

Práctica #6

Polarización de la luz: demostraciones y experimentos

Kaled Sequeira — kaledseq@estudiantec.cr — 2020061166,

Javier Fernández — jjavierf64@estudiantec.cr — 2020425930

1. INTRODUCCIÓN

El dicroísmo y la birrefrigerancia son dos conceptos con una relación estrecha con la polarización de la luz. El dicroísmo en relación con la polarización se refiere a aquellos materiales que al recibir un rayo luminoso con diferentes planos de polarización absorben en distinta proporción cada uno de ellos tras la reflexión [1], por ejemplo en la figura 1.

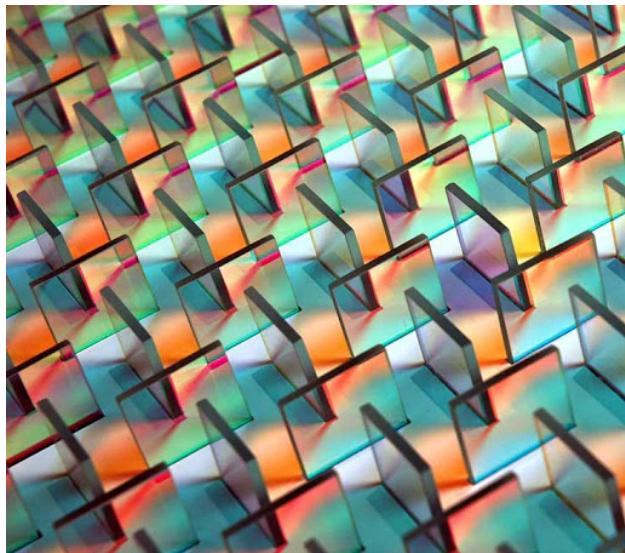


Figura 1: Ejemplo de dicroísmo. [2]

La birrefrigerancia o doble refracción se refiere a una propiedad óptica que consiste en la separación de un rayo de luz en dos según el ángulo de incidencia, en dos rayos linealmente polarizados de manera perpendicular entre

sí como si el material tuviera dos índices de refracción distintos. El primero sigue las leyes ordinarias de refracción y se clasifica como ordinario y el otro tiene velocidad y índice de refracción variables y se llama extraordinario [3]. El fenómeno puede describirse usando dos índices de refracción diferentes al material para distintas polarizaciones [4].

El ángulo de Brewster de un material es el ángulo de incidencia para el cual la luz reflejada se polariza totalmente, y se produce cuando el ángulo entre la luz reflejada y la transmitida es cero [4]. Es posible calcular el ángulo de Brewster mediante la ecuación 1, la cual se deduce a partir de la ley de reflexión y de la ley de Snell [4].

$$\theta_B = \tan \left(\frac{n_t}{n_i} \right) \quad (1)$$

Un fenómeno curioso que ocurre cuando la luz no polarizada atraviesa un polarizador es que no se observa una reducción de la intensidad de la luz por la mitad (como podría intuirse) sino que se tiene un porcentaje un poco mayor. Esto se debe a que como la luz no polarizada posee rayos de luz con componentes en todas direcciones, al atravesar el polarizador se eliminan las componentes de la luz que están únicamente paralelas a la dirección de la polarización como se observa en la Figura ??; por lo que resulta una componente reducida

pero existente, que está perpendicular a dicha dirección y atraviesa el filtro.

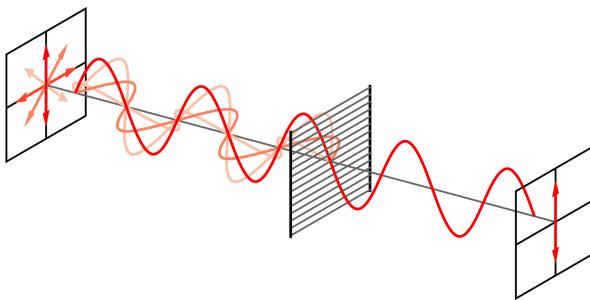


Figura 2: Polarización de la Luz. Obtenido de Wikimedia.

Se puede definir las ondas longitudinales como aquellas donde la amplitud de la onda es paralela al movimiento y las transversales son aquellas donde la amplitud es perpendicular al movimiento. Las ondas transversales van de arriba hacia abajo y las longitudinales van de izquierda a derecha.

Para luz se tiene una representación de la naturaleza de la misma en la forma de campos electromagnéticos asociados, considerando la dualidad de la luz como onda y partícula (fotón) [4]. Una onda electromagnética es aquella que tiene un campo electromagnético asociado y se mueve en la dirección del producto vectorial $\vec{E} \times \vec{B}$, coincidente con el vector de Poynting. Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio para propagarse, se pueden propagar en el vacío y su velocidad varía dependiendo del medio de propagación (si no fuera vacío).

Se considera la luz como una onda electromagnética donde la magnitud de los campos electromagnéticos así como su dirección varía en el tiempo. La polarización ocurre cuando se establece un único plano de polarización de la luz, es decir, una única dirección de propagación y de vector campo eléctrico. Entonces se puede polarizar la luz ya que al polarizar la luz en esencia, se restringe la luz a un plano de polarización. Existen distintos tipos como lineal, circular, o elíptica [4].

Los polarizadores se basan en 1 de 4 mecanismo físicos fundamentales, dicroísmo, reflexión, dispersión, o birrefrigerancia [4]. El pola-

rizador se encarga de "seleccionar" un estado de polarización en particular y descartar los demás.

La polarización de la luz puede darse de manera lineal, circular o elíptica. En el caso de la lineal, la oscilación de las componentes electromagnéticas de las ondas se da de manera transversal, tal y como se presenta normalmente la luz; en este caso se dice que se tiene un único plano de polarización [5]. La polarización circular es un caso particular de la elíptica, donde en ambas se presenta una variación de los planos en los que se tiene polarización.

Algunos animales que pueden ver la luz polarizada de forma natural son por ejemplo las Sepias [6]. Las sepias son de la familia de los pulpos, y son uno de los animales marinos que pueden observar e identificar la polarización de la luz. Ello les permite observar sutiles cambios en su entorno que no pueden ser visibles puramente por intensidad o color, además de que lo utilizan como medio de comunicación con otros animales de su especie.

En la naturaleza es posible hallar luz polarizada por ejemplo en la reflexión de la luz del sol sobre el agua. En este caso se da polarización por reflexión en el momento en que la luz del sol incide en el agua y se refleja hacia afuera. De hecho, si se trata de un lago con peces, una persona sería capaz de ver los peces nadando dentro del agua al utilizar unos lentes de sol polarizados que bloquee la luz reflejada polarizada.

Una aplicación sumamente interesante de la polarización de la luz es la creación de dispositivos de reproducción multimedia que generen luz polarizada y permitan que los espectadores, por medio de lentes polarizadas, vean producciones con efecto tridimensional. Este efecto se logra por medio de la emisión de luz polarizada circularmente, y por supuesto lentes con polarización circular de la misma manera [7].

Objetivos

La práctica se divide en dos secciones, una experimental y otra simulada. Para cada una hay objetivos correspondientes pero en general se busca, 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. Para la primera práctica en especial se quiere, explorar algunas propiedades sencillas de los polarizadores, identificar algunos fenómenos comunes relacionados con la polarización de la luz, analizar las demostraciones de fenómenos relacionados con el uso de polarizadores, y determinar cómo varía la intensidad de la luz transmitida en términos del ángulo de alineación de dos polarizadores lineales.

Para la segunda práctica, es decir la parte simulada se espera conocer las propiedades que caracterizan a las ondas transversales y longitudinales, comprender el fenómeno de la polarización de la luz en la teoría electromagnética, conocer los distintos tipos de polarización de la luz, sus características y diferencias, repasar algunas aplicaciones técnicas de la polarización de la luz, y realizar algunos experimentos de polarización mediante plataformas de simulación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El equipo requerido para la práctica requiere tanto equipos de laboratorio como ambientes de simulación. Para la primera práctica se requiere:

- Teléfono celular o tableta con sensor de luz
- Optical Power Meter, PM100D de la marca Thorlabs
- Detector de radiación S130C de la marca Thorlabs
- Filtros de polarización y lentes polarizadores
- Pantallas de polarización PASCO
- Fuente de luz no polarizada

Para la segunda parte de la práctica se espera utilizar simuladores para los distintos fenómenos de la práctica tal que:

- Ondas electromagnéticas
- Polarización de la luz
- Efecto de múltiples polarizadores
- Aplicaciones de la polarización

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Polarización de la luz del Sol por reflexión

De los lugares analizados se determinaron dos que presentan características afines a la polarización de la luz, primero una carpeta sobre la cual se polarizó la luz del sol y la luz de un teléfono. La luz de la pantalla de un teléfono es polarizada ya que esta no se puede observar del todo, al pasarla por un filtro polarizador. A razón de ejemplo se tiene la figura 3.

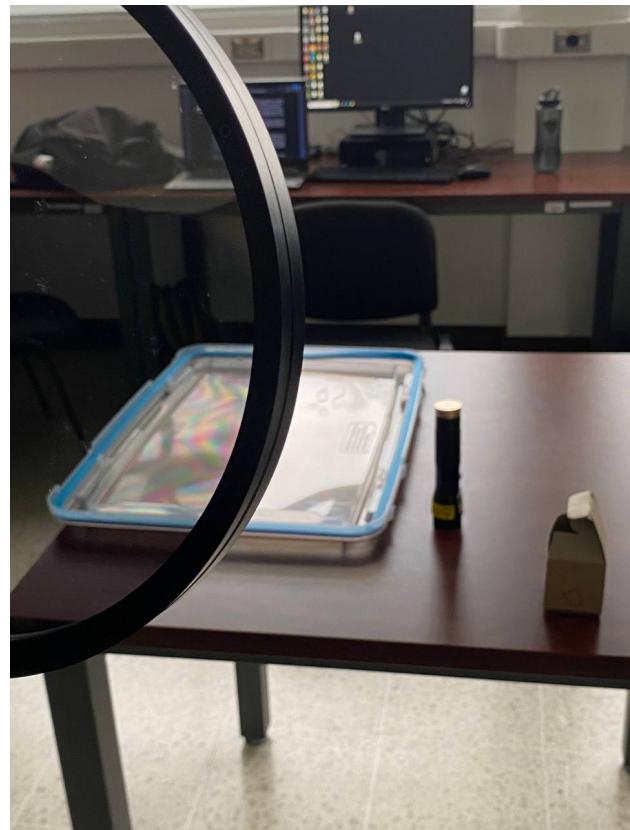


Figura 3: Ejemplo de los efectos del filtro sobre una tapa plástica en el aula.

La razón la cual el eje de polarización de las gafas es vertical es ya que la luz del sol está polarizada de forma horizontal.

Transmisión de la luz a través de dos y tres filtros polarizadores

Para la transmisión usando dos y tres filtros polarizadores se determinaron las propiedades de la luz polarizada. Al pasar la luz por un filtro polarizador solo pasa la que está en la dirección del polarizador, es decir si el polarizador tiene orientación vertical solo pasa esta

componente de la luz incidente. Además al pasar la luz por el polarizador se va disminuyendo la longitudes de onda cercanas al rojo en el espectro electromagnético.

Para esta sección se realizaron tomas de datos de la intensidad de la luz para 3 filtros polarizados, lo cual resulta bastante interesante. Se observa que existe un máximo conforme se gira el polarizador del centro cuando este alcanza los 45° como se observa en la figura 4.

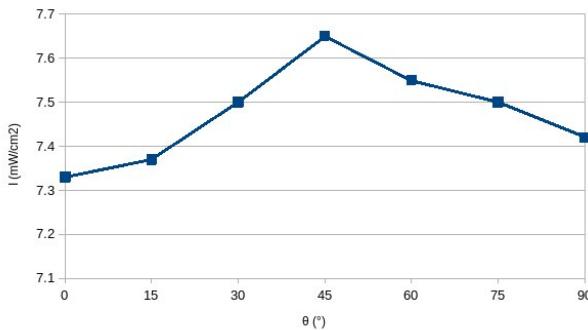


Figura 4: Gráfica de intensidad de la luz para tres filtros.

Al introducir un nuevo polarizador en medio de los 2 anteriores este deja pasar la luz la cual tiene la dirección de alineación del polarizador, si este tiene componentes vertical y horizontal la luz adapta estos componentes también por lo que al pasar por un filtro con orientación vertical, y luego por uno con componentes vertical y horizontal por lo que la luz vuelve a tener componentes horizontales que pasan por el tercer filtro.

Disminución de la intensidad de la luz por un filtro polarizador

Al interponer un filtro polarizador delante de una fuente de luz polarizada la intensidad de la luz transmitida disminuye a la mitad, lo que ocurre es que si el filtro tiene orientación vertical solo la luz con esta orientación pasa el filtro por lo que este disminuye la intensidad a la mitad.

Si se disminuyera la intensidad de la luz en alguno de los objetos observados en el aula o fuera de ella al rotar el filtro polarizador, la causa podría recaer en que la luz transmitida

tenga una orientación en particular y no comparte la orientación del filtro reflejándose en una disminución de la intensidad de la luz.

Intensidad de la luz a través de dos filtros polarizadores

Una imagen del montaje experimental de los dos filtros con la fuente se puede apreciar en la figura 5.



Figura 5: Gráfica de intensidad de la luz para dos filtros.

Los resultados de las mediciones de la intensidad de una fuente que atraviesa dos filtros polarizados se presentan en el Cuadro 1. Como se puede observar, la intensidad se reduce conforme el ángulo del segundo polarizador pasa de 0° a 90° , y luego de 90° a 180° vuelve a aumentar. Este mismo comportamiento se puede observar de manera gráfica en la figura 6.

Al aplicar un cambio de variable basado en la Ley de Malus, es decir considerando un nuevo $X = \cos^2(\theta)$, se obtienen los resultados de la tabla 2.

Cuadro 1: Resultados de las mediciones de Intensidad a través de dos filtros polarizados

θ ($^{\circ}$)	I (mW/cm 2)
0	9.82
15	9.71
30	9.41
45	9.05
60	8.57
75	8.21
90	8.18
105	8.51
120	8.7
135	9.17
150	9.45
165	9.93
180	9.98

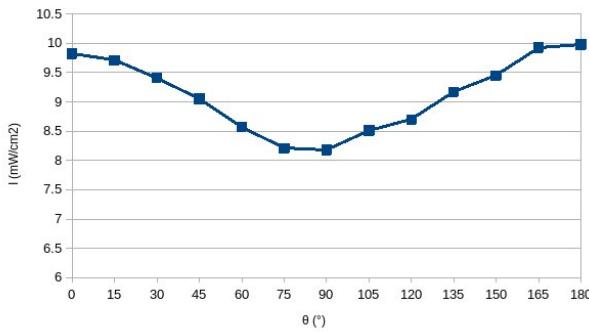


Figura 6: Gráfica de intensidad de la luz para dos filtros.

Cuadro 2: Resultados de las mediciones de Intensidad a través de dos filtros polarizados con cambio de variable

$\cos^2(\theta)$	I (mW/cm 2)
1.00	9.82
0.93	9.71
0.75	9.41
0.50	9.05
0.25	8.57
0.07	8.21
0.00	8.18
0.07	8.51
0.25	8.7
0.50	9.17
0.75	9.45
0.93	9.93
1.00	9.98

Además, como se puede observar en el gráfico de la figura 7 la relación resultó acercarse mucho más a un modelo lineal para los datos a los que se les aplicó el cambio de variable.

Así, considerando el cambio de variable se puede determinar que la relación cumple la ley

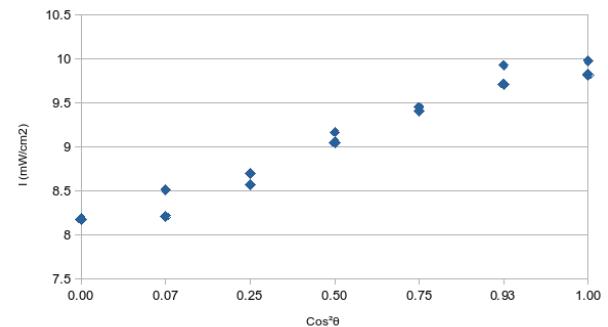


Figura 7: Gráfica de intensidad de la luz para dos filtros con cambio de variable.

de Malus, definida como:

$$I = I_0 \cdot \cos^2(\theta)$$

Ya que sigue la relación lineal establecida por la ley, con un I_0 de aproximadamente 9.98.

Análisis de las características de las ondas electromagnéticas

A partir de la simulación de ondas electromagnéticas podemos analizar mediante la figura 8, que la onda viaja en dirección $\vec{E} \times \vec{B}$ usando la regla de la mano derecha.

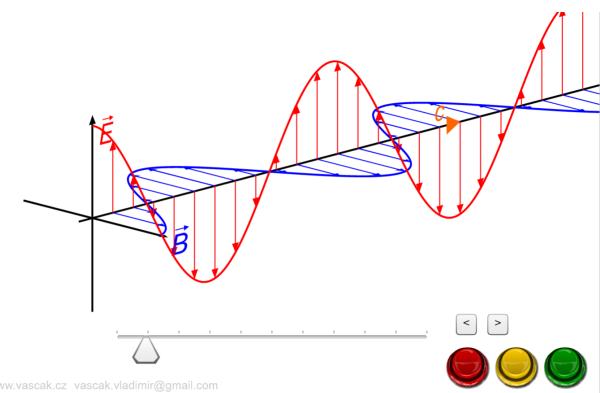


Figura 8: Captura de pantalla de la simulación de ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas pueden viajar en un medio o en el vacío. Estas tienen una longitud de onda y frecuencia asociadas y se mueve en dirección del vector de Poynting es decir $\vec{E} \times \vec{B}$, figura 9. En la simulación se mueve a la velocidad de la luz en el vacío es decir la onda viaja en el vacío .

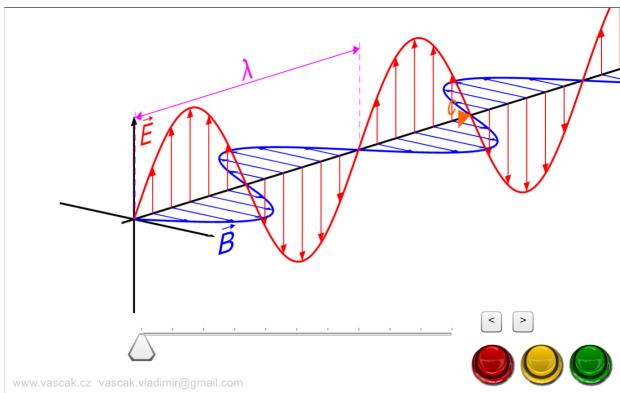


Figura 9: Captura de pantalla de la simulación de ondas electromagnéticas y sus propiedades.

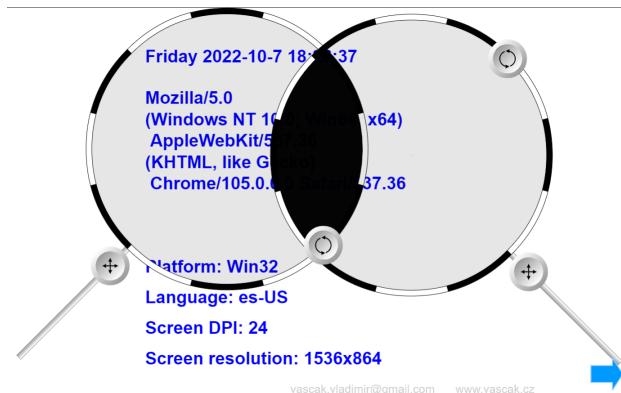


Figura 11: Captura de pantalla de la simulación filtros polarizadores.

Análisis de la polarización de la luz

Utilizando la simulación de filtros polarizadores se obtuvieron las capturas de las figuras 10 y 11. Para la figura 10 se observa como la pantalla del reloj está polarizada y además tiene orientación perpendicular al filtro.



Figura 10: Captura de pantalla de la simulación filtros polarizadores.

En la figura 11 se observa como al alinear los dos filtros de manera adecuada no pasa la luz de la pantalla, esto debido a que la orientación de los polarizadores es perpendicular entre sí.

Ahora con las imágenes de los polarizadores lineales se observa como el polarizador actúa como una rendija en las figuras 12 y 13. En la figura 12 se observa como si se ponen dos polarizadores con orientaciones perpendiculares la luz no avanza ya que al darle la orientación de uno, la luz ya no tiene componentes en el otro plano correspondiente.

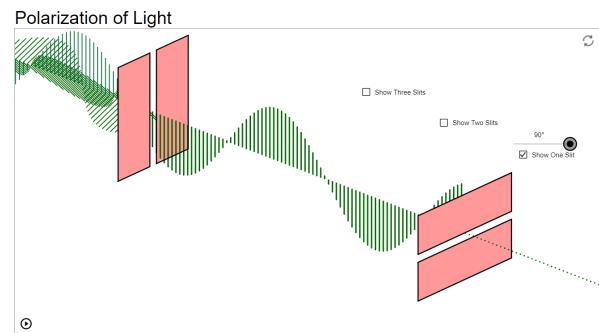


Figura 12: Captura de pantalla de la simulación de polarizadores lineales y sus efectos sobre la luz.

En la figura 13 se determina que si se ponen 2 polarizadores con orientaciones perpendiculares pero se pone uno con orientación no perpendicular a ellos en medio la luz aún avanza ya que a pasar por la rendija del medio adquiere componentes en el plano horizontal nuevamente, para este ejemplo en específico.

Aplicaciones de la polarización de la luz

Un experimento muy interesante que se puede realizar con una fuente de luz polarizada (por ejemplo un monitor) y un envase transparente con una solución de glucosa, aplicando un filtro polarizado seguido de ambos elementos, resulta en la observación de que la luz que atraviesa la disolución presenta un grado de polarización definido. Este efecto del experimento se puede observar en las figuras 14 y 15.

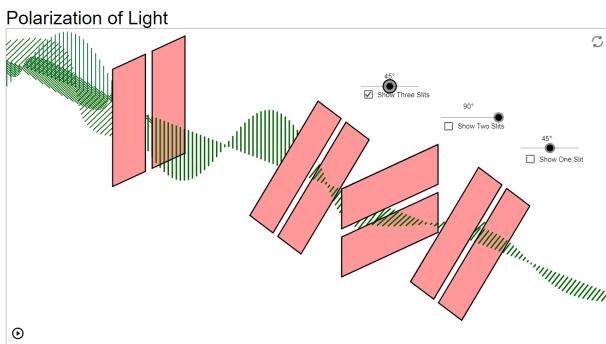


Figura 13: Captura de pantalla de la simulación de polarizadores lineales y sus efectos sobre la luz.



Figura 14: Experimento de polarización de la luz con disolución de glucosa. Creado por Steve Mould.

La razón detrás de la capacidad de las moléculas de glucosa para cambiar el grado de polarización de una fuente de luz linealmente polarizada resulta muy interesante y contraintuitiva. Es conocido que por la superposición de las ondas de luz, un par de componentes de campo electromagnético oscilatorio con ángulo de desfase de 90° causará una onda electromagnética resultante que posee una polarización circular o elipsoidal. Sin embargo, es menos conocido el fenómeno opuesto, en el que dos ondas electromagnéticas iguales con ángulo de desfase de 180° generan una onda resultante polarizada linealmente [8]. Este fenómeno se puede observar en la figura 16.

Así, bajo esta concepción de las ondas lineal-

Figura 15: Experimento de polarización de la luz con disolución de glucosa. Creado por Steve Mould.

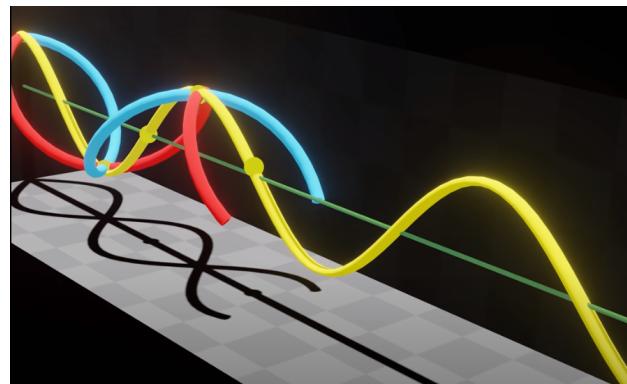


Figura 16: Superposición de ondas circulares que generan una resultante polarizada linealmente. Creado por Steve Mould.

mente polarizadas, se puede explicar la polarización por parte de las moléculas de glucosa definiendo que éstas poseen una forma simétrica que causa que la componente de luz circular que gira en dirección de las manecillas del reloj se retrase respecto a la que gira en dirección contraria [8]. De esta manera, las ondas presentan un desfase y por lo tanto resulta una onda linealmente polarizada que ha cambiado su dirección en función del desfase que se da entre dichas componentes. De esta manera, la luz que atraviesa la disolución posee una dirección de polarización distinta a la que tenía originalmente al salir de la fuente.

4. CONCLUSIONES

Como conclusión, fue posible observar la polarización de la luz, y efectos y fenómenos interesantes que parten de la capacidad de polarizar las ondas electromagnéticas de una fuente.

Se logró, además, medir la variación de la intensidad de luz que atraviesa distintos polarizadores con distintos ángulos de inclinación, y cómo dichos datos se comportaban tal como lo describe la ley de Malus.

Incluso, gracias a la utilización de simuladores, fue posible comprender de mejor manera dichos fenómenos y determinar relaciones con la teoría aprendida en la práctica y en clase. Y se aprendió de fenómenos y aplicaciones relacionados a la polarización de la luz.

REFERENCIAS

- [1] Sears F., Zemansky M., Young H., and Freedman A., *Física universitaria Volumen 2*, 13th ed. México, D.F.: Pearson Educación, 2003.
- [2] Carlo Cristaliza tu arte, "El dicroísmo." [Online]. Available: <https://carloimportaciones.com/blogs/noticias/el-dicroismo>
- [3] Born M., and Wolf E., *Principles of Optics*, 7th ed. Cambridge University Press, 1999.
- [4] E. Hecht, *Óptica*, 5th ed. México, D.F.: Pearson Educación, 2017.
- [5] E. Montero, "Práctica 6.2 polarización de la luz: conceptos, aplicaciones y simulaciones," 2022.
- [6] Europa Press, "La sepia posee una visión polarizada de alta definición," 20 de febrero, 2012. [Online]. Available: <https://www.europapress.es/ciencia/laboratorio/noticia-sepia-posee-vision-polarizada-alta-definicion-20120220181024.html>
- [7] Wikipedia, "Polarized 3d system," 22 de septiembre, 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Polarized_3D_system
- [8] S. Mould, "Why sugar always twists light to the right - optical rotation," 2020. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=975r9a7FMqc>