

## Práctica # 6.1.

### Polarización de la luz: demostraciones y experimentos<sup>1</sup>

La Práctica #6 está dividida en dos partes. En la primera parte se realizan demostraciones y experimentos con equipo de laboratorio, para evaluar las propiedades de la luz polarizada. En la segunda parte se estudian las características de las ondas electromagnéticas y del fenómeno de la polarización, además se propone la revisión de algunas de sus aplicaciones, para lo cual se utilizan simulaciones y videos.

#### Objetivo general:

Realizar ensayos por simulación computacional y experimentos sencillos para conocer algunas propiedades de las ondas electromagnéticas y comprender el fenómeno de la polarización y sus aplicaciones.

#### Objetivos específicos:

1. Explorar algunas propiedades sencillas de los polarizadores.
2. Identificar algunos fenómenos comunes relacionados con la polarización de la luz.
3. Analizar las demostraciones de fenómenos relacionados con el uso de polarizadores.
4. Determinar cómo varía la intensidad de la luz transmitida en términos del ángulo de alineación de dos polarizadores lineales.

#### Introducción

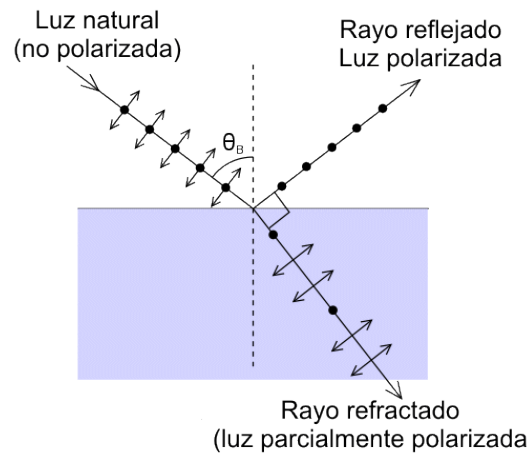
Aunque no nos demos cuenta, la luz polarizada está en todas partes. La mayor parte de los reflejos de la luz del Sol en las superficies de los materiales se polarizan parcialmente. Incluso, hay un ángulo de incidencia para el cual la luz reflejada se polariza totalmente, este ángulo se conoce como ángulo de Brewster y se produce cuando el ángulo entre la luz reflejada y la luz transmitida es  $90^\circ$ , como se muestra en la Figura 1. Mientras que algunos animales tienen la capacidad de percibir y utilizar la luz polarizada con distintos propósitos, los seres humanos no la percibimos. Pero con el desarrollo de los polarizadores, se comenzaron a desarrollar distintas aplicaciones con este tipo de luz.

Pero junto con el descubrimiento de la polarización, se ha encontrado que existen distintos tipos polarización de la luz: lineal, circular y elíptica [1]. Cada una de ellas asociadas con distintos fenómenos y utilizada en distintas aplicaciones tecnológicas. Existen lentes polarizadores que se consiguen comercialmente y que permiten generar ondas de luz polarizadas. Las lentes *Polaroid*® fueron las primeras lentes comerciales que polarizan la luz, este tipo de lentes se utilizan en gran cantidad de aplicaciones, desde dispositivos de iluminación y fotografía, hasta en el cine y las

---

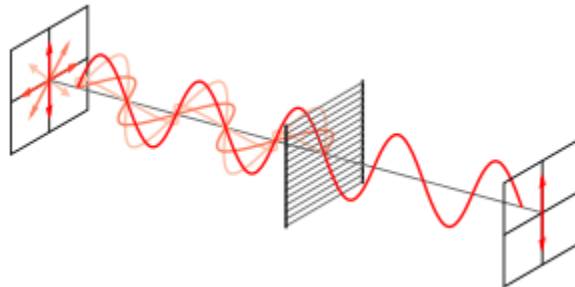
<sup>1</sup> Guía elaborada por el profesor Ernesto Montero Zeledón.

telecomunicaciones. Los filtros polarizadores solo interactúan con el campo eléctrico de la onda electromagnética, pero por ello también polarizan los campos magnéticos asociados.



**Figura 1.** Polarización de la luz por reflexión cuando el ángulo de incidencia es el ángulo de Brewster [2].

Los filtros *Polaroid* tienen unas largas moléculas de hidrocarburos alineadas, disueltas en una disolución de yodo que las hace conductoras, de modo que se crea una rejilla de moléculas alineadas que interactúan con el campo eléctrico de las ondas electromagnéticas. Los campos eléctricos paralelos a las moléculas de hidrocarburos inducen una corriente eléctrica que absorbe las ondas, pero que deja pasar las ondas que tienen sus campos eléctricos perpendiculares a esta alineación [3, 4], como se aprecia en la Figura 2. Los filtros polarizadores comerciales, cumplen su propósito en un ámbito de longitudes de onda cercano a la región visible del espectro, pues para esa región del espectro en la que se desarrollaron sus aplicaciones. Es decir, los filtros *Polaroid* abarcan el ultravioleta cercano, el visible y el infrarrojo.



**Figura 2.** Cuando la luz pasa por un filtro polarizador solo las ondas paralelas al eje polarizador y las componentes paralelas de las ondas, pasan el filtro [5].

Cuando la luz no polarizada, como la del Sol, atraviesa un polarizador lineal, la luz transmitida resulta polarizada. La intensidad de la luz no polarizada que atraviesa un polarizador lineal resulta ser la mitad de la intensidad incidente. Esta situación se debe a que la intensidad de la luz polarizada es proporcional al cuadrado del campo eléctrico de la onda electromagnética polarizada. De esta manera, si una fuente no polarizada atraviesa un polarizador lineal, es posible determinar la variación de la intensidad utilizando un detector de radiación en el intervalo visible.

Una vez que la luz está linealmente polarizada, también es posible utilizar un segundo polarizador, llamado analizador, para ver cómo varía la intensidad de la luz transmitida en términos del ángulo entre los ejes de polarización de los dos polarizadores. Este mismo análisis fue realizado por un capitán francés del ejército de Napoleón, llamado Étienne-Louis Malus, quien estableció, de forma teórica, que la intensidad de la luz varía con el ángulo entre los ejes de los polarizadores, es decir, el ángulo entre el eje del primer polarizador y el eje del segundo polarizador (analizador) según la siguiente expresión matemática, conocida como Ley de Malus:

$$I(\theta) = I_o \cos^2(\theta)$$

donde  $I(\theta)$  es la intensidad de la luz polarizada transmitida,  $I_o$  es la intensidad de la luz polarizada incidente y  $\theta$  es el ángulo entre el plano de polarización del primer y el segundo polarizador [6]. Se debe recordar que la intensidad es proporcional al cuadrado del campo eléctrico, y de ahí el término coseno cuadrado de esta ley.

### Trabajo para la introducción del informe

En la introducción de su informe de la Práctica #6, sobre la polarización, sus propiedades y aplicaciones, debe indagar sobre los siguientes temas. Recuerde que la introducción se debe escribir en prosa y en tercera persona del singular:

1. Busque el significado de dicroísmo y birrefringencia, en relación con la polarización de la luz.
2. Indique cuál es el significado del ángulo de Brewster de un material y mencione cómo se puede determinar.
3. Explique por qué cuando la luz no polarizada pasa por un polarizador, la intensidad de una fuente de luz no polarizada se reduce a la mitad.

### Equipo requerido

Para realizar esta práctica se requiere equipo de laboratorio para medición de radiación y filtros polarizadores. Dependiendo de si la intensidad de la fuente de luz utilizada en el laboratorio es suficientemente alta, se puede utilizar medidor de iluminancia, el luxómetro, que viene en su tableta o teléfono. Para medir la intensidad de luz que pasa a través de los polarizadores con el teléfono o la tableta, se recomienda instalar previamente la aplicación recomendada en la Práctica #5 u otra equivalente.

**Cuadro 1.** Materiales y equipo requeridos para el desarrollo de la práctica.

Materiales y equipo	Propósito
Teléfono celular o tableta con sensor de luz	Tomar fotografías. Utilizar el sensor de luz para medir la intensidad de la luz que pasa por el filtro polarizador.
<i>Optical Power Meter</i> , PM100D de la marca Thorlabs	Para conectar el detector S130C.
Detector de radiación S130C de la marca Thorlabs	Para medir la intensidad de luz que pasa por el polarizador en la longitud de onda de 550 nm.
Filtros de polarización y lentes polarizados	Equipo disponible para realizar las demostraciones y las experiencias sobre la polarización de la luz.
Pantallas de polarización PASCO	Para realizar los ensayos demostrativos y para realizar el experimento de la Ley de Malus.
Fuente de luz no polarizada	Para ver el efecto del polarizador

En el Laboratorio de óptica contamos con dos equipos de medición de radiación y con dos equipos de polarización para el experimento de la Ley de Malus, por lo que el profesor determinará el procedimiento mediante el cual se realizarán las mediciones. En el siguiente cuadro se indican los equipos y materiales requeridos para realizar esta práctica.

## Procedimiento

### A. *Polarización de la luz del Sol por reflexión*

1. Utilizando un filtro pequeño de luz polarizada o unas gafas de Sol polarizadas, compruebe que la luz reflejada en distintas superficies planas cambia su intensidad si se rota el eje de polarización del filtro. Tome fotografías que permitan apreciar el efecto del polarizador.
2. Observe distintos objetos y lugares de su entorno (nubes, cielo, montañas, calles, árboles, reloj, celular, tableta, portátil, etc.) para determinar si la luz que proviene de esos sitios o aparatos está parcialmente polarizada. Si le resulta posible, tome fotografías que permitan apreciar el efecto.
3. Compruebe que la luz reflejada por una superficie horizontal (mesa, piso, lago), está parcialmente polarizada y que su eje de polarización principal es horizontal. Recuerde que el eje de polarización de las gafas está en posición vertical. Tome fotografías que permitan apreciar el efecto de las gafas y del filtro polarizador.

### B. *Transmisión de la luz a través de dos y tres filtros polarizadores*

1. Observe la demostración de su profesor en la que se aprecia cómo la transmisión de la luz a través de dos polarizadores circulares se reduce casi totalmente cuando los ejes de polarización están colocados de forma perpendicular. Pero luego, cuando interpone un tercer polarizador en medio de los primeros con el eje de polarización sesgado, es posible ver la fuente a través de los polarizadores originales. Tome fotografías que permitan apreciar el efecto del tercer polarizador.

### C. *Disminución de la intensidad de la luz por un filtro polarizador*

1. Según la teoría, cuando se interpone un filtro polarizador delante de una fuente de luz no polarizada, la intensidad de la luz transmitida disminuye a la mitad.
2. Utilizando una fuente brillante (foco, lámpara, linterna, etc.), compruebe dicha disminución de la intensidad de la luz transmitida por un polarizador, utilizando la fuente y el luxómetro u otro equipo de medición disponible. Anote sus resultados. Haga sus mediciones utilizando distintas fuentes y distintas longitudes de onda del detector. No olvide corregir la medida debida a la luz ambiente.
3. Realice medidas de la intensidad de la luz con el luxómetro u otro instrumento, cuando la luz de una fuente intensa atraviesa uno de los polarizadores, para distintos ángulos del eje de polarización, respecto de la vertical, desde  $0^\circ$  hasta  $180^\circ$ , en incrementos de  $20^\circ$ . Anote sus resultados en una tabla construida para este fin.

*D. Intensidad de la luz a través de dos filtros polarizadores*

1. Utilizando una fuente de luz intensa y los dos filtros de luz polarizada del equipo PASCO, realice cuatro mediciones para cada ángulo entre los ejes de polarización de la intensidad de la luz transmitida. Debe realizar las mediciones cuando uno de los ejes de polarización se encuentra inclinado con respecto al otro un ángulo de  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $80^\circ$  y  $90^\circ$  (si alcanza el tiempo, complete sus mediciones hasta  $180^\circ$ ). Puede guiarse con el siguiente video: <https://youtu.be/mJ6UVJbMzSw>
2. Construya una tabla en la que recoja los datos obtenidos en las mediciones. Tome una fotografía del montaje experimental y de sus compañeros midiendo.

**Análisis de resultados**

Recuerde que esta es solo una guía para el análisis de resultados. Usted debe redactar dicho análisis en prosa, de modo que la redacción sea continua. No debe responder las preguntas que se formulan como si fuera un cuestionario.

*A. Análisis de la polarización de la luz del Sol por reflexión*

1. Comente si de los lugares y objetos que analizó, existe uno o varios que presentan características afines con la polarización de la luz. Si no conoce la razón, especule sobre la posible causa. Utilice las fotografías para justificar sus resultados.
2. Explique cuál puede ser la razón que explica por qué el eje de polarización de las gafas se coloca en posición vertical.

*B. Análisis de la transmisión de la luz a través de dos y tres filtros polarizadores*

1. Mediante las fotografías tomadas durante la demostración del profesor, indique en sus palabras, cuáles son las propiedades de la luz polarizada.
2. Explique de forma teórica, por qué al introducir un tercer polarizador en medio de dos polarizadores perpendiculares, de nuevo comienza a transmitirse la luz.

*C. Análisis de la disminución de la intensidad de la luz por un filtro polarizador*

1. Indique qué está pasando en los filtros polarizadores interpuestos, para que solo se transmita la mitad de la intensidad de la luz no sea polarizada, se comience.
2. Si hubiera alguna disminución de la intensidad de la luz en alguno de los objetos observados en el aula o fuera de ella al rotar el filtro polarizador, comente cuál puede ser la causa.

*D. Análisis de la intensidad de la luz a través de dos filtros polarizadores*

1. Hacer una gráfica que muestre la relación entre la intensidad de la luz transmitida por los dos polarizadores y el ángulo entre los ejes de polarización.
2. Realice un cambio de variable, para conseguir una gráfica en donde la relación de sus nuevas variables sea lineal (utilice la Ley de Malus).
3. Compruebe que los resultados se ajustan al modelo teórico y comente que, con ello, se confirma el cumplimiento de la Ley de Malus.
4. Con lo que ha visto en el laboratorio y el curso de teoría, ¿cree que sea posible realizar este experimento sin polarizadores?, ¿habrá una forma casera de realizar este experimento? No tiene que hacerlo, solo describirlo escuetamente.

### Referencias

- [1] Sears, F.; Zemansky, M.; Young, H. Física Universitaria. Sexta Edición, Addison-Wesley Iberoamericana. (1986). Capítulo 42, pág. 933.
- [2] Junta de Andalucía, Repositorio sobre Óptica Física. “Polarización”. Recuperada el 13 de octubre de 2021 de: [http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/12022018/4e/es-an\\_2018021212\\_9141431/8\\_polarizacin.html](http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/12022018/4e/es-an_2018021212_9141431/8_polarizacin.html)
- [3] Palacios Estremera, M. “VI-DEC (Vídeos Didácticos de Experimentos Científicos) Física”. Recuperada el 13 de octubre de 2021 de: <https://www.unav.edu/web/facultad-de-ciencias/profesores-e-investigacion/divulgacion-cientifica/vi-dec-fisica>
- [4] Holben, J. “Entendiendo los filtros polarizadores”. American Cinematographer, Julio 2020. Recuperado el 15 de octubre de 2021: <https://ascmag.com/articles/entendiendo-los-filtros-polarizados>
- [5] Wikipedia, “Polarización electromagnética”. Recuperada el 13 de octubre de 2021 de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n\\_electromagn%C3%A9tica](https://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica)
- [6] EcuRed. “Louis Malus”. Recuperada el 14 de octubre de 2021 de: [https://www.ecured.cu/Louis\\_Malus#Ley\\_de\\_Malus](https://www.ecured.cu/Louis_Malus#Ley_de_Malus)