

## Objetivos

Estudiar las propiedades y características básicas de la luz polarizada y a partir de estas observaciones conectar los fenómenos ópticos con los electromagnéticos. Dar soporte experimental acerca de la naturaleza electromagnética de la luz. Determinar experimentalmente la Ley de Malus [1].

## Introducción

Una onda transversal es aquella en la que la propiedad que vibra u oscila es de carácter vectorial y lo hace en una dirección perpendicular a la dirección de propagación. Una onda transversal puede estar polarizada. Esto consiste en que la propiedad que vibra lo haga de un modo predecible. Si la vibración es siempre paralela a una dirección fija se tendrá *polarización lineal*; si el vector que describe la vibración rota a una frecuencia dada perpendicular a la dirección de propagación la onda tendrá *polarización circular* o *elíptica* [2]. Obviamente, el concepto de polarización carece de sentido para una onda escalar como lo es, por ejemplo, una onda de presión.

Un ejemplo de onda mecánica transversal es el caso de una onda viajando por una cuerda: el desplazamiento o elongación es perpendicular a la dirección de propagación. Si se intercala una rejilla en algún punto de la cuerda, es claro que sólo las oscilaciones en la dirección de las rejillas podrán pasar. Este dispositivo (rejilla), que sólo deja pasar las vibraciones en un solo estado de polarización, se llama *polarizador*.

En el presente trabajo experimental, se estudiarán las propiedades análogas a las anteriormente descritas para el caso de la luz, en la cual lo que oscila son los campos eléctrico y magnético, que tienen carácter vectorial.

## Experimental

Un experimento clave para poner a prueba el carácter transversal de una onda, consiste en utilizar dos polarizadores en forma consecutiva, formando un ángulo  $\theta$  entre sus direcciones de polarización (Figura 1) y medir la intensidad de la onda que se transmite como función de  $\theta$ . El primer polarizador polariza linealmente la onda incidente mientras que el segundo polarizador se utiliza como “analizador”. Si la amplitud de la onda polarizada a la salida del primer polarizador la designamos como  $E_0$ , la amplitud transmitida por el analizador será  $E_0 \cos(\theta)$ . Esto se debe a que sólo la componente del campo eléctrico en la dirección del eje de polarización del analizador será transmitida. Como la intensidad de la onda (energía por unidad de área y tiempo) es proporcional al cuadrado de la amplitud [2], tendremos que la intensidad transmitida variará con el cuadrado del  $\cos(\theta)$ , es decir

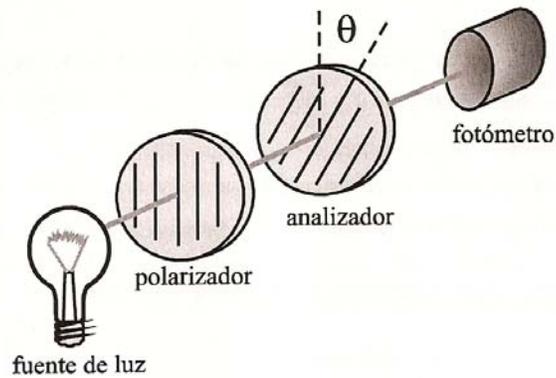
$$I(\theta) = I_0 \cos^2 \theta \quad (1)$$

La relación (1) se conoce como *Ley de Malus*. Esta ley puede utilizarse como un ensayo para determinar en forma operacional si una onda es transversal o no.

Para estudiar estos fenómenos en el caso de la luz, es necesario utilizar *polarizadores*. Si bien existen muchos tipos de polarizadores [2], los polarizadores dicróicos son muy adecuados para este experimento y además son de muy bajo costo [4]. También es necesario usar un fotómetro calibrado para medir la intensidad luminosa.

El dispositivo experimental se muestra esquemáticamente en la Figura 1. La fuente de luz puede ser una lámpara incandescente, y entre ella y un fotómetro se colocan dos polarizadores. El primer polarizador (más cercano a la fuente) se denomina simplemente *polarizador* y el más alejado se denomina *analizador*. Podríamos usar como fotómetro el fotodiodo de la práctica de difracción. En ese caso ¿Se les ocurre como calibrarlo? ¿Qué usarían como patrón?

La luz proveniente de la lámpara incandescente es luz no polarizada, de modo que la misión del polarizador consiste en definir un estado de polarización lineal en la luz que transmite al analizador. Uno de los dos polarizadores debe tener un goniómetro para medir su posición angular relativa a la dirección de transmisión del otro. Debe cuidarse de que exista una buena alineación de todos estos elementos.



**Figura 1.** Esquema del dispositivo experimental empleado para estudiar el fenómeno de la luz polarizada.

Nota: Estos experimentos también pueden realizarse usando un láser de estado sólido como fuente de luz. Estos láseres emiten luz linealmente polarizada, de modo que puede prescindirse de uno de los polarizadores, aunque conviene verificar esta cualidad previamente. Por lo regular, los láseres de He-Ne no generan luz linealmente polarizada. También es común que el estado de polarización dependa del tiempo muchas veces de manera errática, lo que no los hace adecuados para estos experimentos.

- 1) Usando el esquema de la Figura 1 y un fotómetro calibrado, estudiar cómo varía la intensidad luminosa transmitida en función del ángulo entre los dos polarizadores. Para ello, mantener constante la distancia fuente–detector y rotar el polarizador (o el analizador) hasta observar que la intensidad transmitida sea máxima (máxima respuesta del fotómetro). Tomar este ángulo como origen para medir el ángulo entre ellos ( $\theta = 0^\circ$ ). Verificar que cuando se rote el polarizador  $180^\circ$ , la intensidad sea la misma que cuando  $\theta = 0^\circ$ . Si se observa una asimetría significativa entre estas intensidades es aconsejable revisar el dispositivo; por ejemplo, viendo la alineación de los elementos, si no hay fuentes de luz espurias, etc.
- 2) Medir con un fotómetro la intensidad luminosa ( $I$ ) en función de  $\theta$ . De ser posible variar  $\theta$  entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$  en pasos de aproximadamente  $5^\circ$ .
- 3) Identificar las fuentes de error de sus mediciones, y especialmente analizar los errores sistemáticos.

- 4) Representar gráficamente la intensidad de luz transmitida  $I$ :
  - en función de  $\cos(\theta)$
  - en función de  $\cos^2(\theta)$ .
  
- 5) Discutir, a partir estos gráficos, si la luz linealmente polarizada obedece la Ley de Malus [2,3].
  
- 6) Opcional: Mediante un sistema de "luz polarizada + analizador" (como el utilizado en esta práctica para estudiar la ley de Malus) es posible detectar estructuras y propiedades que no son detectadas al iluminar un material con luz no polarizada. Esta técnica es ampliamente utilizada en distintas disciplinas, usualmente asociada a la microscopía óptica [2]. Les proponemos entonces que utilicen el sistema "polarizador-analizador" que armaron para analizar distintos elementos transparentes o semi-transparentes a su alcance (celofán, plástico de folio, regla, etc.). ¿Qué observan al girar el polarizador? ¿Qué observan al deformarlos? ¿Cómo implementarían este sistema en un microscopio óptico?

## **Bibliografía**

- [1] S. Gil y E. Rodríguez, *Física re-Creativa: Experimentos de Física usando nuevas tecnologías*, Prentice Hall, Buenos Aires (2001) ([www.fisicarecreativa.com](http://www.fisicarecreativa.com)) y referencias citadas.
- [2] E. Hecht, *Óptica*, Ed. Addison Wesley, 3° ed., Capítulo 8 (1998).
- [3] R. Feynman, R. Leighton y M. Sands, *The Feynman lectures on Physics*, Vol. 2, Ed. Fondo Educativo Interamericano, Bogotá (1972).
- [4] M. Alonso y E. J. Finn, *Campos y Ondas*, Vol. II, Ed. Fondo Educativo Interamericano, Bogotá (1970).