	72/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 5. 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 (o transversal)”  $M_T$  de una imagen?


## 6. Referencias

Fernández, José L. (s.f.). *Lentes Delgadas*. Obtenido de Fisicalab:  
<https://www.fisicalab.com/apartado/lentes-delgadas>

Hecht, E. (2000). *ÓPTICA* (Tercera ed.). Madrid, España: Addison Wesley Iberoamericana.


Young, H., & Freedman, R. (2014). *Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA* (Decimotercera ed., Vol. 2). México: Pearson.



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	73/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 10

## Sistemas de lentes

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	74/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Objetivos de aprendizaje

1. Experimentar en sus versiones más sencillas los siguientes sistemas de lentes:
  - Microscopio simple.
  - Microscopio compuesto.
  - Telescopio de Kepler.
  - Telescopio de Galileo.
2. Determinar el aumento de cada uno de los sistemas anteriores.
3. Verificar mediante experimentos virtuales algunas de las predicciones teóricas sobre telescopios.

## 4. Herramientas digitales

- **HyperPhysics**  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>
- **Lupa**  
[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_lupa&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_lupa&l=es)
- **Microscopio compuesto**  
[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_mikroskop&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_mikroskop&l=es)
- **Telescopio de Kepler**  
[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_kepler&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_kepler&l=es)
- **Telescopio astronómico refractor**  
[https://www.walter-fendt.de/html5/phen/refractor\\_en.htm](https://www.walter-fendt.de/html5/phen/refractor_en.htm)
- **Telescopio de Galileo**  
[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_galileo&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_galileo&l=es)

## 5. Desarrollo


### EXPERIMENTO I. MICROSCOPIO SIMPLE

Ingrese al sitio **HyperPhysics** y diríjase a la página de **Lupa Simple** (Figura 1). La ruta de navegación es:

Español → Luz y Visión → Instrumentos Ópticos → Lupa Simple

O ingrese directamente a la liga:

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/geoopt/simmag.html>

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	75/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### Actividad I.1

Observe las dos ilustraciones que representan un ojo humano en sección transversal. El tamaño aparente de un objeto depende del tamaño de su imagen formada por el ojo en la retina (en el fondo del ojo). Observe cómo el tamaño de esa imagen depende, a su vez, del ángulo bajo el cual el ojo ve al objeto,  $a$  y  $a'$ , en las dos ilustraciones. Con base en ello, explique de manera concisa por qué el ojo ve más grande el objeto (en forma de flecha) a través de la lupa, que a simple vista.

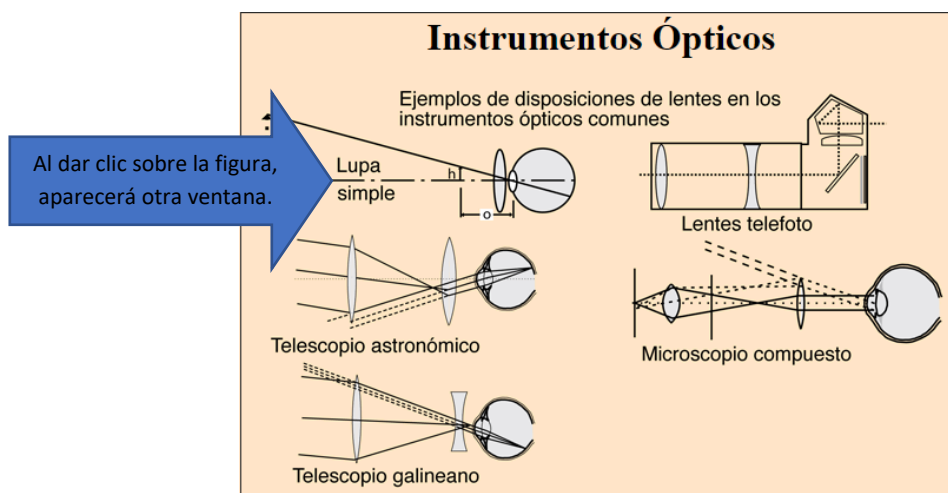



Figura 1. Página sobre Instrumentos Ópticos en el sitio Web HyperPhysics

**Nota:** Como sugiere la ilustración, lo que el ojo realmente ve a través de la lupa es una imagen virtual, derecha y aumentada del objeto. En la fotografía del ángulo superior izquierdo puede apreciarse la imagen virtual, derecha y aumentada, producida por una lupa, de un texto en letra pequeña.

El *aumento angular*  $M_a$  de una lupa (o microscopio simple) se define como el cociente de los ángulos bajo los cuales el ojo ve un objeto, a través de la lente ( $a'$ ) y a simple vista ( $a$ ), cuando éste se ubica a 25 cm del ojo ( $M_a = a'/a$ ). Dado que, para ángulos pequeños, el valor del ángulo (en radianes) es aproximadamente igual al de su tangente,  $q \approx \tan(q)$ , se tiene que  $M_a = 25/f$ , donde  $f$  es la distancia focal de la lupa en centímetros, como se muestra en la página.

### Actividad I.2

Abra el simulador de “**Lupa**” y active en forma alternada los botones 1 y 2. Observe cómo la presencia de la lupa permite observar el insecto a una distancia más corta del ojo, bajo un ángulo  $t'$  mayor que el ángulo  $t$  que subtende el insecto cuando se ubica a 25 [cm] del ojo.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	76/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

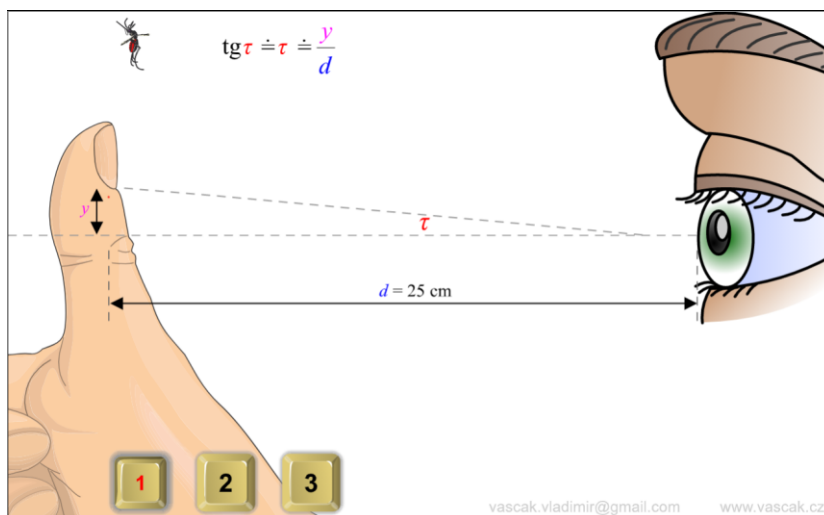


Figura 2. Captura de pantalla de la animación de Lupa.

**Nota:** La página y el simulador emplean diferente notación para las mismas variables. A fin

**Nota:** La página y el simulador emplean diferente notación para las mismas variables. A fin de evitar cualquier posible confusión, la tabla 1 resume ambas notaciones.


Tabla 1. Notaciones empleadas en relación con el microscopio simple o lupa

	HyperPhysics	Simulador
Ángulo de visión	$\alpha$	$\tau$
Aumento angular	$M_a$	$\gamma$

Si el tamaño del insecto es de 5 [mm], y la lupa tiene una distancia focal  $f = 10$  cm, determine los ángulos  $t$  y  $t'$ , así como el aumento angular ( $M_a$ ) de la lupa, y registre los valores en la tabla 2.

Tabla 2. Determinación del aumento angular de un microscopio simple (lupa)

Ángulo de visión		Aumento angular
A simple vista	Con la lupa	
$t = \text{_____}$ [rad]	$t' = \text{_____}$ [rad]	$M_a = \text{_____}$

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	77/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## EXPERIMENTO II. MICROSCOPIO COMPUESTO

Ingresa a la página de la animación “**Microscopio compuesto**” y observe los detalles que reproduce. Vea cómo muestra el desplazamiento del tubo, producido al girar el tornillo macrométrico. Note también que el microscopio cuenta con tres objetivos intercambiables montados en una pieza giratoria (o revólver), los cuales intercambian sus posiciones como parte de la animación. En la práctica, el intercambio de objetivos le permite al usuario seleccionar entre tres valores diferentes de aumento del microscopio.

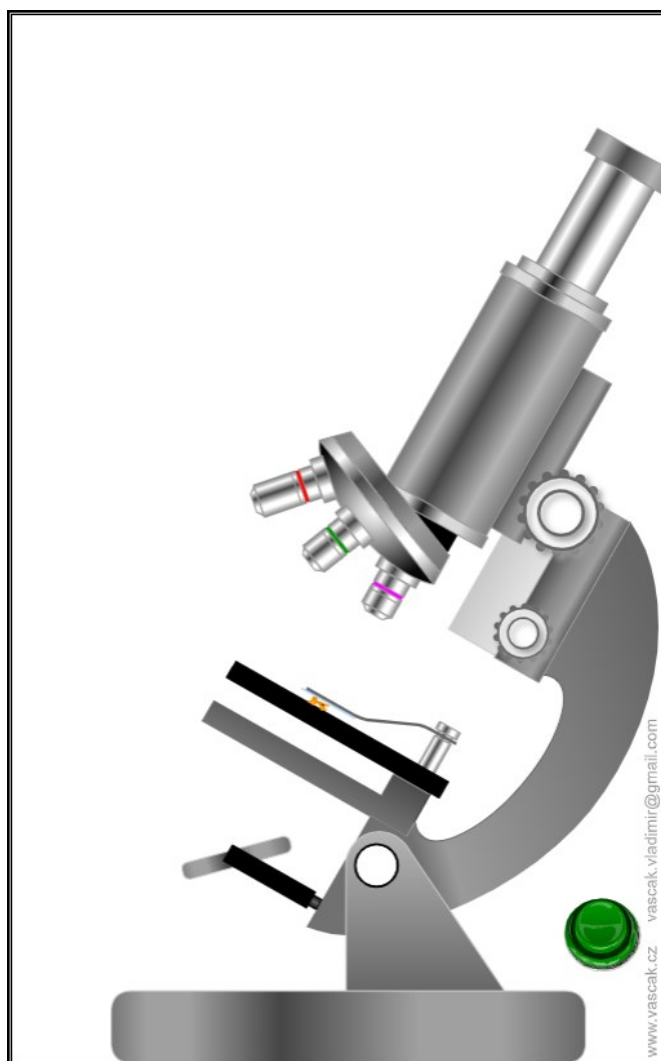



Figura 3. Captura de pantalla de la animación del microscopio compuesto.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	78/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Oprima el botón verde para acceder a la segunda parte de la animación. Ésta demuestra los pequeñísimos desplazamientos del tubo, al girar ahora el tornillo micrométrico. También se muestra un esquema de las dos lentes principales del microscopio: el *objetivo* y el *ocular* (representadas por flechas de color azul con doble punta), y las imágenes que ellas forman (representadas por flechas de color amarillo). La animación demuestra el cambio de ubicación que experimentan estas imágenes, debido a los pequeños desplazamientos del tubo (los cuales hacen variar la distancia del objeto al objetivo).

Los focos de la lente objetivo se identifican en el esquema como  $F_1$  y  $F_1'$ . De la lente ocular solo se muestra el foco objeto, etiquetado como  $F_2$ . El tamaño del objeto se representa por  $y$ . A su vez,  $y'$  representa el tamaño de la *primera imagen*, formada por el objetivo, la cual es real, invertida y aumentada, y se localiza entre el ocular y su foco  $F_2$ . Finalmente, el tamaño de la imagen formada por el ocular (que es la que ve el usuario del microscopio) se representa por  $y''$ . Ésta es, como puede apreciarse, virtual y aumentada, y su orientación es la misma que la de la primera imagen.

### Actividad II.1


Como sabemos, la condición óptima de observación se tiene cuando la *segunda imagen* (virtual, formada por el ocular) se ubica infinitamente alejada, porque así el ojo la observa sin esfuerzo alguno de acomodación. Por medio del botón amarillo puede pausar la animación, para apreciar con más detalle las características de ambas imágenes en sus diversas ubicaciones.

¿En dónde debe ubicarse la primera imagen (formada por el objetivo), para que la segunda se forme a una distancia infinita del ocular y del ojo?

### Actividad II.2

Sabemos que el *aumento total* (o poder de aumento) de un microscopio compuesto lo determinan las distancias focales de su objetivo ( $f_1$ ) y su ocular ( $f_2$ ). Específicamente, es el producto del aumento transversal del objetivo,  $(M_T)_{ob} = y'/y$  (el cual sabemos que depende de su distancia focal) y el aumento angular del ocular,  $(M_a)_{oc} = 250/f_2$ , donde  $f_2$  se expresa en milímetros. Esto es,  $M = (M_T)_{ob}(M_a)_{oc}$ .

La distancia  $L$  entre el foco imagen del objetivo ( $F_1'$ ) y el foco objeto del ocular ( $F_2$ ) es un parámetro de diseño del instrumento, que se conoce como *longitud de tubo*. Normalmente, en los microscopios comerciales tiene un valor estándar:  $L = 160$  mm. Puesto que  $L$  es en todos los casos mucho mayor que las distancias focales del objetivo y del ocular, el aumento transversal del objetivo se puede aproximar por medio de la expresión  $(M_T)_{ob} = L / f_1$ .

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	79/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


Con base en estas consideraciones, determine los tres valores de aumento que ofrece un microscopio con un ocular de 25 [mm] de distancia focal, y tres objetivos (intercambiables) cuyas distancias focales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Cálculo del aumento de un microscopio compuesto

Objetivo	Distancia focal del objetivo ( $f_1$ ) [mm]	Aumento transversal del objetivo ( $M_T$ ) <sub>ob</sub>	Aumento total del microscopio (M)
1	40		
2	16		
3	4		

### EXPERIMENTO III. TELESCOPIO DE KEPLER.

Abra el simulador “**Telescopio de Kepler**”. El botón verde únicamente permite activar y desactivar la simpática animación de la parte superior. El dibujo animado de la parte inferior, que se activa por medio del botón rojo, representa en forma esquemática las lentes *objetivo* y *ocular* de un telescopio astronómico. En este caso se muestran el foco imagen ( $F_2$ ) del objetivo y los dos focos ( $F_1'$  y  $F_2'$ ) del ocular. También se representan la primera imagen (real), formada por el objetivo, y la segunda (virtual), formada por el ocular. La animación demuestra el efecto que produce en las imágenes la variación en la distancia objetivo-ocular. El *enfoque* del telescopio consiste en ajustar dicha distancia hasta lograr una visión clara del objeto observado. Para ello, en la práctica, las lentes se montan en tubos deslizables que encajan uno en el otro, en la conocida forma “telescópica” (claramente apreciable en el telescopio del niño del simulador).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	80/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

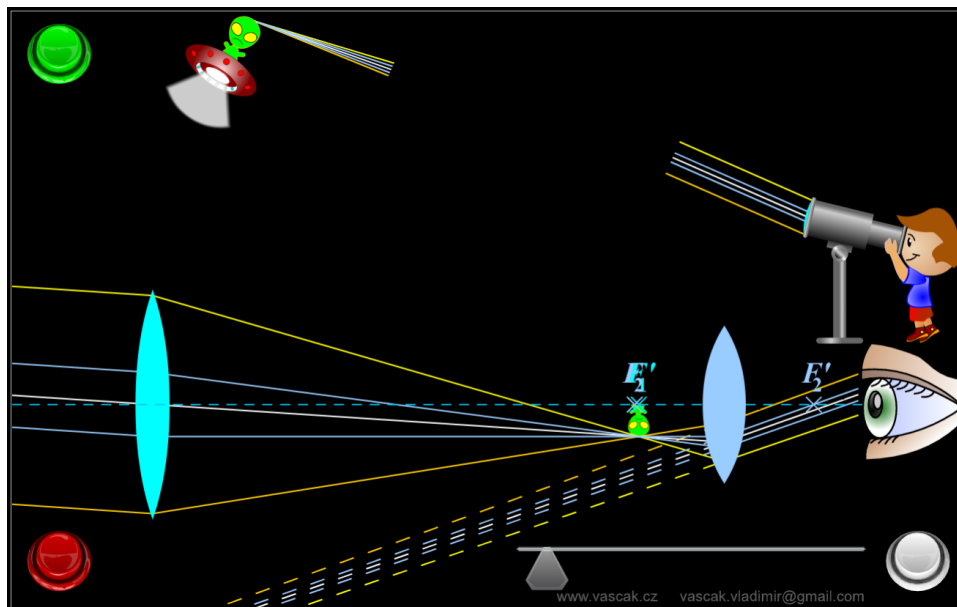



Figura 4. Captura de pantalla de la animación del telescopio de Kepler.

### Actividad III.1

El botón gris detiene la animación y hace posible la interacción con el simulador, por medio del control deslizable, de color gris, de la parte inferior. Deslízcelo lentamente y observe cómo se modifican las posiciones de ambas imágenes. ¿En qué punto debe formarse la primera imagen, para que la segunda se forme a una distancia infinita del ocular, como es deseable? En términos de las distancias focales  $f_1$  y  $f_2$ , ¿cuál es la distancia de separación objetivo-ocular, cuando el telescopio se enfoca “al infinito”?

Abra el simulador “**Telescopio astronómico refractor**”. Esta sencilla aplicación también simula la operación de un telescopio de Kepler. Observe que permite especificar las distancias focales del objetivo y el ocular en un rango de valores de 0.05 [m] a 0.5 [m], mediante los campos de texto del panel. También permite modificar la dirección de los rayos que inciden en el objetivo, arrastrándolos con el puntero del mouse.



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	81/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

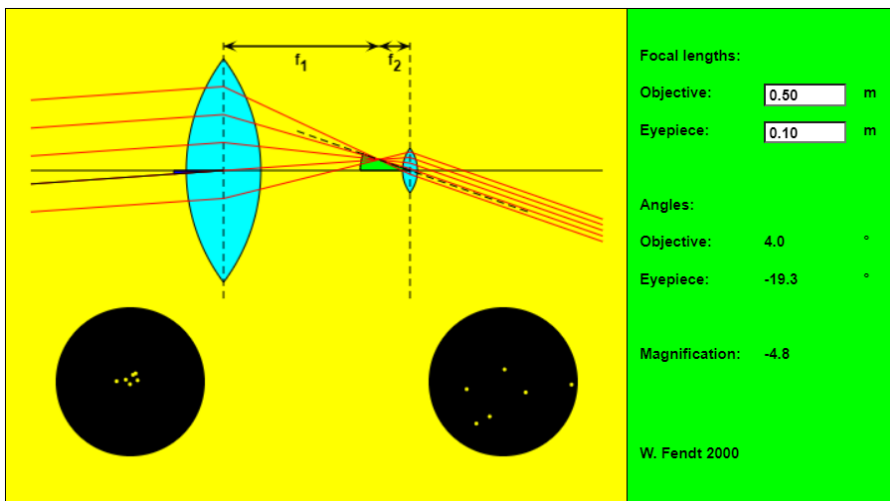


Figura 5. Captura de pantalla del simulador Telescopio astronómico refractor.

La aplicación muestra los valores de los ángulos de incidencia en el objetivo y en el ocular, y calcula el aumento total (magnification) del telescopio. También simula en dos círculos oscuros la vista, a ojo desnudo y a través del telescopio, del cúmulo estelar *Las Pléyades* (de la constelación de Tauro).

**Observación:**


Después de introducir cada valor en los campos de texto, es necesario presionar la tecla “Enter”, para que la aplicación lo reconozca.

**Actividad III.2**

Por medio de este simulador, determine el *aumento total* ( $M = -f_1/f_2$ ) del telescopio, para las combinaciones de lentes objetivo y ocular que se presentan en la tabla 4. Dirija los rayos con un ángulo de incidencia normal, o aproximadamente normal. Observe en cada caso las vistas a través del telescopio que proporciona la aplicación. ¿Cómo es la imagen que se observa, derecha o invertida?

Tabla 4. Cálculo del aumento de un telescopio de Kepler

Telescopio	Distancias focales		Aumento total (M)
	Objetivo	Ocular	
1	$f_1 = 0.25$ [m]	$f_2 = 0.05$ [m]	
2	$f_1 = 0.25$ [m]	$f_2 = 0.10$ [m]	

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	82/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

#### EXPERIMENTO IV. TELESCOPIO DE GALILEO.

Abra el simulador “**Telescopio de Galileo**” y oprima los botones para que advierta la función de cada uno. Observe que el botón gris detiene la animación y permite interactuar con el simulador. Deslice el control para modifica la distancia objetivo-ocular, esto es, para *enfocar* el telescopio. Observe que en este tipo de telescopio el ocular es una lente divergente. Esa es la diferencia con el telescopio de Kepler.

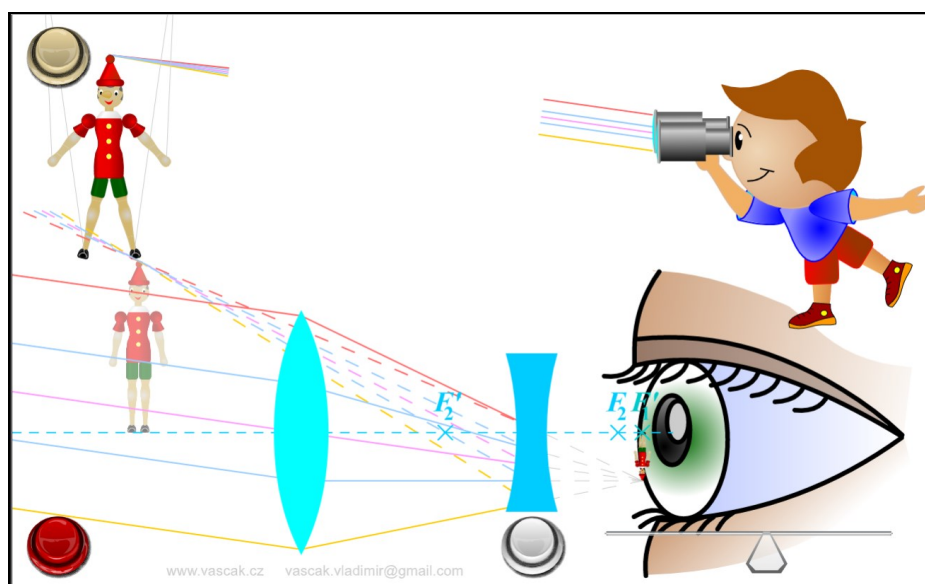


Figura 6. Captura de pantalla de la animación del Telescopio de Galileo.

##### Actividad IV.1


Puede advertirse que en el telescopio de Galileo la primera imagen (formada por el objetivo) se ubica detrás del ocular, entre el ocular y el ojo del observador. ¿En qué punto específico debe localizarse esa primera imagen para que la segunda se forme infinitamente lejos, como es deseable? ¿Cuál es la distancia objetivo-ocular cuando ello ocurre?

##### Actividad IV.2

Para resumir y comparar los dos tipos de telescopio considerados, determine el aumento total, la distancia objetivo-ocular para el enfoque al infinito, y la orientación de la imagen, para los dos instrumentos que se especifican en la tabla 5.

Tabla 5. Comparación de telescopios

Telescopio	Distancias focales		Aumento total (M)	Distancia objetivo-ocular	Imagen (derecha/invertida)
	Objetivo	Ocular			
Kepler	$f_1 = 250$ [mm]	$f_2 = 50$ [mm]			
Galileo	$f_1 = 250$ [mm]	$f_2 = -50$ [mm]			

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	83/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


## 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 transversal del objetivo?
5. ¿Cómo se define el “aumento angular” o “aumento total” de un telescopio?
6. ¿Qué relación existe entre el aumento total de un telescopio y las distancias focales de su objetivo y de su ocular?


## 7. Referencias

- Fendt, W. (12 de Enero de 2016). *Refracting Astronomical Telescope*. Obtenido de Walter Fendt - Apps on Physics: [https://www.walter-fendt.de/html5/phen/refractor\\_en.htm](https://www.walter-fendt.de/html5/phen/refractor_en.htm)
- Hecht, E. (2016). *ÓPTICA* (Quinta ed.). España: Pearson.
- Nave, C. (2017). *HyperPhysics*. (Department of Physics and Astronomy, Georgia State University) Obtenido de HyperPhysics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/hframe.html>
- Vaščák, V. (s.f.). *Galileo telescopio*. Obtenido de Física en la escuela - HTML5 (Física Animaciones/Simulaciones): [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_galileo&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_galileo&l=es)
- Vaščák, V. (s.f.). *Kepler telescopio*. Obtenido de Física en la escuela - HTML5 (Física Animaciones/Simulaciones): [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_kepler&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_kepler&l=es)
- Vaščák, V. (s.f.). *Lupa*. Obtenido de Física en la escuela - HTML5 (Física Animaciones/Simulaciones): [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_lupa&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_lupa&l=es)
- Vaščák, V. (s.f.). *Microscopio*. Obtenido de Física en la escuela - HTML5 (Física Animaciones/Simulaciones): [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_mikroskop&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_mikroskop&l=es)
- Young, H., & Freedman, R. (2014). *Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA* (Decimotercera ed., Vol. 2). México: Pearson.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	84/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 11

## Polarización de la luz

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	85/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. 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 para algunas interfaces y las características de polarización de la onda reflejada.

## 2. Herramienta digital

En el desarrollo de esta práctica se emplearán los simuladores siguientes:


- Polarización de la luz  
<http://www.educaplus.org/luz/polarizacion.html>
- Polarización por Reflexión  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/polar.html#c2>

## 3. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. LEY DE MALUS.

#### Actividad I.1

En el simulador “Polarización de la luz”, desplace el botón del ángulo del analizador y observe como varía la intensidad de la luz transmitida a través del analizador.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	86/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

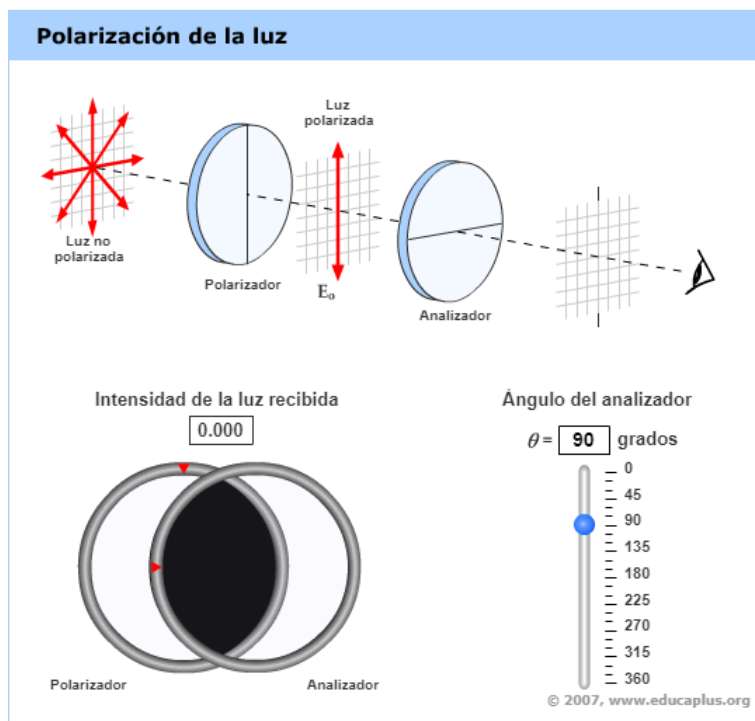



Figura 1. Polarización de la luz

Observe en la figura 1 que el mínimo valor de “intensidad de luz recibida” (la que sale del analizador) se tiene para un ángulo de 90 [°], porque los ejes de transmisión de los dos filtros se hayan perpendiculares entre sí. También puede fijar el valor del ángulo de manera manual en el cuadro correspondiente. Note también que, en el esquema de la parte superior de la ventana del simulador, las líneas en forma de diámetros que representan las direcciones de los ejes de transmisión de los filtros se muestran perpendiculares entre sí, en este caso.

### Actividad I.2

Iniciando con un “Ángulo del analizador” de 0°, incremente dicho ángulo en intervalos de 10° y registre en cada paso la “Intensidad de la luz recibida”  $I(\theta)/I(0)$ , que proporciona el simulador en forma porcentual. Utilice una tabla como la siguiente. Anote asimismo los valores de dicha razón como fracción decimal. Complete la tabla con los valores teóricos para la misma razón de irradiancias  $I(\theta)/I(0)$ , que predice la ley de Malus. Tome en cuenta que tales valores teóricos son simplemente los valores correspondientes de la función  $\cos^2(\theta)$ .

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	87/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

**Tabla 1**

$q$ [°]	Experimental (del simulador)		Teórica
	$I(\theta)/I(0)$ [%]	$I(\theta)/I(0)$ [Fracción]	$I(\theta)/I(0)$ $= \cos^2(\theta)$
0	100	1.000	
10	97	0.970	
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			


### Actividad I.3

Represente en una gráfica  $I(\theta)/I(0)$  vs  $\theta$  los valores teóricos de la relación  $I(\theta)/I(0)$ , registrados en la última columna de la tabla, uniendo los puntos con una línea continua. Represente también, en la misma gráfica, los puntos correspondientes a los valores experimentales, de la penúltima columna.

Comente qué demuestra la gráfica en relación con la Ley de Malus.

## EXPERIMENTO II. ÁNGULO DE BREWSTER.

En el simulador “Polarización por Reflexión”, observe y lea la gráfica de la figura 2, donde en el eje de ordenadas se encuentra la intensidad reflejada, llamada reflectividad (R [%]) y en el eje de abscisas, el ángulo de incidencia ( $\alpha_i$  [°]).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	88/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

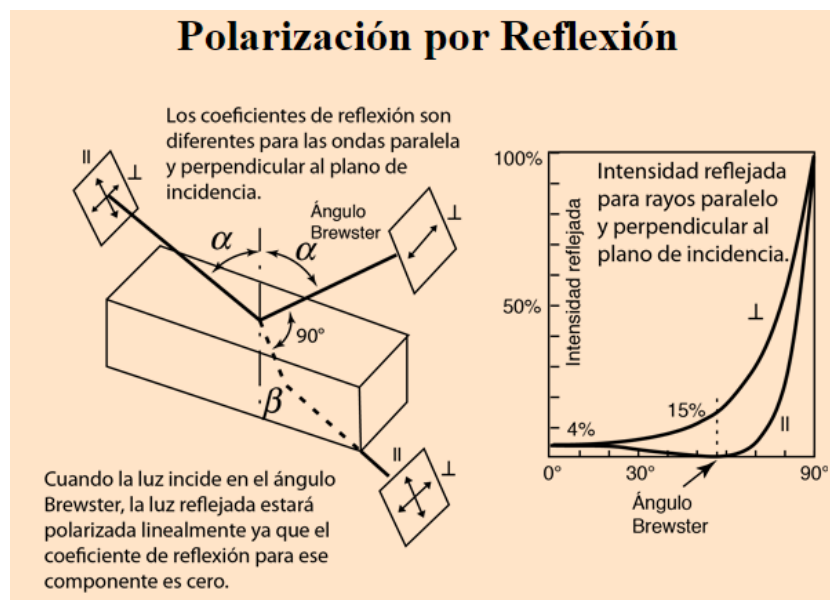


Figura 2. Polarización por reflexión y ángulo de Brewster.

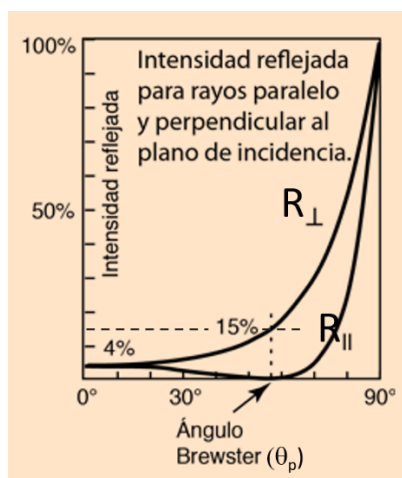



Figura 3. Gráficas de reflectividad para las componentes paralela y perpendicular del campo eléctrico.

### Actividad II.1

Con los ángulos de incidencia proporcionados, observe el valor de la reflectividad de la gráfica y complete la tabla 1 siguiente, donde  $\theta_p$  [°] es el ángulo de Brewster.

Tabla 2



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	89/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

$\alpha_i$ [°]	$R_{\perp}$ [%]	$R_{\parallel}$ [%]
0		
$\theta_p$		
90		

### Actividad II.2

En el simulador “Polarización por Reflexión”, de click en la parte inferior que dice: “Derivación del Ángulo de Brewster”, y se mostrará una ventana, en donde con el uso de la Ley de Snell, podrá determinar el ángulo de Brewster ( $\theta_p$ ). Para el ángulo de Brewster calculado emplee la expresión  $\tan \theta_p = \frac{n_t}{n_i}$ .


Tabla 3

Medio de incidencia	$n_i$	Medio de transmisión	$n_t$	$\theta_p$ [°] (simulador)	$\frac{n_t}{n_i}$	$\theta_p$ [°] (calculado)
aire	1.0	vidrio	1.5			
aire	1.0	agua	1.33			
agua	1.33	vidrio	1.5			

## 4. Conclusiones

## 5. 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 dicroico?
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”?

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	90/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


## 6. Referencias

Hecht, E. (2000). *ÓPTICA* (Tercera ed.). Madrid, España: Addison Wesley Iberoamericana.

Nave, C. (2017). *Polarización por Reflexión*. (Department of Physics and Astronomy, Georgia State University) Obtenido de HyperPhysics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/polar.html#c2>


Peñas, J. (7 de Junio de 2001). *Polarización de la luz [Entrada de Blog]*. Obtenido de Educaplus.org: <http://www.educaplus.org/luz/polarizacion.html>

Young, H., & Freedman, R. (2014). *Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA* (Decimotercera ed., Vol. 2). México: Pearson.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	91/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 12

## Interferencia

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	92/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Objetivos de aprendizaje

1. Observar el patrón de interferencia generado por la luz proveniente de una doble ranura, en una pantalla (Experimento de Young).
2. Utilizar el patrón de interferencia del experimento de Young, para determinar la longitud de onda de la luz empleada.
3. Utilizar el patrón de interferencia producido por el sonido de dos bocinas cercanas, para determinar la longitud de onda del sonido.

## 2. Herramienta digital

En el desarrollo de esta práctica se empleará el simulador siguiente:

- **Interferencia de ondas**

[https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference\\_es.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_es.html)

## 3. Desarrollo

### EXPERIMENTO I. EXPERIMENTO DE YOUNG.

Empleando el simulador “Interferencia de ondas”, seleccione la opción de **Interferencia** (véase figura 1) y observe los patrones de frentes de onda que se producen con las tres opciones de fuentes: agua, sonido y luz.


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	93/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Figura 1. Interferencia de ondas.

### Actividad I.1

Seleccione como fuente de ondas las llaves de agua y abra ambas llaves, pulsando los botones verdes. Active la simulación y deslice el control de separación y observe como se modifica el patrón de frentes de onda del oleaje.

Deslice el control de **amplitud** y observe el efecto en el patrón de oleaje.


Deslice el control de **frecuencia** y observe como cambia la longitud de onda de las olas.

Puede emplear la cinta métrica para las mediciones de longitud, haciendo clic sobre ella y arrastrándola con el puntero del mouse.

Realice las mismas acciones con la fuente de sonido y la fuente de luz.

### Actividad I.2

Empleando el simulador “Interferencia de ondas”, seleccione la opción de **Ranuras** (véase figura 2).

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	94/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

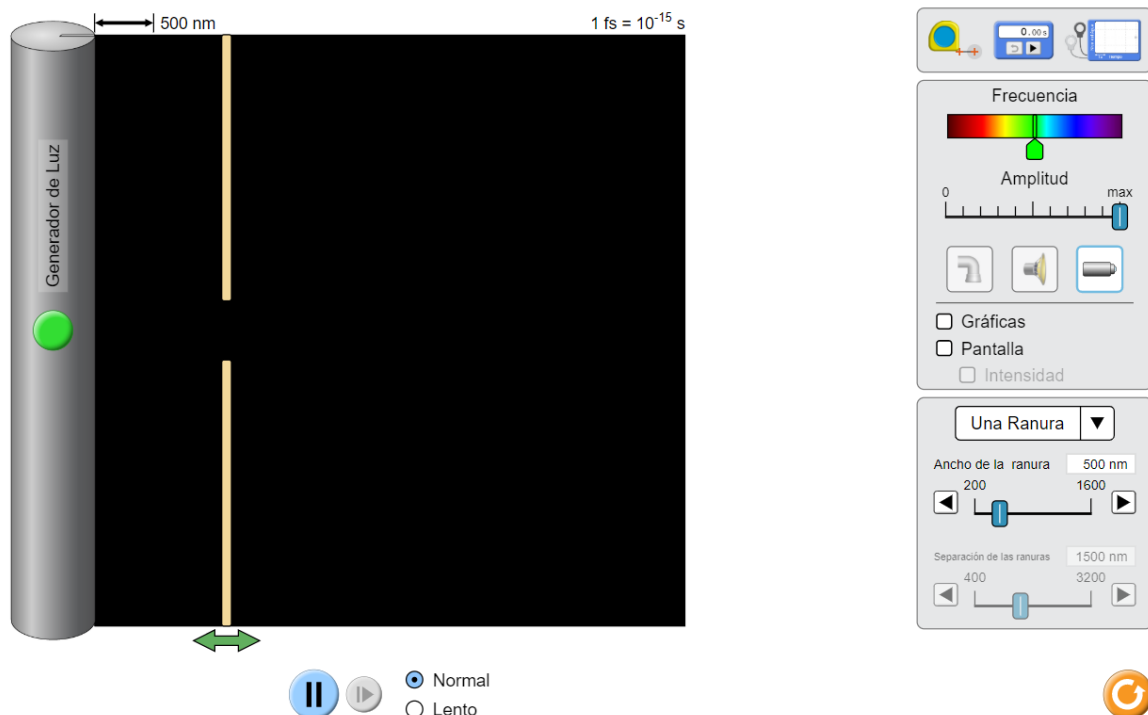


Figura 2. Interferencia de ondas. Ranuras.

I.2.1 Seleccione la fuente de luz y en opción de ranuras, elija dos ranuras. Seleccione un ancho de la ranura de 200 [nm], y una separación de las ranuras ( $a$ ) = 1 500 [nm], finalmente desplace la pantalla que contiene las ranuras (doble flecha verde), hasta que se encuentre lo más cerca posible del generador de luz.

I.2.2 Con ayuda de la cinta métrica mida la distancia ( $s$ ) entre la pantalla que contiene a las rendijas y la pantalla de observación, que habrá de colocarse en el extremo derecho de la ventana del simulador.

I.2.3 Despliegue la pantalla y la gráfica de intensidad, activando las celdas correspondientes, seleccione una frecuencia en el color rojo y determine la longitud de onda de la manera siguiente:

I.2.3.1 Mida con la cinta métrica la separación ( $\Delta y$ ) entre dos mínimos consecutivos de la gráfica de intensidad, los cuales corresponden a franjas oscuras de interferencia destructiva. A continuación, calcule el valor de la longitud de onda ( $\lambda$ ), a partir de la ecuación:  $\lambda = \frac{a \Delta y}{s}$ , que caracteriza al patrón de interferencia del experimento de Young.

I.2.3.2 Registre sus datos en una tabla 1 como la siguiente:


	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	95/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 1

Color	$\Delta y$ [nm]	$\lambda$ [nm]	$\lambda'$ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]	$\Delta\lambda / \lambda$ [nm]
Rojo					
Amarillo					
Verde					
Azul					

I.2.3.3 Ahora, mida directamente la longitud de onda de la luz empleada en el experimento. Para ello, despliegue la cinta métrica entre el valle más cercano a las dobles ranuras y un valle alejado de ellas en 5 longitudes de onda, anote la distancia (véase la figura 3). La longitud de onda aproximada ( $\lambda'$ ) será la distancia medida dividida entre 5. Registre su valor en la tabla 1.

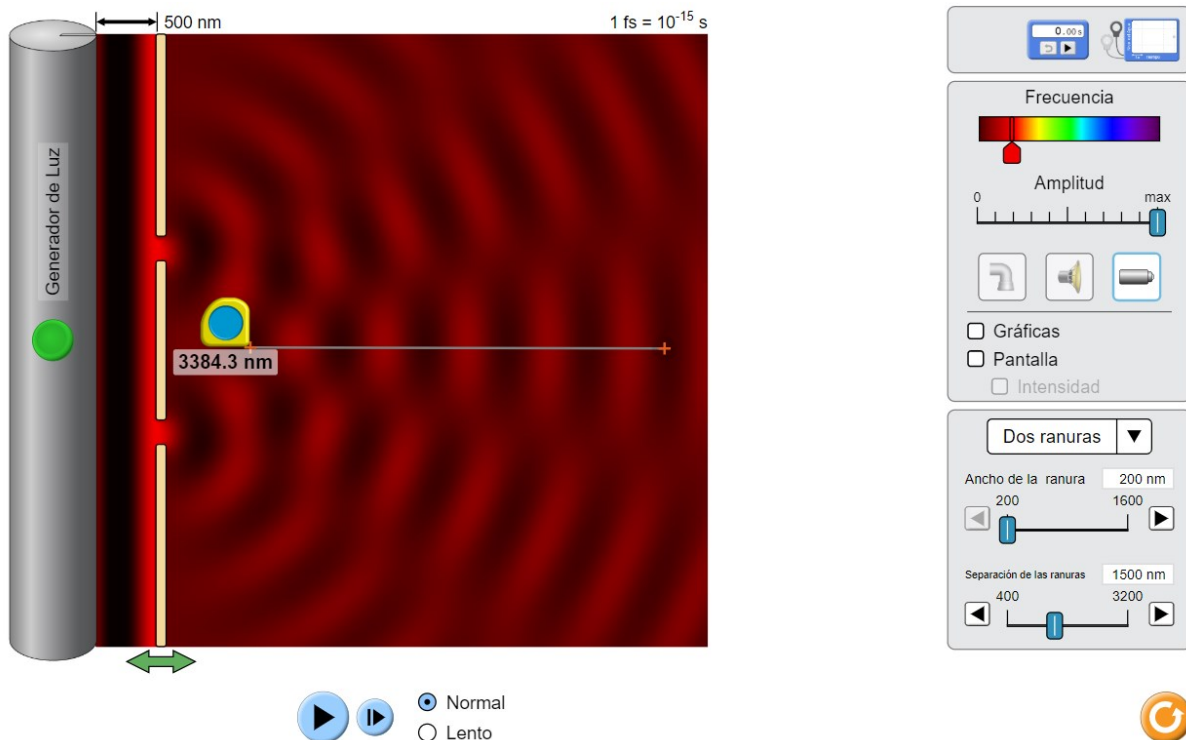



Figura 3. Interferencia de ondas. Ranuras.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	96/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

I.2.3.4 Tomando como referencia la longitud de onda determinada por interferometría ( $\lambda$ ), calcule el error absoluto ( $\Delta\lambda = \left| \frac{\lambda'}{\lambda} \right|$ ) y el error relativo ( $\Delta\lambda / \lambda$ ) de su medición.

I.2.3.5 Determine las longitudes de onda de otros tres colores de luz (amarillo, verde y azul), con el procedimiento utilizado a partir de punto I.2.3.1 al I.2.3.4.

## EXPERIMENTO II. INTERFERENCIA ACÚSTICA DE DOS FUENTES.

Seleccione la opción de **interferencia** del simulador y las bocinas como fuente de ondas. En el extremo derecho de la ventana del simulador, mida con la cinta métrica la distancia entre 4 mínimos de intensidad (interferencia constructiva), como se muestra en la figura 4.

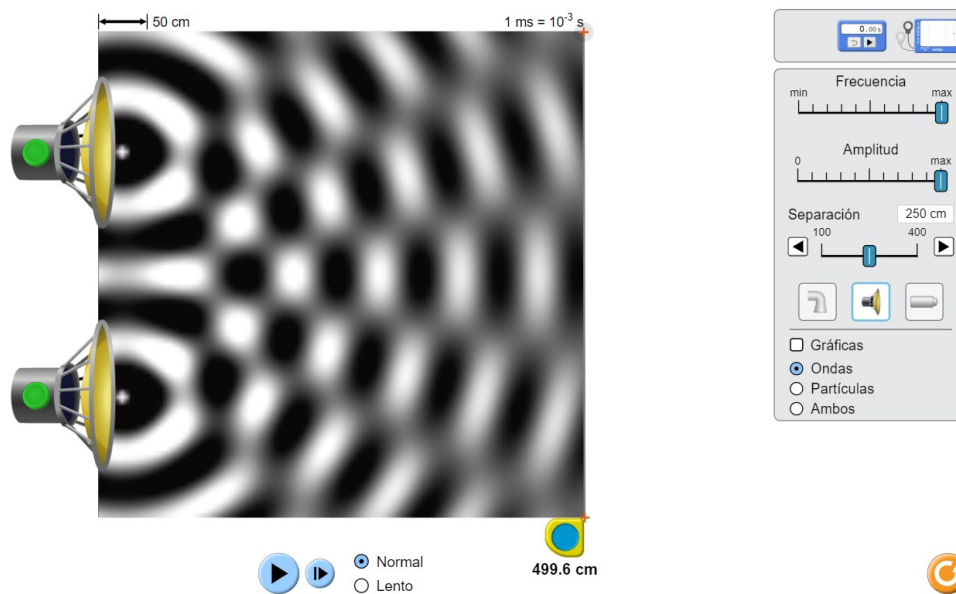



Figura 4. Interferencia de ondas.

La separación entre mínimos de interferencia será la distancia medida dividida entre 3. Observe que la distancia ( $s$ ) entre el origen de una onda y la pared de la derecha del simulador es aproximadamente 470 [cm]. Usted puede corroborarlo con la cinta métrica (véase la figura 5).



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	97/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

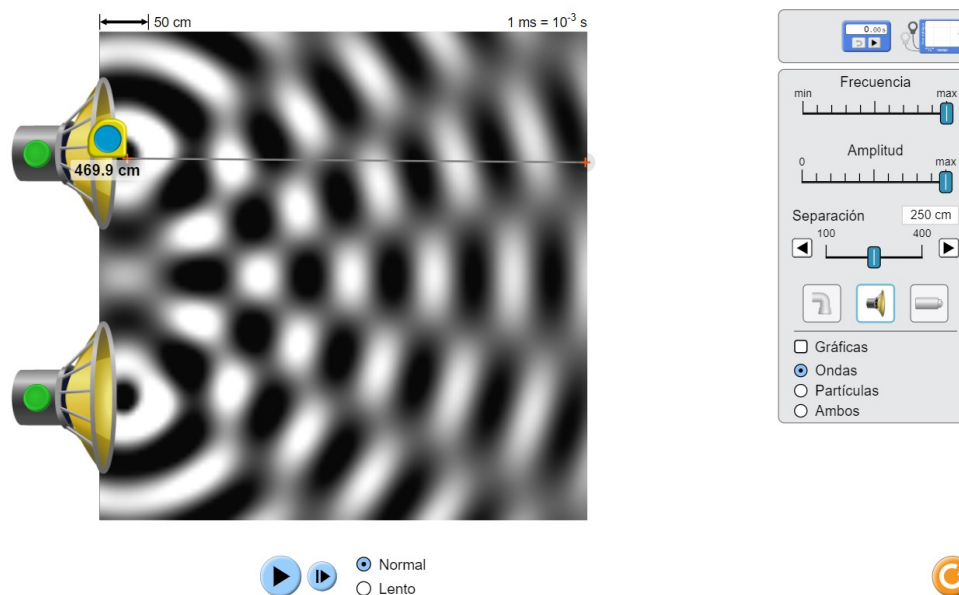


Figura 5. Interferencia de ondas.

### Actividad II.1

Calcule la longitud de onda del sonido, utilizando la ecuación:  $\lambda = \frac{a \Delta y}{s}$ , que caracteriza al experimento de Young y en general al fenómeno de interferencia de dos fuentes.


### Actividad II.2

Mida directamente la longitud de onda. Para ello, active la opción de gráficas, y utilizando la cinta métrica, determine la separación entre dos crestas consecutivas. Compare los dos valores de longitud de ondas obtenidos.

## 4. Conclusiones

## 5. Cuestionario previo

1. En relación con la superposición de ondas, explique brevemente los conceptos de *interferencia*, *interferencia constructiva* e *interferencia destructiva*.
2. Describa brevemente el experimento de Young.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Electromagnetismo y óptica (modalidad a distancia)</b>	Código:	MADO-16
		Versión:	02
		Página	98/98
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	27 de agosto de 2021
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Electromagnetismo y óptica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3. En relación con el experimento de Young, indique qué representan las variables  $x$ ,  $l$ ,  $s$  y  $a$ , en la relación

$$x = \frac{m\lambda s}{a}$$

4. ¿Para qué valores de  $m$ , en la expresión anterior, la interferencia es constructiva (franja iluminada), y para qué valores de  $m$  es destructiva (franja oscura)?

5. De la expresión para  $x$  en el párrafo 3, deduzca la expresión  $\Delta x = \frac{\lambda s}{a}$ , en la que  $\Delta x$  representa la separación entre franjas iluminadas (u oscuras) consecutivas, en un patrón de interferencia de dos fuentes.

## 6. Referencias

Hecht, E. (2000). *ÓPTICA* (Tercera ed.). Madrid, España: Addison Wesley Iberoamericana.

University of Colorado Boulder. (25 de Febrero de 2020). *Simulador: Interferencia de Ondas*. Obtenido de PhET Interactive Simulations: [https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference\\_es.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_es.html)

Young, H., & Freedman, R. (2014). *Sears y Zemansky FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA* (Decimotercera ed., Vol. 2). México: Pearson.