

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA de MÉXICO
Facultad de Química



FUNDAMENTOS de ESPECTROSCOPIA

Manual de Prácticas a Casa



Departamento de
Física y Química Teórica

Práctica 1: Ley de reflexión de la luz en un espejo casero.

Autor: Marco Antonio Franco

Objetivos

Se comprobará la ley de la reflexión de la luz utilizando un dispositivo constituido únicamente por un espejo, un transportador y un puntero láser.

Antecedentes.

Cuando un haz de luz incide a un ángulo θ_1 con respecto a la normal de una superficie que separa dos medios, parte de esta se transmite y parte se refleja, como se observa esquemáticamente en la Figura 1. En donde el ángulo θ_2 , corresponde al ángulo de reflexión.

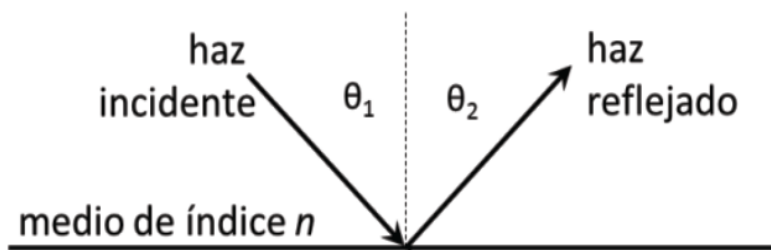


Figura 1. Reflexión de la luz

Procedimiento.

El siguiente protocolo está pensado para ser desarrollado con el mínimo de material, el cual se puede tener de manera accesible en casa. El aparato general del procedimiento propuesto se encuentra ilustrado en la Figura 2. Coloque sobre una cartulina blanca, la impresión del transportador (anexo) procurando que la imagen se encuentre centrada, a orilla del extremo más largo de la cartulina (Figura 2.). Al centro del transportador colocar un pequeño espejo para reflejar de un haz luz (láser), no se requiere de un instrumento preciso basta con los comerciales. Dirija el haz de luz al centro del espejo y registre el ángulo de incidencia. Para determinar el ángulo de reflexión, marque la luz reflejada sobre un objeto opaco (como una cartulina gris). Si conoce la distancia entre el espejo y el objeto opaco, podrá conocer el valor de ángulo θ_2 mediante relaciones trigonométricas (Este mismo procedimiento puede realizarse para determinar el ángulo de incidencia). Realice este proceso para al menos nueve ángulos de incidencia diferentes.

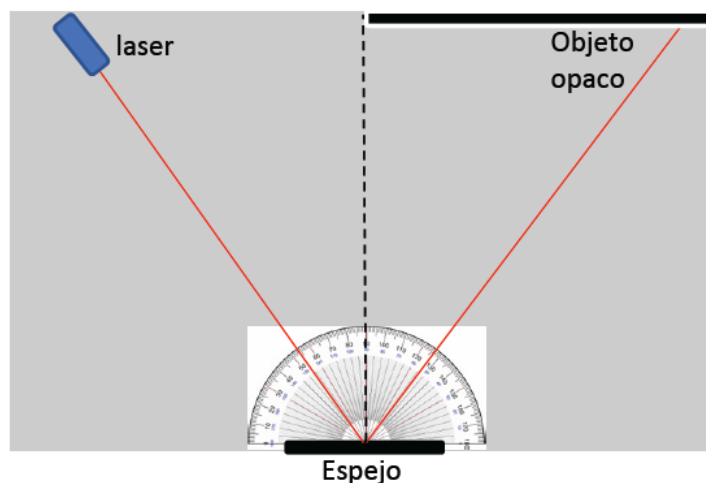


Figura 2. Esquema del montaje experimental

Tratamiento de datos

- Construya una gráfica de θ_1 vs. θ_2 con los valores obtenidos para la reflexión de la luz.
- Establezca la relación matemática del ángulo de reflexión como función del ángulo de incidencia

Bibliografía

1. Eugene Hetch, Alfred Zajac. Óptica. Fondo Educativo Interamericano, S. A., 1977, p. 64-105.
2. David Halliday, Robert Resnick, Kenneth S. Krane. Physics, Volumen 2, John Wiley & Sons, Inc., 1992, p. 904-909
3. Salvador Gil, Eduardo Rodríguez. Física re-Creativa, Prentice Hall, 2001, p. 193-194.

Práctica 2: Reflexión y refracción en gelatina

Autores: *María Teresa Flores, Marco Antonio Franco*

Objetivos

Determinar la ley de reflexión y la ley de Snell de la refracción de la luz utilizando una gelatina como prisma refractante y un puntero láser como fuente de luz.

Antecedentes

La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda, cuando pasa de un medio a otro. La rapidez de propagación de la luz cambia según el medio por el que viaja. El índice de refracción relaciona la velocidad de la luz en el vacío con la velocidad de la luz en el medio, esto es,

$$n = \frac{c}{v_{\text{medio}}}$$

Ley de Snell

La ley de Snell dice que el producto del índice de refracción n por el seno del ángulo de incidencia θ es constante para cualquier rayo de luz incidiendo sobre la superficie que separa a dos medios, es decir, $n \cdot \sin \theta = \text{constante}$. Como el rayo incidente es refractado en una misma superficie se tiene la siguiente igualdad, (ver Figura 1).

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Donde n_1 es el índice de refracción del medio por donde viaja el haz incidente y n_2 es el medio por donde viaja el haz refractado.

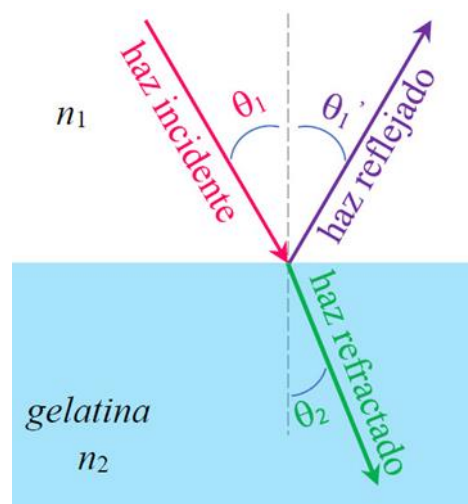


Figura 1. Fenómeno de refracción.

Procedimiento experimental.

Preparar una gelatina transparente (de anís por ejemplo) en forma cilíndrica. Una vez cuajada, partir a la mitad para formar un prisma en forma de D.

Cómase una de las mitades de gelatina.

Imprima el disco de Hartl (adjunto a este documento) y monte el dispositivo mostrado en la Figura 2.

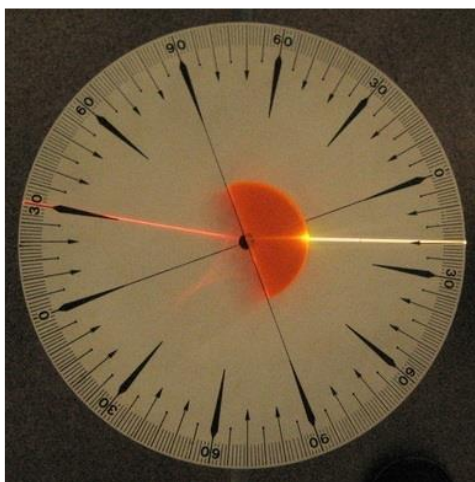


Figura 1. Dispositivo experimental

La gelatina en forma de “D” está en el centro del disco de Hartl, no importa el tamaño, lo que deben cuidar es que puedan ver la escala graduada del disco de Hartl. Asegúrense que la parte recta de la gelatina esté alineada con la línea verde marcada por ambos extremos en 90° , del disco de Hartl impreso. Harán incidir diez veces el haz de luz de un láser entre 0° y 90 . En este procedimiento medirán el ángulo con el que hacen incidir el láser (Figura 2, flecha rosa), el ángulo con el que se refleja la luz emitida por el láser (Figura 3, flecha morada) y el ángulo con el que se refracta dicha luz (Figura 2, flecha verde); esto datos los concentrarán en la tabla 1.

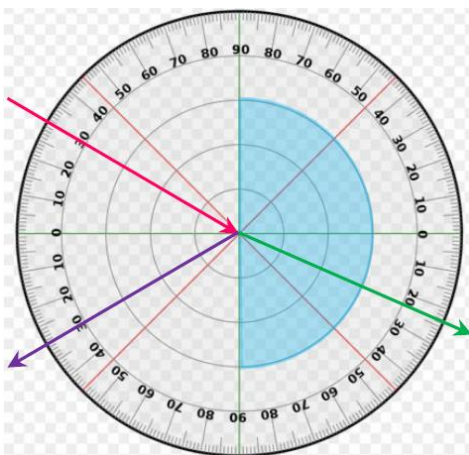


Figura 2. Haces de luz a observarse en la gelatina.

Tabla 1

# Dato	Ángulo incidente (°)	Ángulo reflejado (°)	Ángulo refractado (°)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Una vez colectados los datos en la Tabla 1, construirán un gráfico del ángulo reflejado como función del ángulo incidente otro gráfico del ángulo refractado como función del ángulo incidente. Realice la regresión lineal correspondiente a cada gráfico (no es necesario calcular las incertidumbres de los parámetros de la recta).

Construya un gráfico $n_{\text{aire}} \sin \theta_{\text{incidente}}$ vs $\sin \theta_{\text{refractado}}$ (busque el valor del índice de refracción del aire, debe de utilizar ángulos en radianes).

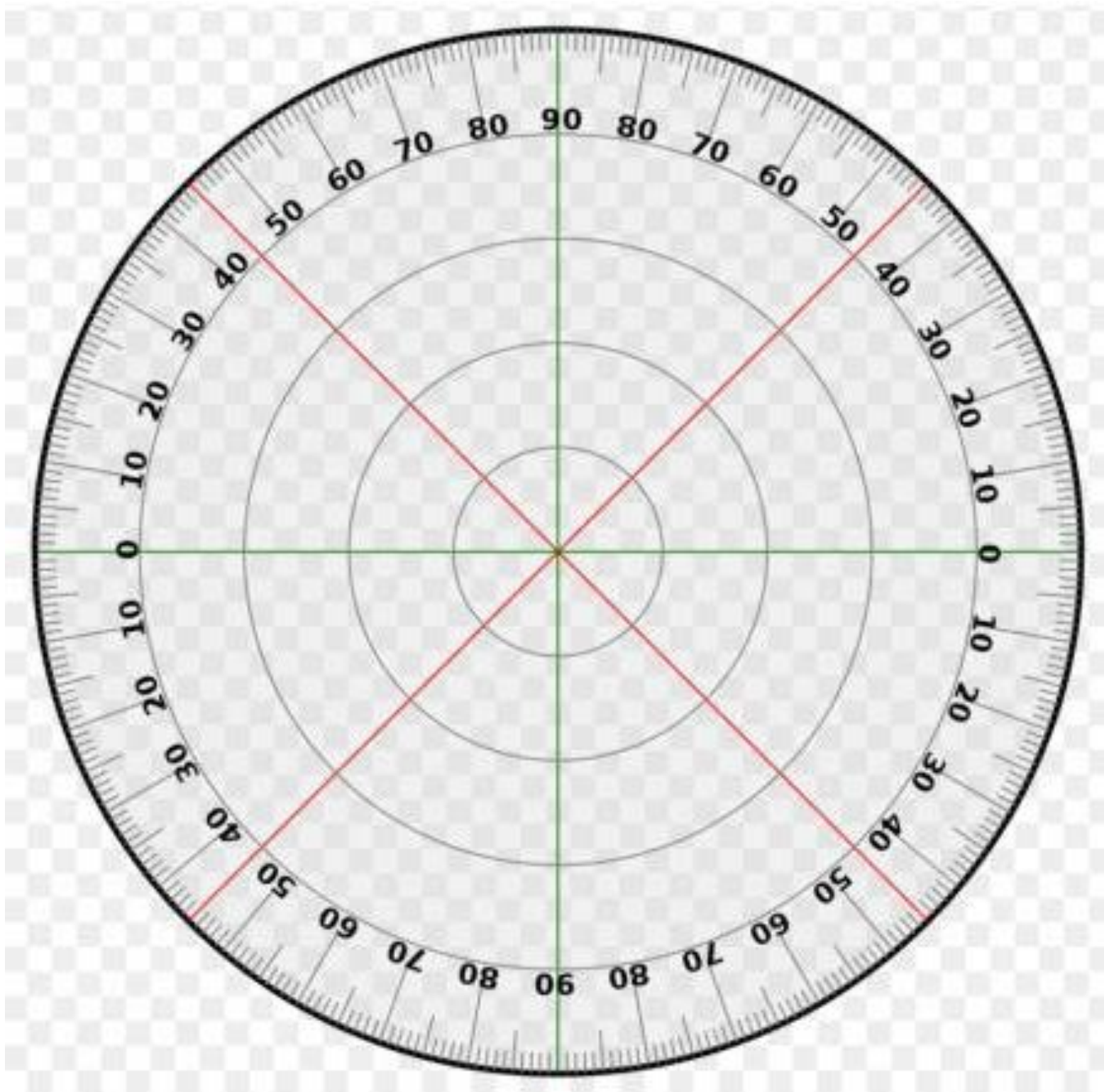
Resultados.

- 1) Obtenga el índice de refracción de su gelatina.
- 2) Calcule la magnitud de la velocidad a la que viajó la luz en su gelatina.

Referencias

- [1] Eugene Hetch, Alfred Zajac. Óptica. Fondo Educativo Interamericano, S. A., 1977.
 [2] Young, Hugh D, Freedman Roger A. Sears, Zemansky Física universitaria, con física moderna volumen 2. Pearson Educación, 2009.
 [3] <https://images.app.goo.gl/ZhTxSgSET8j55QwJA>

DISCO DE HARTL



Práctica 3: Difracción en un CD y un DVD

Autores: Elizabeth Hernández Marín, Marco Antonio Franco

Objetivo

Este experimento muestra que un disco compacto (CD) y un disco DVD tienen las características de una rejilla óptica. Al demostrar este experimento podemos realizar medidas y calcular la longitud de onda del láser o la constante de rejilla.

Antecedentes.

La difracción (curvatura) de la luz se debe a su naturaleza ondulatoria. Cuando una onda de luz encuentra un obstáculo, no se propaga linealmente detrás del obstáculo. Durante la difracción en una rejilla óptica, formada por un sistema de un gran número de rendijas paralelas de igual ancho, una onda de luz monocromática de una longitud de onda λ crea un patrón de interferencia en una pantalla. Las direcciones de amplificación de la interferencia están determinadas por el ángulo α , para el que se aplica,

$$b \sin \alpha = k \lambda \quad (1)$$

donde b es la distancia entre dos rendijas adyacentes, llamada constante de rejilla o período de rejilla, y $k = 0, 1, 2, \dots$ es el orden de difracción.

Una grabación en un CD tiene la forma de pozos o ranuras microscópicos de diferentes longitudes que llevan la información. Estos pozos se colocan en filas del mismo ancho e igual distancia, que forman una rejilla de difracción en la superficie del espejo del CD.

Materiales.

- ✓ Apuntador laser.
- ✓ Disco compacto en un estuche de plástico.
- ✓ Papel fino.
- ✓ Tijeras.
- ✓ Cartulina, papel cascaron o papel ilustración.
- ✓ Regla.
- ✓ Lápiz

Procedimiento.

Se construirá el dispositivo mostrado en la Figura 1, para lo cual seguiremos los siguientes pasos:

- 1) Cortamos un agujero en el papel e insertamos el puntero láser en él. Una buena opción es un agujero horizontal en el medio y a una altura de seis centímetros en vertical.
- 2) Colocamos una caja abierta con el CD dentro con la cara de grabación hacia afuera.
- 3) En la distancia $l = 25$ cm del disco colocamos el papel con el puntero láser; el papel es paralelo al CD.
- 4) Como alternativa, se recomienda construir una caja (con el papel ilustración) de 26 cm de largo por 30 cm de ancho por 15 cm de ancho, abierta en la parte posterior, tal que pueda llevar a cabo su experimento. Una de las caras estará perforada para que pueda insertar el puntero láser. A esta cara le puede pegar un papel milimétrico para poder realizar sus mediciones.
- 5) Apuntamos el rayo láser aproximadamente a la mitad de la grabación del CD.
- 6) En el papel ahora podemos observar el haz reflejado directamente desde la superficie del disco y los máximos de difracción de primer orden ($k=1$) ligeramente menos visibles (puntos en la pantalla donde se ha producido la amplificación de la interferencia) separados una distancia $2y$ (Figura 1). Marcamos estos máximos con un lápiz.
- 7) Realice el mismo procedimiento utilizando un disco formato DVD.



Figura 1. Dispositivo experimental a construir para la realización de la práctica.

Resultados a reportar.

1. Determine la longitud de onda del láser empleado, asumiendo los valores reportados en la literatura para la constante de la rejilla (b) en un CD y en un DVD.
2. Determine la constante de la rejilla (b) en un CD y en un DVD utilizando el valor de la longitud de onda del láser reportado por el fabricante de este.

Hint: Por geometría puede mostrarse que.

$$\sin \alpha = \frac{y}{\sqrt{l^2 + y^2}} \quad (2)$$

Notas técnicas

- Cuando trabaje con un puntero láser, debe seguir las reglas de seguridad.
- Este experimento debe observarse desde una dirección perpendicular al rayo láser para evitar impedimentos visuales.

Referencias

- [1] <http://physicsexperiments.eu/1704/diffraction-on-a-cd>
[2] Eugene Hetch, Alfred Zajac. Óptica. Fondo Educativo Interamericano, S. A., 1977.
[3] Young, Hugh D, Freedman Roger A. Sears, Zemansky Física universitaria, con física moderna volumen 2. Pearson Educación, 2009.

Práctica 4: Interferencia en papel

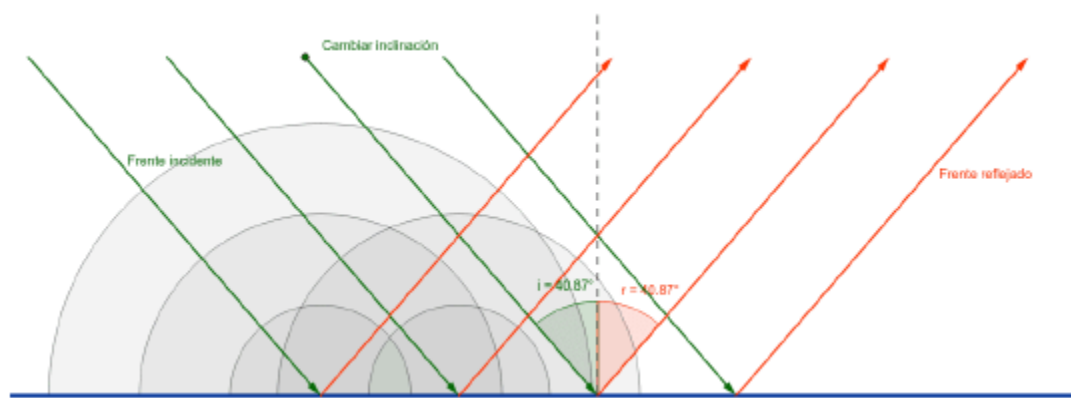
Autores: Ivonne Rosales, Ricardo Alfaro, Marco Antonio Franco

Objetivos

En este experimento se observa la difracción de la luz construyendo un dispositivo a base de papel y un puntero láser. Se observará el fenómeno de interferencia y se determinará la longitud de onda del láser.

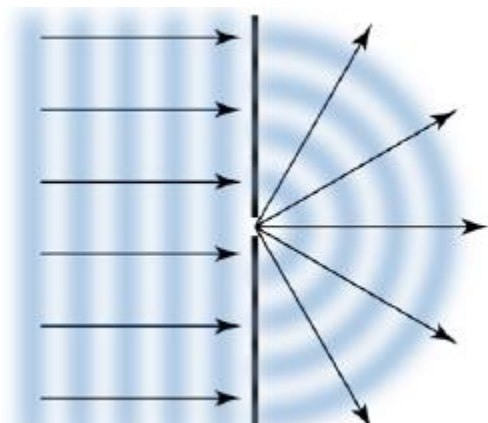
Antecedentes

Cuando las ondas luminosas viajan a través del espacio y encuentran un objeto que altera su trayectoria, de acuerdo al principio de Huygens, la interacción de las ondas con el objeto genera ondas secundarias concéntricas con respecto al objeto con el que han interactuado, Esquema 1.



Esquema 1. Principio de Huygens.

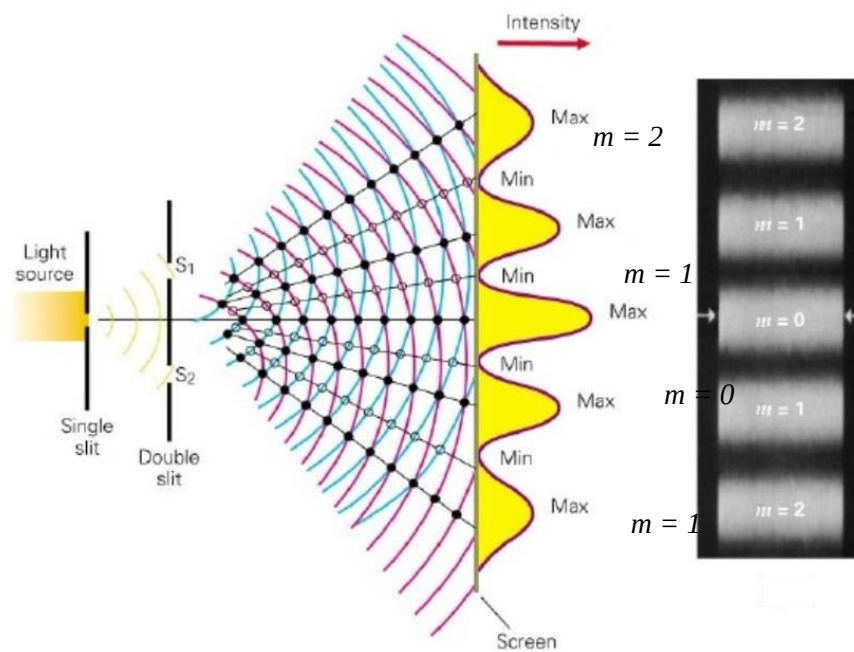
Este fenómeno se observa debido a que cuando las ondas colisionan con las paredes de la ranura, se generan ondas secundarias concéntricas (Esquema 2). Existen dos motivos por los cuales una onda colisiona con las paredes de la ranura. Cuando la amplitud de la onda es mayor al diámetro del orificio de la ranura, o cuando la dirección de propagación no es completamente paralela a la superficie transversal de la ranura.



Esquema 2. Ondas secundarias de Huygens.

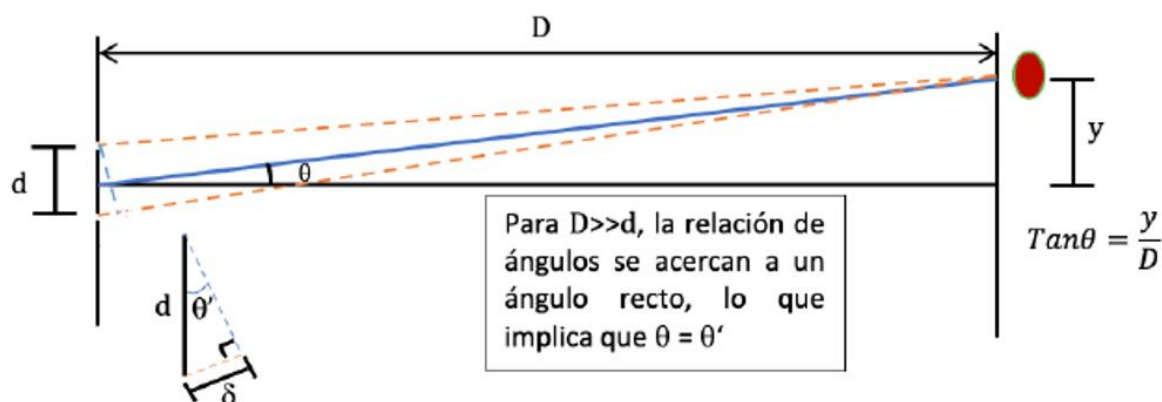
Experimento de doble rendija

Se monta un experimento con una fuente de luz (laser), una doble rendija y una pared o pantalla, ver Esquema 3. Bajo estas condiciones el paso de la luz en cada una de las rendijas genera ondas secundarias, las cuales interactúan entre sí, para generar un patrón de difracción en el espacio, sin embargo nuestros ojos no son capaces de observar dicha interacción. Lo que podemos observar es como ese patrón de interferencia provoca en una pared, una secuencia de zonas brillantes y zonas oscuras. Las zonas brillantes corresponden a una interferencia constructiva y las zonas oscuras corresponden a una superposición destructiva.



Esquema 3. Fenómeno de interferencia.

En el Esquema 4 se puede observar la conceptualización del fenómeno. Los máximos amarillos indican zonas brillantes. La distancia de la doble rendija a la pantalla es “ D ”, mientras que la separación entre cada una de las rendijas es “ d ” y para que se pueda producir la interferencia de Young se debe cumplir la relación $D \gg d$. Para analizar el fenómeno se dibuja un triángulo rectángulo conformado por el centro de las dos rendijas, la posición de la zona brillante y la posición relativa al centro de las rendijas con un ángulo θ . Un segundo triángulo se forma tomando a la distancia entre las rendijas (d) como la hipotenusa, mientras que un segmento en el espacio denominado δ es el cateto opuesto. El cateto adyacente entonces corresponde a las líneas discontinuas azules.



Esquema 4. Conceptualización de la interferencia de Young.

Por tanto, este último triángulo (el pequeño) también corresponde a un triángulo rectángulo, tal y como puede observarse en la siguiente figura.

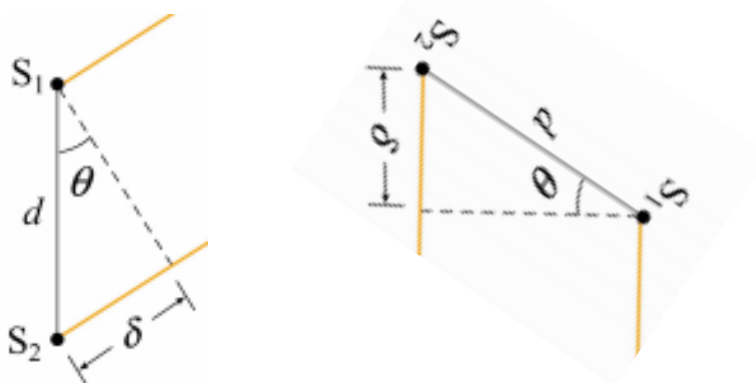


Figura 1. Triángulo definido por el segmento δ y la distancia entre las rejillas d .

En las Figura 4 y 5 pueden observarse las siguientes relaciones trigonométricas,

$$\sin \theta' = \frac{\delta}{d} \quad \tan \theta = \frac{y}{D}$$

donde y es la distancia entre zonas brillantes. Como $D \gg d$, $\theta \approx \theta'$ y $\sin \theta' \approx \tan \theta$. Por tanto,

$$\frac{\delta}{d} = \frac{y}{D}$$

Young mostró que bajo la consideración $D \gg d$, el segmento δ será simplemente la longitud de onda de la fuente incidente multiplicada por el orden de la franja (ver esquema 3),

$$\delta = \lambda m$$

y por tanto,

$$\frac{\lambda m}{d} = \frac{y}{D}$$

Procedimiento.

a) Diseño de la doble rendija

El experimento se puede realizar en un cuarto de casa que este a oscuras. La primera etapa para esta experiencia es la fabricación de la doble rendija, se puede utilizar una ficha bibliográfica o un cuadro de cartón rígido, se dibujan dos líneas con lapicero de aproximadamente de 2.0 cm de largo con una separación de 1.0 mm (d), tal y como se observa en la Figura 2, una vez trazadas las líneas con un cúter se debe de realizar solo un corte con fuerza sobre cada una de las líneas, es importante que no se trate de cortar una segunda ocasión porque produce rebabas en las ranuras. Establezca una estrategia para mantener a la rendija en posición vertical.

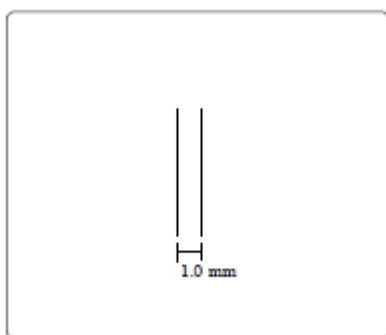


Figura 2. Doble rendija en un cartón o ficha bibliográfica

Una vez construida la doble ranura, se coloca un lápiz laser (apuntador) comercial en un extremo del cuarto y del lado opuesto del cuarto una hoja blanca de papel pegada en la pared, el cartón de la doble ranura se coloca próximo láser a la altura de la doble rendija, es

importante indicar que hay que jugar un poco con la posición del cartón para que se pueda apreciar en la pared el fenómeno de interferencia (ver Figura 6).

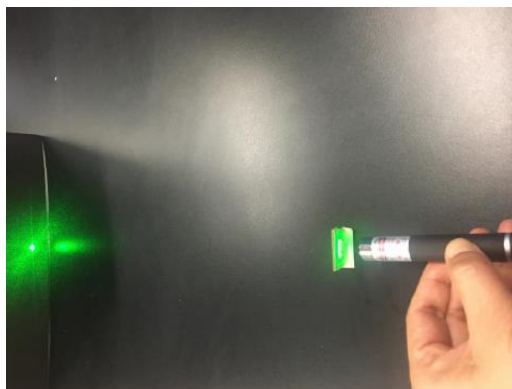


Figura 6. Configuración del dispositivo experimental

Una vez generado el patrón de zonas brillantes y oscuras (ver Figura 7) una persona debe de marcar con un lápiz en una hoja de papel (puede utilizar papel milimetrado) la posición de cada una de las zonas especificando con claridad cuál es el centro del patrón de interferencia (el más intenso). Es importante medir con un flexómetro o cinta métrica la distancia entre la doble ranura y la hoja en la pared. Para terminar el experimento se debe de medir las posiciones de las zonas marcadas en la hoja tomando como cero el centro del patrón.

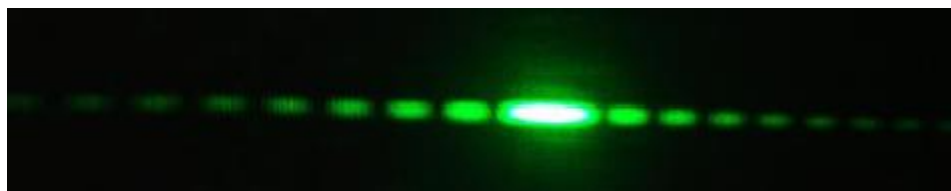


Figura 7. Patrón de interferencia a observar.

Tratamiento de datos.

- Verifique que las posiciones de las zonas ya sean brillantes u oscuras cumplen la relación de que m es un número entero.
- Determine la longitud de onda del láser empleado para el experimento.

Bibliografía

- 1) Eugene Hetch, Alfred Zajac. Óptica. Fondo Educativo Interamericano, S. A., 1977, p. 64-105
- 2) David Halliday, Robert Resnick, Kenneth S. Krane. Physics, Volume 2, John Wiley & Sons, Inc., 1992, p. 904-909.
- 3) https://www.walter-fendt.de/html5/phes/doubleslit_es.htm
- 4) https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_es.html

ANEXO: Práctica 5. La polarización de la luz

Fuente: Manual de prácticas para fundamentos de espectroscopía. Proyecto PAPIME PE101106.

Introducción

Los polarizadores para ondas electromagnéticas tienen determinadas características de diseño, según la longitud de onda de que se trate. En el caso de microondas con una longitud de onda de unos pocos centímetros, un buen polarizador es una serie de alambres conductores paralelos muy próximos entre sí y aislados unos de otros. Los electrones tienen libertad de movimiento a lo largo de los alambres conductores, y se mueven en respuesta a una onda cuyo campo $\vec{E}$ es paralelo a los alambres. Las corrientes resultantes en los alambres disipan energía por calentamiento de I^2R . En consecuencia, una onda que atravesase un filtro de esta naturaleza quedará polarizada principalmente en la dirección perpendicular a los alambres [1].

El filtro polarizador más común para la luz visible es un material conocido por su nombre comercial de Polaroid, el cual se utiliza extensamente en fabricación de lentes de Sol y filtros polarizadores para lentes fotográficos.

Inventado originalmente por el científico estadounidense Edwin H. Land, este material contiene sustancias que presentan dicroísmo, una absorción selectiva en la que uno los componentes polarizados se absorbe mucho más intensamente que el otro. Un filtro Polaroid transmite el 80% o más de la intensidad de las ondas polarizadas paralelamente a cierto eje del material, conocido como eje de polarización, pero sólo el 1% o menos de las ondas polarizadas perpendicularmente a este eje. En cierto tipo de filtro Polaroid, unas moléculas de cadena larga contenidas en el filtro están orientadas con su eje perpendicular al eje de polarización; estas moléculas absorben preferentemente la luz que está polarizada a lo largo de ellas, de forma muy parecida a los alambres conductores de un filtro polarizador para microondas [1, p. 1263].

Procedimiento

En esta práctica se usará la luz proveniente de la pantalla de una computadora portátil como fuente de luz ya polarizada, ver el diseño del sistema en la Figura 1. Como alternativa, puede comprarse un filtro polarizador de 49 mm para realizar la práctica (su precio es no mayor a 250 pesos).



Figura 1. Arreglo experimental para efectuar las mediciones del estado de polarización de la luz proveniente de la pantalla una computadora portátil.

Utilizar una computadora portátil y ajustar el brillo a la máxima intensidad y el máximo contraste (leer el manual de la computadora para lograrlo). Como primer ejercicio, utilizar cualquier programa (un editor de texto o de imágenes puede ser apropiado) de la computadora que presente alguna región de la pantalla en "blanco".

Con el sensor de luz (light sensor) [2] conectado a una interfase colectora de datos Vernier Lab Pro [3] y ésta a una computadora en la que tenga instalado el programa Logger Pro 3.4.6 [3] para la detección de la luz, colocar el detector

en diferentes partes de la región en "blanco" sobre la pantalla (procurar hacer la menor presión posible con el detector sobre la pantalla de la computadora sobre la que se hará el análisis pues podría dañarla), ver la Figura 2. Observar y anotar el valor registrado por el detector en cada sitio en el que ha colocado la sonda de detección.



Figura 2. Se coloca el sensor de luz sobre la pantalla de la computadora, procurando evitar

A continuación, interponer un filtro polarizador entre la pantalla de la computadora y el sensor de luz, registrar el valor mostrado por el sensor y hacer una rotación en el polarizador (se sugiere hacer la rotación cada 5°), ver la Figura 3.

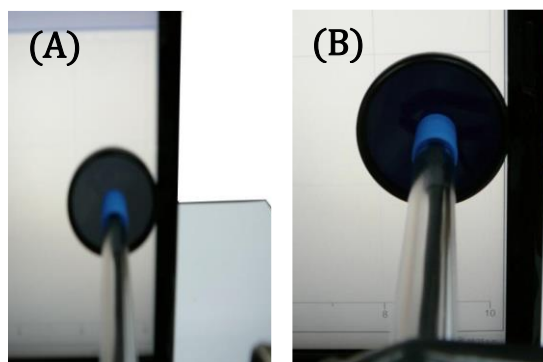
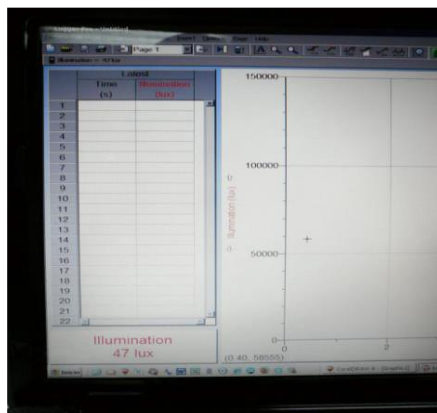


Figura 3. (A) Entre la pantalla de la computadora y el sensor de luz se interpone un filtro polarizador para verificar el estado de la polarización de la luz emitida por la computadora. (B) Al rotar el polarizador se pueden observar los cambios en la intensidad de la luz transmitida a través del mismo.



En la Figura 4 se muestra una sección de la pantalla en la que aparece el valor de la intensidad luminosa registrada por el sensor de luz.

Figura 4. En la parte inferior izquierda de la fotografía puede verse la lectura de una de las mediciones hechas con el sensor de luz. También puede apreciarse parte de la pantalla del programa activo con el que se registran las mediciones.

Tratamiento de datos

Analizar los datos obtenidos, trazar una gráfica y escribir las conclusiones correspondientes.

Referencias

1. Física Universitaria con Física Moderna, Sears, Zemansky, Young, Pearson Education Inc.
2. Vernier, usa un fotodiodo de silicio Hamamatsu 1133.
3. Introduction to Molecular Spectroscopy, G. M. Barrow, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1962, p. 61-82.
4. Wave Phenomena, Dudley H. Towne, Dover Publications, Inc. New York, 1967, p. 196-197.
5. Óptica, E. Hetch, A. Zajac, Fondo Educativo Interamericano, S. A., 1977, p. 44, 45, 91, 95, 485.
6. Ondris-Crawford R., Crawford G. P., Doane J. W., "Liquid Crystals, the phase of the future", Phys. Teach. 30, 332 (1992).
7. Fakhruddin H., "Some Activities with Polarized Light from a Laptop LCD Screen", Phys. Teach. 46, 229 (2008)
8. Ciferno T. M., Ondris-Crawford R. J., Crawford G. P., "Inexpensive Electro optic experiments on Liquid Crystals Displays", Phys. Teach. 33, 104 (1995).

Anexos

Práctica 7. La polarización de la luz

Preparado por: Ivonne Rosales Chávez, Elizabeth Hernández Marín con colaboración del Ing. José Germain Castro Aburto estudiante del Instituto de Física de la UNAM.

• Remoción del analizador

A continuación, se detallan los pasos para la remoción del analizador en un monitor LCD de 18.5", marca Viewsonic, modelo VA1917A, procedimiento que es aplicable también a la remoción de analizadores de teléfonos inteligentes, tablets, etc., por lo que si se cuenta con uno de estos dispositivos que ya no sirvan se puede obtener el polarizador también de éstos o realizar la compra de este. Es posible encontrar lentes polarizadores de cámaras fotográficas a precios razonables (cerca de 300 pesos)

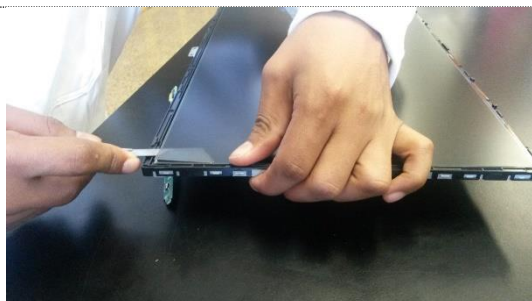
PRECAUCION. Los paneles LCD no están diseñados para su disección, un mal manejo de las piezas que se encuentran en su interior pueden producir lesiones graves, por ejemplo, la fuente de alimentación de la corriente eléctrica que se encuentra dentro de la pantalla, podría generar una descarga eléctrica incluso después de que la pantalla se desconecta de corriente, o el rompimiento de la pantalla el desprendimiento del cristal líquido el cual es tóxico.

Tabla 1. Procedimiento de desamblaje, remoción de analizador y re-ensamblaje de un monitor LCD.

I. Desamblaje	
1. Desmontar el monitor de la base deslizando la base por el canal que soporta la pantalla.	
2. Remover la cubierta plástica que contiene la pantalla LCD, para ello separar las cubiertas plásticas del marco frontal y la tapa posterior introduciendo un desarmador de hoja plana (1/4x6'') entre éstos, ya que estos están ensamblados a presión.	
	
3. Desensamblar la pantalla de la fuente de luz introduciendo un desarmador de hoja plana para desanclar los soportes a presión.	



4. Remover la película analizadora de la pantalla LCD, para ello puede utilizarse una espátula o alguna herramienta de palanca. Dado que esta película está pegada con un pegamento con un alto grado de adherencia hay que tener cuidado al desprenderla a fin de no romperla o cortarse.

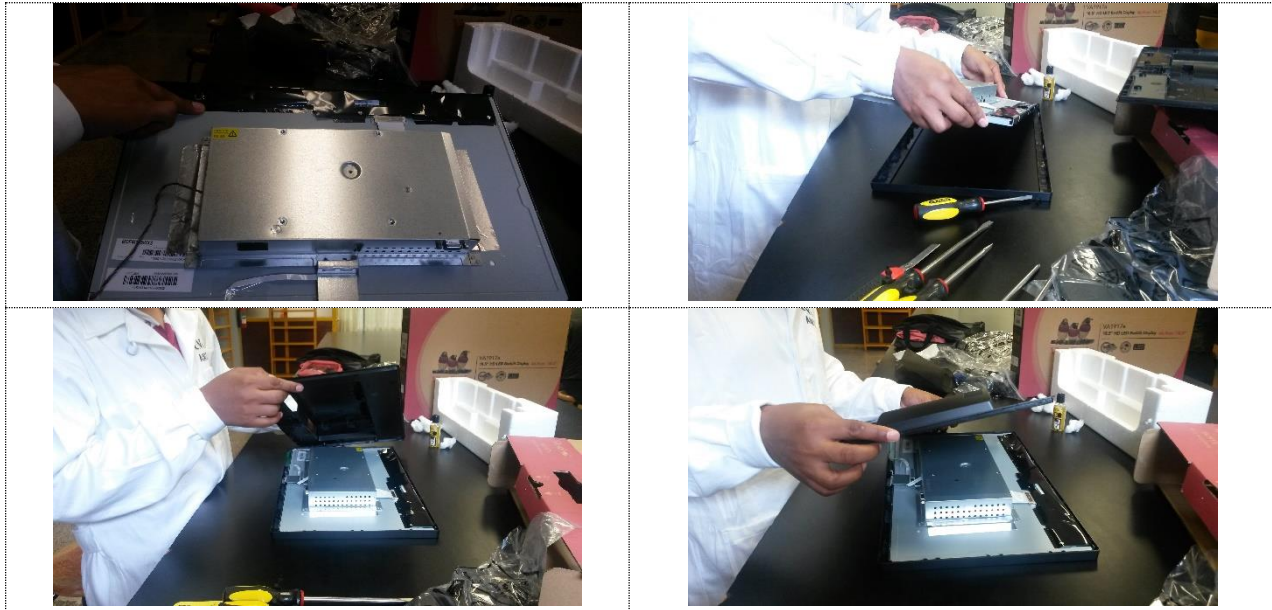


- II. **Remoción del adhesivo de la pantalla.** Retirar el pegamento que queda sobre el sustrato de vidrio con eliminador de adhesivos v.g. Goo gone. Nota. El adhesivo que queda en el analizador retirado de la pantalla LCD se puede remover con el producto anterior, no obstante éste deja opaco el polarizador.



III. **Re-ensamblaje**





Nota. La película color café oscuro que se aprecia es una película aislante de la tarjeta del monitor, la cual se pega nuevamente.

Obtención de datos

1. Una vez que ya se tiene disponible un filtro polarizador, se deberá conseguir un transportador circular. Si este instrumento tiene una regla horizontal, cortar una porción de la parte de en medio; un ejemplo se muestra en la Figura 1.

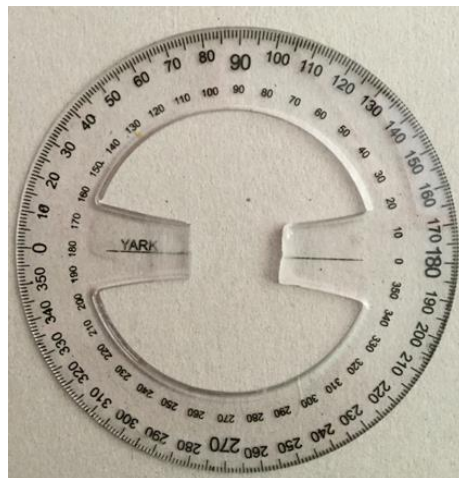


Figura 1. Ejemplo de preparación del transportador circular.

2. Instalar en un teléfono inteligente alguna aplicación que funcione como luxómetro. En este documento se empleó la app Galactica Luxmeter (<https://apps.apple.com/us/app/galactica-luxmeter/id666846635>).

3. Posteriormente, abrir una presentación de Power Point y dejar una hoja en blanco donde se dibujarán dos líneas horizontales y dos líneas verticales tal y como se muestra en la Figura 2. Posteriormente, recostar el monitor de su computadora sobre una mesa (Figura 2).

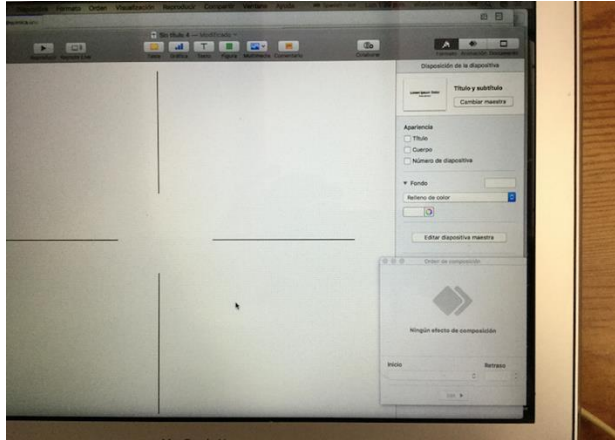


Figura 2. Ejemplo de líneas guía dibujadas en una presentación en blanco. El monitor de la laptop está recostado sobre una mesa (región de color café a la derecha de la foto).

4. Colocar el transportador sobre el monitor. Acomodar el transportador de forma tal que el "0" y el "90" del transportador queden alineados lo mejor posible con las líneas guía dibujadas en la presentación. Posteriormente, colocar el filtro polarizador encima del transportador (Figura 3).

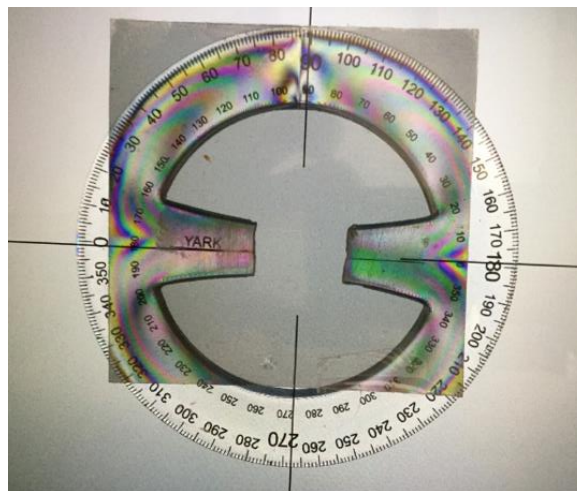


Figura 3. El transportador se coloca sobre el monitor alineado las marcas de "0" y "90" grados con las líneas guía. El filtro polarizador se coloca encima del transportador.

5. Sin mover el transportador, comenzar a girar manualmente el filtro polarizador hasta que la vista a través del filtro polarizador esté completamente de color negro (Figura 4). Esto se tomará como un ángulo de 90° entre el eje de la luz polarizada emitida por el monitor LCD de la

computadora y el eje del filtro polarizador. En la Figura 4, el ángulo de 90° se mide a partir de la horizontal.

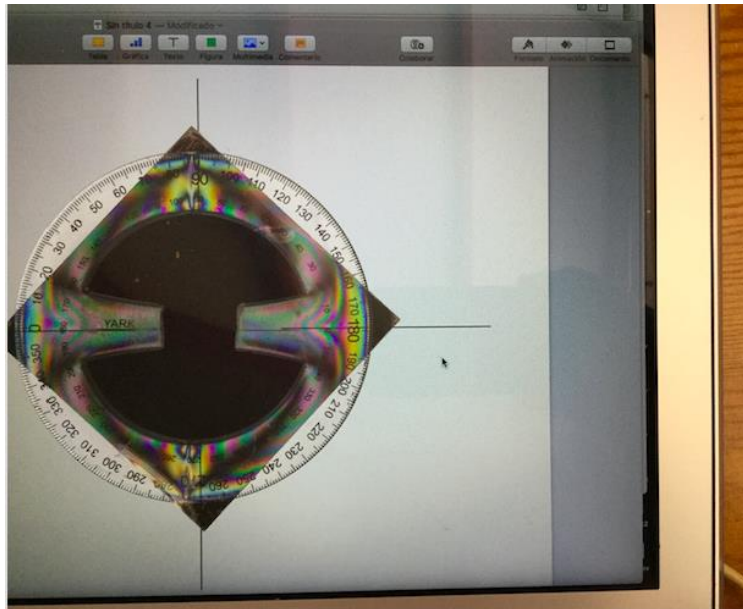


Figura 4. Estado en el que se considera que hay un ángulo de 90° entre el eje de la luz polarizada y el eje del filtro polarizador.

6. Finalmente, colocará la cámara del teléfono celular con la app activada encima del filtro polarizador apuntando hacia el centro del transportador y tomar las lecturas de la app como función del ángulo. Por ejemplo, en la Figura 5 se muestra el valor correspondiente a un ángulo de 0° . Se puede por ejemplo tomar datos cada 10 grados entre 0 y 180° . Notar que hay algunas aplicaciones que requieren colocar la pantalla del teléfono (la cámara frontal) encima de la fuente de luz. En este caso, deberá buscar alguna forma de tomar las lecturas.



Figura 5. Uso de la aplicación de teléfono celular para medir la intensidad luminosa a 0° .

Referencias

- Ripping the LCD out of your monitor, without breaking it.
<http://displayblocks.org/> Fecha de consulta. 28 de noviembre de 2020.
- Proyecto 2015 PAPIME PE108015. "“ODOS “Hablemos de ciencia en el aula y ¡Realicémosla también!”““".