

Polarización de ondas electromagnéticas

Mía V. Angulo - 2181874^{1,2,*} and Sharon T. Navarro- 2180650^{1,2,**}

¹Escuela de física, Universidad Industrial de Santander, Docente: Arturo Plata Gómez.

Abstract. Las ondas electromagnéticas hacen parte de nuestro día a día; gracias a ello tenemos un sistema de telecomunicaciones y se han podido lograr grandes avances científicos. Estas ondas al ser transversales, poseen la característica de polarizarse. Es muy importante conocer el fenómeno de la polarización debido a que frecuentemente, un claro ejemplo son los lentes de sol que atenúan la intensidad de la luz. Siendo así, se estudian los diferentes tipos de polarización (lineal, circular y elíptica), con un simulador creado por los estudiantes de la Universidad Industrial de Santander, cambiando parámetros tales como amplitud y ángulo de desfase de dos ondas armónicas perpendiculares con el objetivo de explicar cuando se da cada tipo de polarización.

La física es la única profesión en la cual la predicción no es solo precisa, sino una rutina.

Neil deGrasse Tyson.

Introducción

El estudio de la luz como onda electromagnética es vital en el campo de la óptica la cual estudia el comportamiento y las propiedades que la componen. Una de las propiedades que caracterizan a las ondas electromagnéticas es el estado de polarización el cual está ligado a la consideración de dos perturbaciones ortogonales.

En primera instancia, se estudiará el fenómeno de la polarización lineal. Para este caso, representamos cada perturbación ortogonal de la siguiente manera:

$$E_x(\vec{z}, t) = \hat{i}E_{0x}\cos(kz - \omega t) \quad (1)$$

$$E_y(\vec{z}, t) = \hat{j}E_{0y}\cos(kz - \omega t + \epsilon) \quad (2)$$

En donde ϵ corresponde al desfase entre las dos ondas. La onda electromagnética resultante (3) será la suma vectorial de las ecuaciones (1) y (2). Ahora, si consideramos ϵ igual a cero o bien, $n\pi$ se obtiene que esta perturbación óptica estará linealmente polarizada ya que su

oscilación estará descrita por una línea inclinada. Ver figura (1)

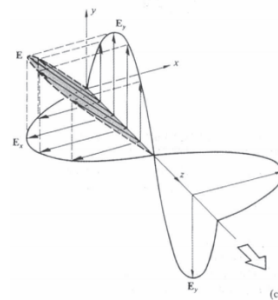


Figure 1. Onda electromagnética polarizada linealmente

Fuente: Hetch, E. (2000). Óptica.

$$\vec{E} = (\hat{i}E_{0x} + \hat{j}E_{0y})\cos(kz - \omega t) \quad (3)$$

En la polarización circular se mantienen las amplitudes de cada perturbación igual, tal que:

$$E_{0x} = E_{0y} = E_0$$

*e-mail: miangulobtuso@gmail.com

**e-mail: Sharontatiana0818@gmail.com

(3.1) y

$$\epsilon = \frac{-\pi}{2} - 2m\pi(3.2)$$

$$E_x(\vec{z}, t) = \hat{i}E_0 \cos(kz - \omega t) \quad (4)$$

$$E_y(\vec{z}, t) = \hat{j}E_0 \sin(kz - \omega t) \quad (5)$$

Por lo que cada perturbación tendrá la forma de (4) y (5) a lo que la onda resultante será:

$$\vec{E} = E_0(\hat{i}\cos(kz - \omega t) + \hat{j}\sin(kz - \omega t))$$

Aunque la amplitud escalar de esta onda permanezca constante E_0 , la dirección del campo eléctrico cambia con el tiempo tal como lo muestra la figura (2), en donde tendremos una polarización circular a derechas. Aquí, el vector \vec{E} gira con una frecuencia angular ω .

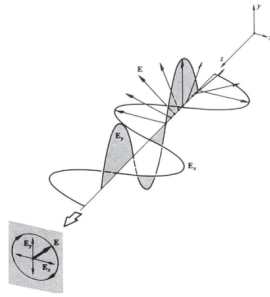


Figure 2. Onda electromagnética polarizada circularmente (a derechas).

Fuente: Hetch, E. (2000). Óptica.

En cambio, si la condición de ϵ varía de tal forma que

$$\epsilon = \frac{pi}{2} + 2m\pi(5.2)$$

se tiene una polarización circular a izquierdas.

La polarización elíptica es el estado en el cual el vector campo eléctrico resultante \vec{E} gira mientras va cambiando su magnitud de tal manera que \vec{E} traza un elipse en el plano perpendicular al eje de propagación.

Teniendo en cuenta las ecuaciones (1) y (2) se buscará la ecuación de la elipse de tal manera que no dependa de la posición ni del tiempo (6).

$$\rightarrow \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 + \left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)\cos(\epsilon) = \sin^2(\epsilon) \quad (6)$$

Con el fin de encontrar el ángulo (α) que formará la elipse con el sistema coordenado (E_x, E_y) como se muestra en la figura (3).

$$\tan(2\alpha) = \frac{2E_{0x}E_{0y}\cos(\epsilon)}{E_{0x}^2 - E_{0y}^2} \quad (7)$$

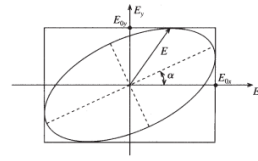


Figure 3. Ángulo α ilustrado dado en la polarización elíptica.

Fuente: Hetch, E. (2000). Óptica.

Además, es posible notar que para el caso de $\alpha = 0$ (ejes de la elipse alineados) se obtiene la forma:

$$\frac{E_y^2}{E_{0y}^2} + \frac{E_x^2}{E_{0x}^2} = 1 \quad (8)$$

Objetivos

Objetivo general

Estudiar el fenómeno de la polarización electromagnética y cada uno de sus estados

Objetivos específicos

- Estudiar, comprender y comparar los tipos de polarización.
- Variar los parámetros de amplitud y desfase de la superposición dos ondas electromagnéticas armónicas que se propagan en la misma dirección y son perpendiculares entre sí para verificar su estado de polarización.

Metodología

En esta metodología, se explica brevemente la función del simulador, el cual permite visualizar el tipo de polarización de la superposición de dos ondas electromagnéticas cuyos vectores de campo eléctrico son perpendiculares entre sí, y cada una de ellas presenta un desfase con respecto a la otra en la dirección de la propagación de las mismas.

Fase 1

En primera instancia, se utilizó el comando GUIDE en la interfaz de MATLAB, el cual al ser ejecutado mostró una ventana con diversas herramientas para la creación del programa interactivo.

En esta ventana, se crearon 3 AXES los cuales se implementaron para hacer posible la visualización de las tres gráficas. En la primera y segunda gráfica se ilustró ya trayectoria del vector campo eléctrico \vec{E}_{0x} y \vec{E}_{0y} en función del tiempo respectivamente; ya que

así se pueden comparar las amplitudes y se puede ver brevemente el desfase entre ambas. Sin embargo, allí no se representan los vectores, se dibuja la trayectoria que hacen estos y están representadas por las funciones y_1, y_2 . En el tercer axes, se observa la forma en la que se polarizan al superponerse las dos ondas.

Posterior a ello, se designaron tres 'botones'(amplitud de y_1 , amplitud de y_2 y el ángulo de desfase en el eje de propagación), cuya función fue desplegar valores para cada variable mencionadas anteriormente, y a partir de estas, arrojar las tres respectivas gráficas. Finalmente, se agregaron algunas opciones para sofisticar el programa.

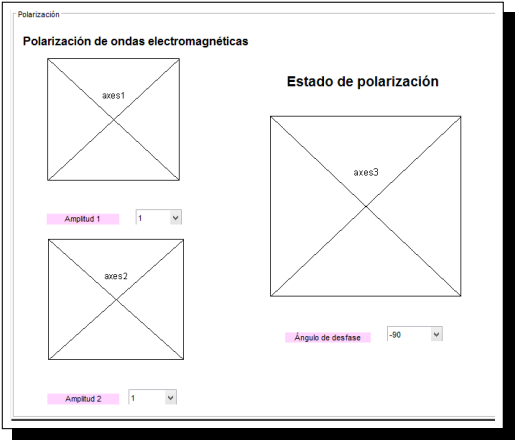


Figure 4. Estructura del simulador.

Fuente: Autores.

Fase 2

Una vez el simulador estuvo terminado, se realizó la recolección de datos. En primer lugar, se hicieron las mediciones dejando una amplitud igual para y_1 y y_2 y el parámetro que variaba fue el ángulo de desfase. Luego, se mantuvo el ángulo de desfase constante y se variaron las amplitudes. A partir de la gráfica (3) que arrojaba el programa, se pudo concluir qué estado de polarización presentaba la superposición de los vectores.

Fase 3

Para esta última fase se tabularon los datos y se estudiaron a fondo los datos recolectados del procedimiento anterior consignándolos en el presente informe.

Tratamiento de datos

En esta sección se llevó a cabo la utilización del simulador anteriormente explicado en la metodología. Primero, se ingresan datos para amplitudes (A y B) y (ϵ) el cuál representa el ángulo de desfase entre las

dos ondas.

Los valores de amplitudes y desfase se tomaron con la finalidad de encontrar los diferentes estados de polarización que se iban ilustrando en el simulador. Las ecuaciones de las ondas (y_1 y y_2) son:

$$y_1 = A \sin(2\pi t) \quad (9)$$

$$y_2 = B \sin(2\pi t + \epsilon) \quad (10)$$

A continuación, se muestran los valores de A , B y ϵ correspondientes a cada estado de polarización (lineal, circular y elíptica).

Table 1. Casos de polarización lineal.

| Polarización lineal | A | B | ϵ |
|---------------------|---|---|-------------|
| | 2 | 2 | 0° |
| | 2 | 2 | 180° |
| | 5 | 1 | 0° |

Table 2. Casos para polarización circular.

| Polarización circular | A | B | ϵ |
|-----------------------|---|---|-------------|
| | 1 | 1 | 90° |
| | 1 | 1 | -90° |
| | 3 | 3 | 90° |

Table 3. Casos para polarización elíptica.

| Polarización elíptica | A | B | ϵ |
|-----------------------|---|---|-------------|
| | 5 | 5 | 60° |
| | 5 | 5 | 120° |
| | 5 | 3 | 60° |
| | 5 | 2 | 45° |

Análisis de datos

A partir de las tablas de datos de la sección anterior, se procede a analizar los datos.

En la figura (5), se puede visualizar una gráfica de una línea recta, en esta, las amplitudes de las ondas son las mismas y el ángulo de desfase es de $\epsilon = 0$. Comparando este resultado con el de la figura (6), el cual tiene un $\epsilon = 0$ al igual que el anterior, pero sus amplitudes son diferentes, aquí lo que cambie en la gráfica es la pendiente, la cual se ve más inclinada con respecto a la figura (5).

De esto, se puede concluir que cuando se tiene un ángulo de desfase $\epsilon = 0$ y se varían las amplitudes, solo cambia la pendiente.

Polarización de ondas electromagnéticas

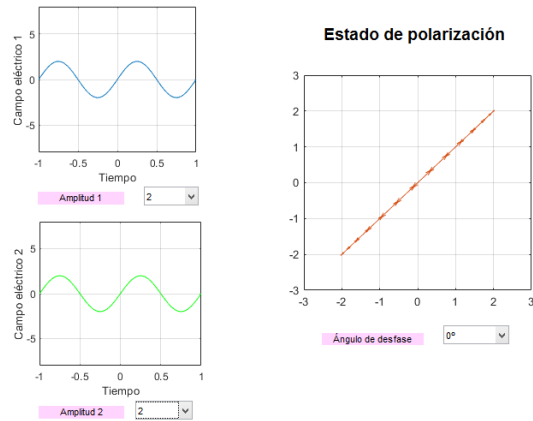


Figure 5. Polarización: lineal. Amplitudes iguales, $\varepsilon = 0^\circ$

Polarización de ondas electromagnéticas

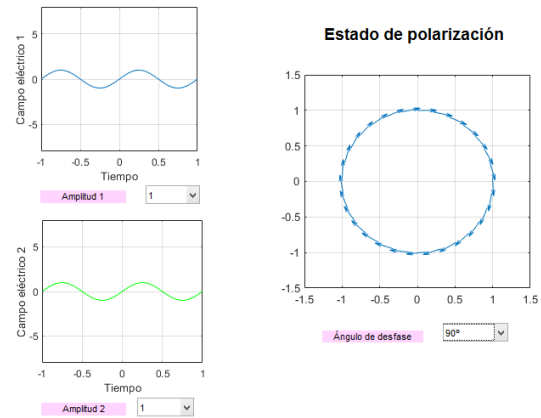


Figure 7. Polarización: circular derecha. Amplitudes iguales, $\varepsilon = 90^\circ$

ý

Polarización de ondas electromagnéticas

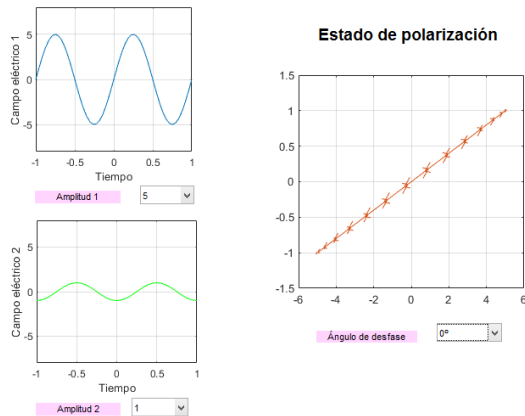


Figure 6. Polarización: lineal. Amplitudes diferentes, $\varepsilon = 0^\circ$

Polarización de ondas electromagnéticas

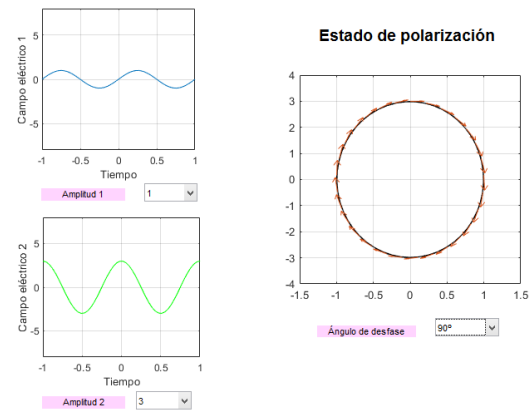


Figure 8. Polarización: elíptica. Amplitudes diferentes, $\varepsilon = 90^\circ$

Con un ángulo $\varepsilon = 90^\circ$ y amplitudes iguales se obtiene una circunferencia con vectores apuntando en sentido contrario a las manecillas del reloj (circular derecha) en la figura (7), por el contrario en la figura (8) se obtiene una polarización circular izquierda cuando se mantienen las amplitudes iguales y las ondas se desfasan -90° .

Por otro lado, si $\varepsilon = 90^\circ$ y se cambian las amplitudes, el resultado es una polarización elíptica. Partiendo de esto, se puede decir que para conseguir en general una polarización circular, se deben mantener los valores de ε tal como indican las ecuaciones (3.2) y (5.2), e incondicionalmente las amplitudes deben ser iguales, ya que si no es de esta forma el vector dibuja una elipse.

Polarización de ondas electromagnéticas

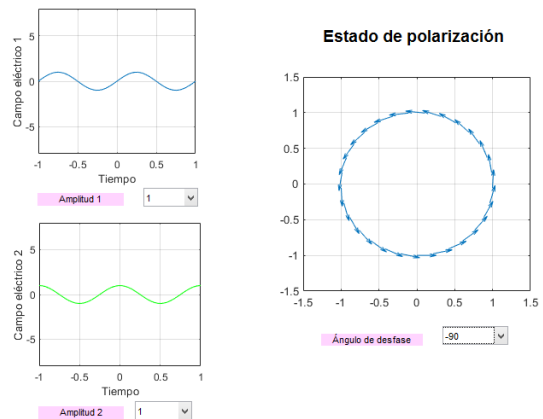


Figure 9. Polarización: circular izquierda. Amplitudes iguales, $\varepsilon = -90^\circ$

Por último, tenemos las representaciones (10) y (11) las cuales tienen las mismas amplitudes, sin embargo sus ángulos son diferentes, (60 y 120 respectivamente). Como se puede observar, allí hay una reflexión respecto al eje vertical cuando se comparan estas dos. De este modo, se concluye que cuando se varía el ángulo de desfase, cambia el ángulo de inclinación con respecto al eje de propagación y puede hallarse por medio de la expresión (7).

A partir de los datos se afirma que para conseguir que el vector dibuje una elipse, los ángulos de desfase deben ser diferentes a los múltiplos enteros de π sin importar la amplitud que se asigne.

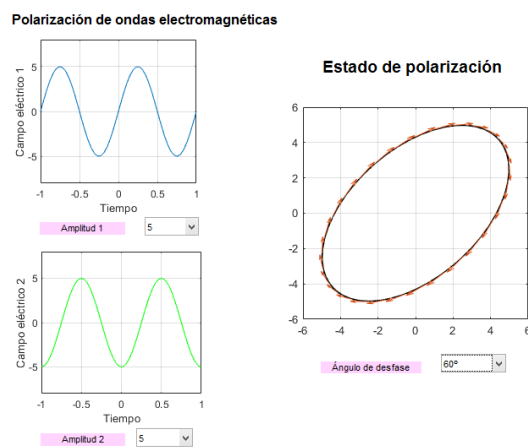


Figure 10. Polarización: elíptica. Amplitudes iguales, $\varepsilon = 60^\circ$

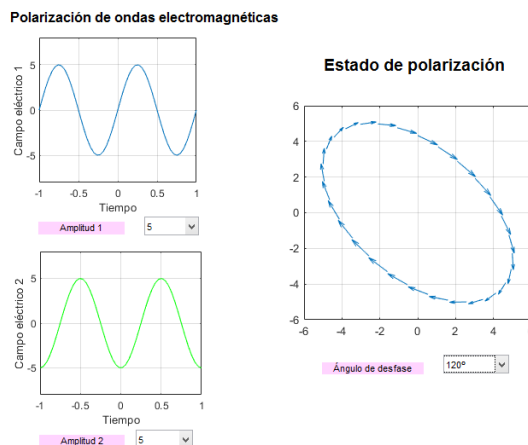


Figure 11. Polarización: elíptica. Amplitudes iguales, $\varepsilon = 120^\circ$

Conclusiones

En conclusión, se cumplió con el objetivo de estudiar el fenómeno de la polarización y los sus estados.

Además, se estudiaron las diferentes variables que generan los tipos de polarización de acuerdo a los valores que se le asignaron y se comprobó que a partir de estas sí se obtienen diferentes figuras geométricas tan solo teniendo en cuenta la amplitud de las dos ondas y el ángulo de desfase entre ellas.

En general, para casi todos los ángulos se consigue una figura geométrica elíptica sin importar las amplitudes (ya que este parámetro solo contrae o alarga la figura); exceptuando los casos en que los ángulos corresponden al estado lineal y circular. Cabe resaltar, que la polarización circular debe cumplir con *dos condiciones*: Las amplitudes de los dos vectores de campo deben ser exactamente iguales, en segundo lugar, los desfases deben corresponder a (3.2) o (5.2). Por otro lado, el estado lineal *solo debe cumplir una condición*, el ángulo debe ser un múltiplo de π . Asimismo, el simulador concordó con la teoría expuesta en el presente informe.

Aplicaciones

La polarización electromagnética es un fenómeno excepcional en la naturaleza. Desde el momento en el que usamos gafas polarizadas, tomamos fotos con filtros o bien, usamos lentes 3D se está ejerciendo y aplicando el concepto de polarización para un bien común.

La luz proveniente directamente del sol corresponde a ondas electromagnéticas no polarizadas debido a que si caracterizamos a la luz por el comportamiento del campo eléctrico tendríamos que este no tendría una dirección específica, es por esto que con el objetivo de transmitir una única dirección del campo eléctrico se ven involucrados los polarizadores.

Los polarizadores funcionan de tal manera que actúan como un filtro o una rendija permitiendo pasar solo aquella luz que coincida con la orientación del polarizador ya sea lineal, circular o elíptica. (Ver figura 8).

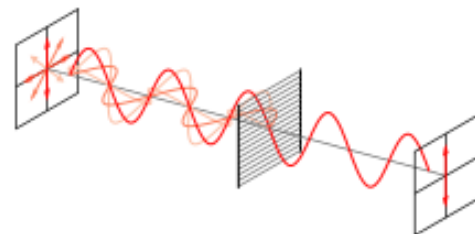


Figure 12. Polarizador.

Recuperado de:

<https://curiosoando.com/que-son-las-lentes-polarizadas>

En el caso de las gafas 3-D (regularmente usadas en los cinemas) su filtro está dado para las ondas po-

larizadas circulanmente para ampliar el margen de entrada de la luz en diferentes ángulos con el fin de que se permita la completa movilidad de la cabeza.

Anexos

References

- [1] Principios de óptica , Recuperado de:
<https://rodas5.us.es/file/79c6b763-9e6b-4185-5eaf->

- 8456185c4d40/2/tema10sCORM.zip/media/tema10pagina_notas.pdf
- [2] ¿Qué son las lentes polarizadas?, Recuperado de:<https://curiosoando.com/que-son-las-lentes-polarizadas>
- [3] Hetch, E. (2000). Óptica.