

## Práctica VIII : Polarización.

Alumno: Flores Rodriguez Jaziel David

Boleta: 2014030429  
Profesor: Dr. Janos Zsargo  
Grupo: 4FV2-B

December 2, 2019

### Resumen

Se estudió el efecto de la polarización en la luz, y se aprovecharon éstas propiedades para determinar tanto el ángulo de Brewster así como el índice de refracción de diferentes materiales, además se pudo obtener la ley de Malus por el fenómeno de polarización por absorción selectiva mediante el uso de filtros polaroid.

Palabras clave: *ángulo de Brewster, ley de Malus, filtros polaroid.*

### Introducción

La **polarización electromagnética** es una propiedad de las ondas que pueden oscilar con más de una orientación. Esto se refiere normalmente a las llamadas ondas transversales, en particular se suele hablar de las ondas electromagnéticas, aunque también se puede dar en ondas mecánicas transversales. En una onda electromagnética, tanto el campo eléctrico y el campo magnético son oscilantes, pero en diferentes direcciones; ambas perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación de la onda; por convención, el plano de polarización de la luz se refiere a la polarización del campo eléctrico. La forma trazada sobre un plano fijo por un vector de campo eléctrico de una onda plana que pasa sobre él es una curva de Lissajous y puede utilizarse para describir el tipo de polarización de la onda. Las siguientes figuras muestran algunos ejemplos de la variación del vector de campo eléctrico (azul) con el tiempo

(el eje vertical), con sus componentes X y Y (roja/izquierda y verde/derecha), y la trayectoria trazada por la punta del vector en el plano (púrpura). Cada uno de los tres ejemplos corresponde a un tipo de polarización.

### Polarización por reflexión

Al reflejarse un haz de luz no polarizado sobre una superficie, la luz reflejada sufre una polarización parcial de forma que el componente del campo eléctrico perpendicular al plano de incidencia (plano que contiene la dirección del rayo de incidencia y el vector normal a la superficie de incidencia) tiene mayor amplitud que el componente contenido en el plano de incidencia. Cuando la luz incide sobre una superficie no absorbente con un determinado ángulo, el componente del campo eléctrico paralelo al plano de incidencia no es reflejado. Este ángulo, conocido como ángulo de Brewster, en honor del físico británico David Brewster, se alcanza cuando el rayo reflejado es perpendicular al rayo refractado. La tangente del ángulo de Brewster es igual a la relación entre los índices de refracción del segundo y el primer medio. Además esto sucede cuando  $\theta_i + \theta_t = 90^\circ$  (figura 1).

Usando la Ley de Snell

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad (1)$$

donde

$$\theta_t = 90^\circ - \theta_i \quad (2)$$

luego

$$\sin \theta_t = \sin(90^\circ - \theta_i) = \cos \theta_i \quad (3)$$

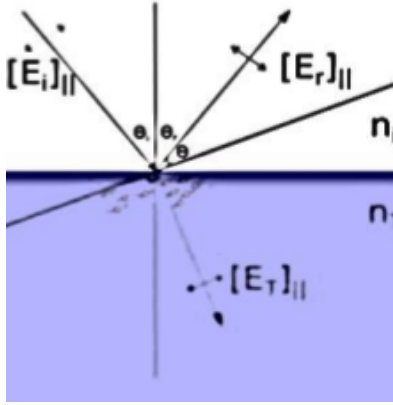


Figura 1:

entonces sustituyendo (3) en (1) obtenemos

$$n_i \sin \theta_i = n_t \cos \theta_i \quad (4)$$

De esta manera

$$\tan \theta_i = \left( \frac{n_t}{n_i} \right) \quad (5)$$

Así el ángulo de Brewster está dado por:

$$\theta_i = \tan^{-1} \left( \frac{n_t}{n_i} \right) \quad (6)$$

## Intensidad de luz(Irradiancia)

Se denomina vector de Poynting al vector cuyo módulo representa la intensidad instantánea de energía electromagnética que fluye a través de una unidad de área perpendicular a la dirección de propagación de la onda electromagnética, y cuyo sentido es el de propagación. Recibe su nombre del físico inglés John Henry Poynting. Se expresa mediante el símbolo  $\vec{S}$ .

El vector de Poynting puede definirse como el producto vectorial del campo eléctrico y el campo magnético, cuyo módulo es la intensidad de la onda:

$$\vec{S} = c^2 \epsilon_0 \vec{E} \times \vec{B} \quad (7)$$

o bien

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu} \vec{E} \times \vec{B} \quad (8)$$

donde  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  representan el campo eléctrico y el campo de inducción magnética respectivamente siendo  $\mu$  la permeabilidad magnética del medio. Su unidad en SI es el *vatio/m²*.

Dado que los campos eléctrico y magnético de una onda electromagnética oscilan con la frecuencia de la onda, la magnitud del vector de Poynting cambia en el tiempo. El promedio del

vector de Poynting sobre un período muy superior al período de la onda es llamado irradiancia,  $I$ :

$$I \equiv \langle \vec{S} \rangle \quad (9)$$

La irradiancia representa el flujo de energía asociado a la radiación electromagnética en la dirección perpendicular a su dirección de propagación. Como puede verse, la intensidad de onda es proporcional a la amplitud del campo eléctrico, es decir:

$$I_0 \propto E_0^2 \quad (10)$$

$$I \propto E_0^2 \cos \theta \quad (11)$$

Como la constante de proporcionalidad es la misma se tiene que

$$I(\theta) = E_0^2 \cos^2 \theta \quad (12)$$

## Desarrollo experimental

se realizaron dos experimentos los cuales fueron los siguientes

### Experimento 1

Éste consistió en determinar el índice de refracción de una sustancia utilizando el sistema mostrado en la figura 2.

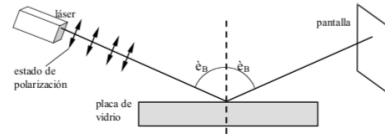


Figura 2: Sistema utilizado en el experimento 1.

Aquí se hará uso de la propiedad de la polarización y del ángulo de Brewster, con la particularidad de que en este caso  $n_i = 1$ , por tanto, sustituyendo  $n_i = 1$  en 5 se tiene que

$$\tan \theta_i = n_t \quad (13)$$

Para obtener el ángulo de Brewster se desplazó el láser por la circunferencia, el haz se era reflejado por la sustancia en el recipiente e incidía sobre la pantalla, el punto donde éste desaparecía (se deja de ver) es cuando el ángulo incidente es igual al ángulo de Brewster, así que se anotaba el ángulo medido.

### Experimento 2

En este caso utilizamos el sistema de la figura 3. Con un medidor de intensidad registramos la intensidad que llegaba al detector cuando variábamos el ángulo de desfase entre los polarizadores, dejando fijo el ángulo del polarizador 1 con respecto al láser.

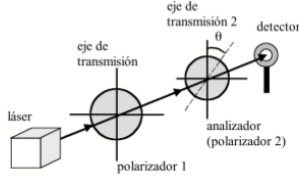


Figura 3: Sistema utilizado en el experimento 2.

## Datos y resultados obtenidos

### Experimento 1

En el experimento 1 se trajo de determinar el ángulo de Brewster los datos que se obtuvieron son los siguientes datos donde  $\theta_{h_2o}$ ,  $\theta_{gli}$  y  $\theta_{acr}$  son los ángulos obtenidos para el agua, la glicerina y el acrílico respectivamente.

N	$\theta_{h_2o}$ (°)	$\theta_{gli}$ (°)	$\theta_{acr}$ (°)
1	53	55	55
2	52	54	56
3	52.5	54.5	55.5
4	53.5	55.5	55.5
Promedio	52.75	54.75	55.5

Cuadro 1: Datos obtenidos en el experimento 1: Determinación del ángulo de Brewster

Utilizando la ecuación 13 se obtuvo lo siguiente:  
Para el agua

$$\tan\theta_{h_2o} = n_{h_2o} \implies \tan(52.75) = 1.3150 \quad (14)$$

Para la glicerina:

$$\tan\theta_{gli} = n_{gli} \implies \tan(54.75) = 1.4149 \quad (15)$$

Para el acrílico

$$\tan\theta_{acr} = n_{acr} \implies \tan(55.5) = 1.4550 \quad (16)$$

Así pues los resultados para este experimento fueron

$$\tan\theta_{h_2o} = 1.3150$$

$$\tan\theta_{gli} = 1.4149$$

$$\tan\theta_{acr} = 1.4550$$

Los índices de refracción teóricos para estos materiales son:

$$\tan\theta_{h_2o} = 1.33$$

$$\tan\theta_{gli} = 1.47$$

$$\tan\theta_{acr} = 1.49$$

Los porcentajes de error obtenidos fueron:

Para el agua

$$\%e = \frac{|1.3150 - 1.33|}{1.3150} \times 100 = 1.1406 \%$$

Para la glicerina

$$\%e = \frac{|1.4149 - 1.47|}{1.4149} \times 100 = 3.8819 \%$$

Para el acrílico

$$\%e = \frac{|1.4550 - 1.49|}{1.4550} \times 100 = 2.5054 \%$$

### 0.1 Experimento 2

Para el segundo experimento considerando las medidas tomadas y así llenamos la tabla 2.

N	$\theta$	$\cos\theta$	$\cos^2\theta$	$I(\theta)$
1	0	1	1	116.4
2	20	0.94	0.8836	102.6
3	40	0.77	0.5929	66.4
4	60	0.5	0.25	24.1
5	75	0.5588	0.0669	4.8
6	80	0.1736	0.0301	1.5

Cuadro 2: Datos obtenidos en el experimento 2

Y con estos datos generamos la grafica de  $I(\theta)$  vs  $\cos^2 \theta$  la cual es la siguiente

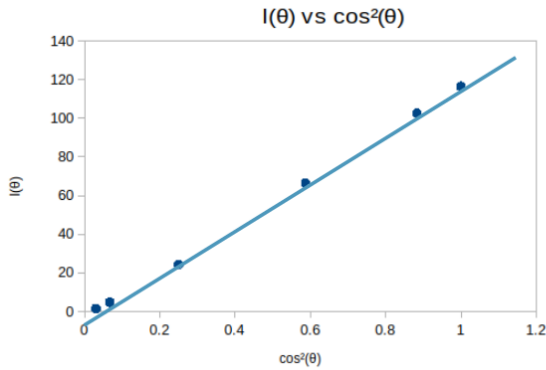


Figura 4: Ajuste  $I(\theta)$  vs  $\cos^2(\theta)$

La ecuación de ajuste que se obtuvo fue la siguiente:

$$I(\theta) = 119.58 \cos^2(\theta) - 3.6372 \quad (17)$$

## Conclusiones

En el primer experimento se obtuvieron errores porcentuales muy bajos por lo que las mediciones obtenidas fueron buenas, lo cual demuestra que si se cumple lo visto en teoría.

Finalmente, para la segunda parte se obtuvo una gráfica bastante parecida a la que la Ley de Malus describe, claramente mientras haya un ángulo de desfase mayor la intensidad de luz disminuye, lo que nos dice que existe una mayor polarización.

## Referencias

- [1] Eugene Hecht. *Óptica, Sexta Edición*. Addison-Wesley Iberoamericana, 2000.
- [2] Paul A. Tipler; Gene Mosca. *Física para la ciencia y la tecnología, Sexta Edición*. Editorial Reverté, 2010.
- [3] David Halliday; Robert Resnick. *Física, Vol. 2, Quinta Edición*. Grupo Patria Cultural, 2001.
- [4] Bruno Rossi. *Fundamentos de Óptica*. Editorial Reverte, 1978.
- [5] Richard P. Feynman; Robert B. Leighton; Matthew Sands. *The Feynman Lectures on Physics: The Definitive and Extended Edition*. Addison Wesley, 2005.

[6] Francis W. Sears. *Fundamentos de Física III: Óptica, Cuarta Edición*. Editorial Aguilar, 1967.

[7] Max Born; Emil Wolf. *Principles of Optics, 7th Edition*. Pergamon, 1970.