

## Práctica # 6.2.

### Polarización de la luz: conceptos, aplicaciones y simulaciones<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. Conocer las propiedades que caracterizan a las ondas transversales y longitudinales.
2. Comprender el fenómeno de la polarización de la luz en la teoría electromagnética.
3. Conocer los distintos tipos de polarización de la luz, sus características y diferencias.
4. Repasar algunas aplicaciones técnicas de la polarización de la luz.
5. Realizar algunos experimentos de polarización mediante plataformas de simulación.

#### Introducción

El estudio de las ondas es fundamental en la Física pues se producen en una gran cantidad de fenómenos físicos, en el aire en forma de sonido, en las cuerdas de los instrumentos en forma de música, en la superficie de la Tierra en forma de terremotos y en los colapsos gravitatorios de estrellas y agujeros negros como oscilaciones del espacio tiempo. Sabemos que las ondas pueden ser longitudinales o transversales, aunque en algunos sistemas pueden ser una combinación de estos dos tipos. En las ondas longitudinales las oscilaciones se producen en la misma dirección en que se propagan las ondas, mientras que en las ondas transversales la oscilación es perpendicular a la dirección de propagación de estas.

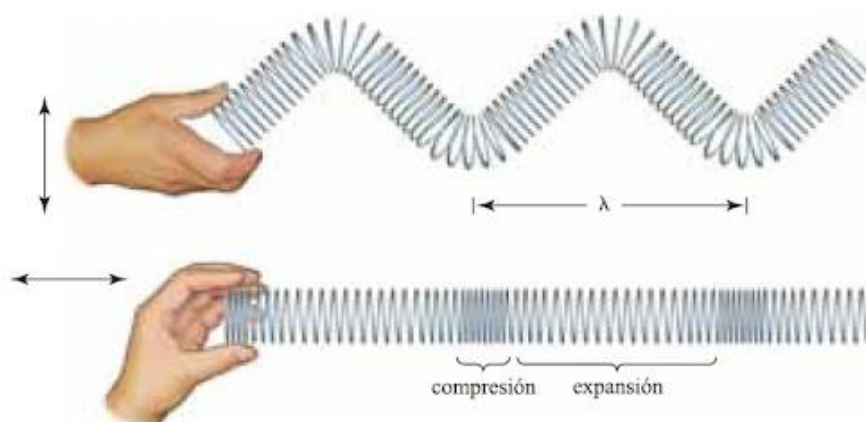
Las ondas electromagnéticas, al igual que las ondas mecánicas, tienen una longitud de onda y una frecuencia que las caracteriza, además, se desplazan en el espacio y el tiempo. La longitud de onda de la luz cambia dependiendo del medio por el que se propaga, mientras que la frecuencia permanece invariante al cambiar de medio de propagación. Tanto en las ondas mecánicas como en las electromagnéticas, la velocidad de propagación depende de las propiedades del medio. Sin

---

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

embargo, las ondas mecánicas pueden cambiar su longitud de onda y su frecuencia, dependiendo del tipo de onda y de las propiedades de los medios por los que se propaga. Además, las ondas mecánicas siempre van perdiendo energía al propagarse por cualquier medio (resultado de la fricción mecánica entre las partículas del medio), mientras que la luz que se propaga por el vacío no pierde energía, pero comienza a atenuarse cuando atraviesa cualquier medio.

El fenómeno de la polarización de las ondas, es exclusivo de las ondas transversales y la luz, que es una onda electromagnética, también es una onda transversal, es decir, se puede polarizar<sup>2</sup>. En este sentido, las ondas electromagnéticas se parecen a las ondas mecánicas que se producen en una cuerda tensa, pues ambas son ondas transversales. Pero son más complejas porque las ondas electromagnéticas son una combinación de dos ondas, una onda de campo eléctrico y una onda de campo magnético que se inducen mutuamente.



**Figura 1.** Tipos de onda en un resorte. Ondas transversales (arriba), ondas longitudinales (abajo) [2].

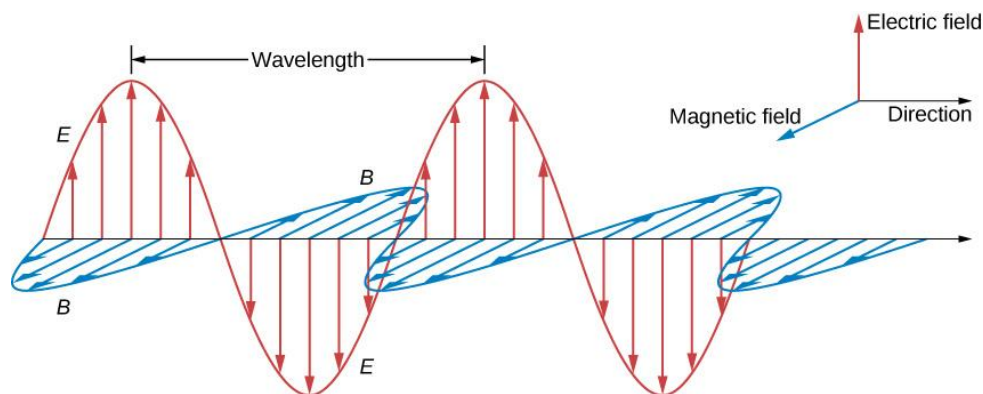
Adicionalmente, las ondas en una cuerda son ondas mecánicas y, como tales, necesitan un medio material para transmitirse, sea este sólido, líquido, gaseoso u otra combinación de sustancias [1]. Por su parte, las ondas electromagnéticas no necesitan un medio para propagarse, es decir, se pueden transmitir en el vacío y a través de algunos medios. De hecho, cuanto más “vacío” está el medio por el que se propagan las ondas electromagnéticas, más rápido se propagan. En este sentido, ocurre lo contrario que con las ondas mecánicas, pues en estas, entre más denso y más rígido sea el medio, más rápido se propagan.

El ser humano no es capaz de distinguir la luz polarizada de otros tipos de luz con sus ojos, pero algunos animales sí son capaces y la utilizan con distintos propósitos. Es así que los camarones mantis son capaces de distinguir la luz polarizada y esta información la utilizan para mejorar la percepción del entorno, las tarántulas también tienen visión de luz polarizada que parecen utilizar con fines de defensa, mientras que las abejas utilizan esta facultad para ubicar su posición con respecto al Sol y como parte de su sistema de localización [3].

---

<sup>2</sup> La luz tiene una naturaleza dual de onda y de partícula. Su comportamiento ondulatorio se presenta en unos fenómenos, mientras que su comportamiento como partícula se manifiesta en otros. En esta práctica se realizan experimentos en los que solo se requiere considerar su comportamiento ondulatorio.

Como se mencionó en el curso de teoría, la longitud de onda es la distancia que hay entre dos crestas o dos valles consecutivos de la onda que se propaga por el espacio (Figura 2). Las ondas de la región visible del espectro electromagnético están en el intervalo de longitudes de onda que va de 400 nm a 700 nm, aunque hay otros autores que amplían el intervalo de la luz visible de 380 nm a 780 nm. En general, las ondas electromagnéticas son ondas en las que dos campos, uno eléctrico y otro magnético, oscilan y se inducen mutuamente. La dirección de propagación de las ondas electromagnéticas coincide con la la dirección del producto vectorial  $\vec{E} \times \vec{B}$ , que corresponde al producto que aparece en el vector de Poynting. Las fuentes de luz más comunes como el Sol, un bombillo incandescente o un tubo fluorescente, no producen luz con un eje de polarización definido, pero la mayor parte de los televisores modernos, muchos de los monitores de las pantallas de dispositivos electrónicos y algunas fuentes de luz láser sí producen luz polarizada.



**Figura 2.** Relación entre campo magnético, campo eléctrico, dirección de propagación y longitud de onda [4].

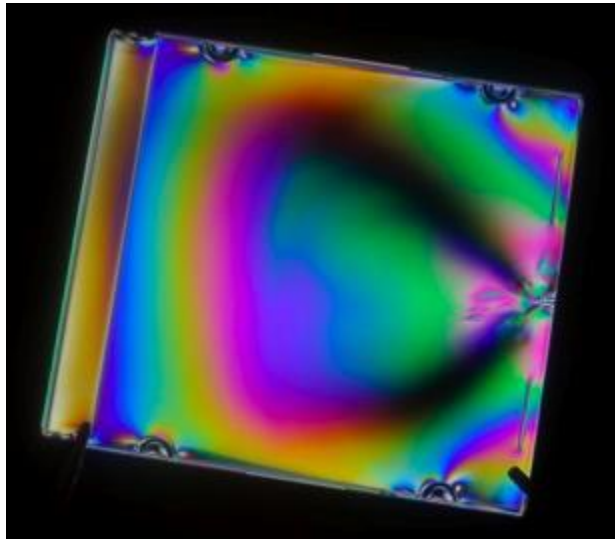
Las ondas electromagnéticas pueden tener polarización lineal, polarización circular o polarización elíptica. La polarización lineal de la luz ocurre cuando se establece un único plano de polarización de la luz. Esto se puede conseguir con un material dicróico al menos de dos maneras, una es mediante transmisión con el uso de lentes polarizadores y la otra mediante la reflexión en un material dieléctrico para un ángulo de incidencia de Brewster. De estas, la manera más práctica de polarizar la luz es mediante el uso de filtros polarizadores, tal como ocurre con los filtros de polarización de los cines, de las gafas de Sol o de las pantallas de la mayor parte de los dispositivos móviles. Pero la polarización por reflexión es más fácil de observar y de obtener en experimentos caseros y demostraciones empíricas.

#### *Aplicaciones de la luz polarizada*

Debido a que la interacción de la luz polarizada con la materia suele presentar características particulares, es posible desarrollar técnicas analíticas que utilicen la luz polarizada como parte del método de análisis. A continuación, se mencionan tres aplicaciones de la luz polarizada al análisis de las propiedades físicas de distintos sistemas.

La actividad óptica de ciertas sustancias orgánicas en disolución, permite el estudio y caracterización de las propiedades ópticas de los enantiómeros, que son sustancias que presentan una distribución espacial no equivalente de los grupos funcionales vinculados a los centros quirales de una molécula. El centro quiral más común en las moléculas orgánicas es un átomo de carbono, cuando está unido

a cuatro grupos funcionales distintos mediante enlaces covalentes simples. La diferente respuesta óptica de tales moléculas orgánicas a la luz polarizada, permite determinar el tipo de enantiómero que está presente, así como su concentración y pureza. Los métodos para determinar la actividad óptica de los enantiómeros son relativamente sencillos y permiten evaluar distintas sustancias con facilidad [5]. Otra aplicación de la luz polarizada es en el análisis de esfuerzos mecánicos basado en el fenómeno de la fotoelasticidad [6]. A partir de las imágenes obtenidas con esta técnica polarimétrica, es posible determinar los puntos de concentración de esfuerzos, procesando las imágenes obtenidas con métodos de simulación computacional.



**Figura 3.** Esfuerzos mecánicos vistos con luz polarizada en una caja de disco compacto [6].

Por otra parte, la elipsometría es una técnica óptica de análisis que se basa en las propiedades de polarización de la luz y que se utiliza para determinar algunas propiedades físicas de los materiales como el grosor de películas delgadas, el índice de refracción de un material sólido o el coeficiente de extinción por absorción [7]

### Trabajo para la introducción del informe

En la introducción de su informe de la Práctica #6, sobre las ondas electromagnéticas y la polarización, debe revisar los siguientes temas. Recuerde que la introducción se debe escribir en prosa y en tercera persona del singular:

1. Defina en sus propias palabras lo que se entiende por onda longitudinal y onda transversal.
2. Explique qué es una onda electromagnética y cuáles son sus principales características.
3. Explique por qué se puede polarizar la luz.
4. Explique el funcionamiento de un polarizador lineal.
5. Indique los tres tipos de polarización que existen y mencione un fenómeno en el que se producen.
6. Busque e indique si existen organismos que puedan ver la luz polarizada y comente la función que tiene este atributo.
7. Comente algunos fenómenos naturales en los que se produce la polarización de la luz.

8. Comente brevemente algunos de los usos o aplicaciones de la luz polarizada que le parezca más interesante.

### Equipo requerido

Para realizar esta práctica se requiere una computadora con conexión a Internet. Además, se puede utilizar la plataforma de simulación “Física en la escuela - HTML5” de Vladimir Vascak y la plataforma de simulación “oPhysics”, programada en Geogebra por Tom Walsh. Adicionalmente, se debe tener posibilidad de revisar al menos unos de los siguientes vínculos para ver videos sobre las aplicaciones de la polarización (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Enlaces electrónicos para profundizar y simular los fenómenos de esta práctica.

Tema	Vínculos electrónicos
Ondas electromagnéticas	<a href="https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_vlna&amp;l=es">https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_vlna&amp;l=es</a> <a href="https://ophysics.com/em3.html">https://ophysics.com/em3.html</a>
Polarización de la luz	<a href="https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=opt_polarizacefiltr&amp;l=es">https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=opt_polarizacefiltr&amp;l=es</a>
Efecto de múltiples polarizadores	<a href="https://ophysics.com/l3.html">https://ophysics.com/l3.html</a>
Aplicaciones de la polarización	Elipsometría: <a href="https://youtu.be/BycPkRlutqg">https://youtu.be/BycPkRlutqg</a> Actividad óptica: <a href="https://youtu.be/NUgFW7jNUpU">https://youtu.be/NUgFW7jNUpU</a> Polarización circular: <a href="https://youtu.be/975r9a7FMgc">https://youtu.be/975r9a7FMgc</a>

### Procedimiento

#### A. Características de las ondas electromagnéticas

1. Abra una de las aplicaciones sobre las ondas electromagnéticas. Seleccione la aplicación que brinde las imágenes más apropiadas para expresar las propiedades de las ondas electromagnéticas. Recuerde la dirección en la que se propaga la onda.
2. Capture una o varias imágenes que posteriormente le permitan representar las propiedades de estas ondas como la combinación de los campos eléctricos y magnéticos oscilantes, la longitud de onda, la frecuencia y la dirección de movimiento.

#### B. Polarización de la luz

1. Utilice la aplicación sobre polarización de la luz, en la indicada en el Cuadro 1, para explorar las propiedades de los filtros polarizadores. Realice capturas de imágenes para luego incluirlas en su informe.
2. Aprecie que cuando la luz polarizada de un reloj digital es perpendicular al eje de polarización del filtro, no se transmite ninguna información visual a su través.
3. Compruebe que cuando se tienen varios polarizadores alineados no siempre se bloquea la luz, aunque los ejes de polarización de dos de ellos se encuentren en posiciones perpendiculares, siempre que no sean consecutivos.

#### C. Aplicaciones de la polarización de la luz

1. Seleccione una de las aplicaciones sugeridas (Cuadro 1) u otra que usted haya encontrado. Estudie la aplicación seleccionada hasta comprender el principio y su relación con la polarización.
2. Busque o genere algunas imágenes que le permitan explicarla posteriormente.

### 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 las características de las ondas electromagnéticas*

1. A partir de las imágenes adquiridas, indique si la onda se propaga en la dirección del producto cruz  $\vec{E} \times \vec{B}$  o en la dirección  $\vec{B} \times \vec{E}$ .
2. A partir de las imágenes obtenidas, realice una representación de las propiedades de las ondas electromagnéticas, de modo que sea fácil comprender sus propiedades.

#### B. *Análisis de la polarización de la luz*

1. Genere varios enunciados que resuman los resultados obtenidos con las experiencias simuladas de los polarizadores.
2. Complemente sus enunciados con imágenes capturadas de la simulación, que permitan comprender sus proposiciones.

#### C. *Análisis de resultados de las aplicaciones de la polarización de la luz*

1. Explique el principio físico del funcionamiento de la aplicación de la polarización de la luz que usted haya seleccionado.
2. Indique cuáles son las propiedades físicas que se pueden valorar cualitativamente o determinar cuantitativamente a través de la aplicación estudiada. Complemente sus explicaciones con algunas imágenes de la aplicación.

### Referencias

- [1] Sears, F.; Zemansky, M.; Young, H. "Física Universitaria". Sexta Edición, Addison-Wesley Iberoamericana. (1986). Capítulo 38.
- [2] Ríos Ariz, A. "Las ondas y la sociedad moderna". Institución Educativa Monseñor Gerardo Patiño, Antioquia, Colombia. Página web para estudiantes de noveno año. Recuperada el 10 de octubre de 2021: [http://lasondasjoseymaria.epizy.com/ondas\\_longitudinales\\_o\\_transversales.html](http://lasondasjoseymaria.epizy.com/ondas_longitudinales_o_transversales.html)
- [3] Marroquín, A. "Curiosidades naturales y luz polarizada". Blog Ciencia Fácil. Creado el 30 de julio de 2018. Recuperado el 1 de noviembre de 2020 de: <http://blogs.hoy.es/ciencia-facil/>
- [4] Imagen tomada de una página web china. Recuperada el 10 de octubre de 2021 de: <https://zhuanlan.zhihu.com/p/341578825>
- [5] García Barneto, A. "Actividad óptica". Liceo AGB, Universidad de Huelva. Recuperado el 11 de octubre de 2021 de: <https://www.liceoagb.es/quimiorg/actopt.html>
- [6] Tapia Ayuga, C. "Polarimetría (técnicas de fotoelasticidad)" Recuperada el 11 de octubre de 2021 de: <http://www.carlostapia.es/fisica/polarimetria.html>
- [7] Spiegato. "¿Qué es un elipsómetro?" Recuperado el 10 de octubre de 2021 de: <https://spiegato.com/es/que-es-un-elipsometro>.