



# Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Laboratorio de Óptica

Semestre 2021-1



## Práctica 6

### “POLARIZACIÓN I (ECUACIONES DE FRESNEL)”.

Dr. Omar Guillermo Morales Saavedra

Fís. Karina Jaqueline Pérez Morales



Galindo Ruiz Abraham, estudiante de la  
licenciatura de física, Facultad de Ciencias,  
UNAM, [abraham\\_g\\_r@ciencias.unam.mx](mailto:abraham_g_r@ciencias.unam.mx)



Gálvez Anaya Juan Carlos, estudiante de la  
licenciatura de física, Facultad de Ciencias,  
UNAM, [jcgalvez@ciencias.unam.mx](mailto:jcgalvez@ciencias.unam.mx)



Hernandez Espinosa Julio Cesar, estudiante de la  
licenciatura de física, Facultad de Ciencias,  
UNAM, [julio44.98@ciencias.unam.mx](mailto:julio44.98@ciencias.unam.mx)



Velázquez Cebada Hannia Alexia, estudiante de la  
licenciatura de física, Facultad de Ciencias, UNAM,  
[hannia.alexia@ciencias.unam.mx](mailto:hannia.alexia@ciencias.unam.mx)

Fecha de entrega: 26 de Noviembre de 2020.

## I. Objetivo

1. Determinar el comportamiento de la energía reflejada y transmitida en la interfase de dos medios transparentes, como función del ángulo de incidencia, para dos estados de polarización ortogonales [s y p, o  $\perp$  y  $\parallel$  (respectivamente) al plano de incidencia].
2. Determinar el estado de polarización de la luz reflejada para Reflexión Total Interna (RTI:  $\theta_i \geq \theta_c$ ) y los cambios de fase que toman lugar.

## II. Introducción

Como se explicó en la práctica anterior, hay diferentes maneras de lograr la polarización de la luz:

- \*reflexión
- \*doble reflexión
- \*dispersión
- \*absorción selectiva

Para analizar el método de polarización por reflexión se puede utilizar el ángulo de Brewster el cual ocurre únicamente a un ángulo característico tal que, cuando la luz incidente sobre una superficie de un dieléctrico es polarizada perpendicularmente al plano de incidencia, siendo aquí el ángulo de incidencia igual al ángulo de Brewster, y solo se refleja esta parte de la luz que ha sido polarizada.

$$\theta_B = \tan^{-1} \frac{n_t}{n_i} \dots (1)$$

normalmente se denota como  $\theta_B$  ó  $\theta_P$  en referencia al ángulo de Brewster o ángulo de polarización

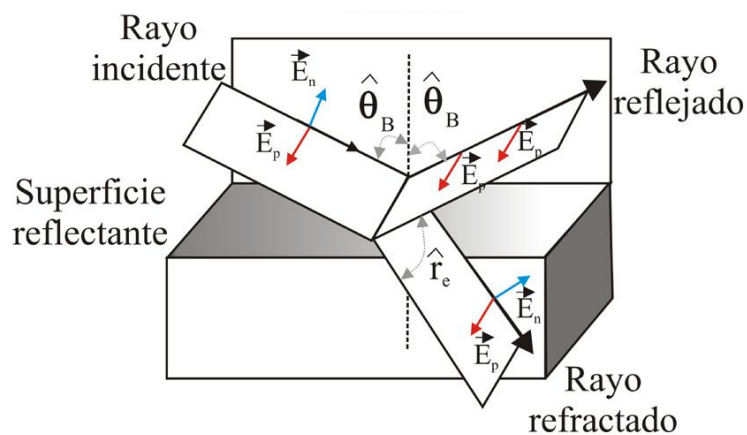


Imagen 1- Polarización por reflexión

Algo importante de mencionar es que el rayo reflejado es “débil” o poco intenso y el rayo transmitido es más intenso. La razón se debe a que cuando el rayo entra en contacto con el material utilizado para la reflexión (en este caso se utilizó acrílico) los electrones irradian energía al interactuar con el campo eléctrico del rayo incidente y parte de esta radiación será mayor o menor dependiendo del ángulo de incidencia con el eje del dipolo.

Las expresiones que describen la variación de la amplitud e intensidad reflejada y transmitida como función de los índices de refracción y ángulos de incidencia y transmisión, se conocen genéricamente como ecuaciones de Fresnel.

$$r_{\perp} = -\frac{\sin(\theta_i - \theta_t)}{\sin(\theta_i + \theta_t)}$$

$$r_{\parallel} = +\frac{\tan(\theta_i - \theta_t)}{\tan(\theta_i + \theta_t)}$$

$$t_{\perp} = +\frac{2 \sin \theta_t \cos \theta_i}{\sin(\theta_i + \theta_t)}$$

$$t_{\parallel} = +\frac{2 \sin \theta_i \cos \theta_t}{\sin(\theta_i + \theta_t) \cos(\theta_i - \theta_t)}$$

La irradiancia se define como el valor de la intensidad energética promedio de una onda electromagnética en un punto dado y se calcula como el valor promedio del vector de Poynting (dirección de propagación del flujo de energía ).

La razón entre la Irradiancia entre el rayo reflejado y el rayo incidente se conoce como reflectancia , teniendo en cuenta que la Irradiancia es proporcional al cuadrado de la amplitud del campo eléctrico se define el coeficiente de reflexión:

$$r_{||} = \left[ \frac{E_{or}}{E_{oi}} \right]_{||} \quad \dots(2)$$

Indica la proporción entre la amplitud de los campos eléctricos reflejado e incidente .

Cuando el rayo es perpendicular al plano incidente:

$$r_{\perp} = \left[ \frac{E_{or}}{E_{oi}} \right]_{\perp} \quad \dots(3)$$

Así se puede definir a la reflectancia y se refiere al valor porcentual de la energía radiante que es reflejada por un material, del total de energía radiante que incide su superficie.

$$R_{||} = r_{||}^2 = \left[ \frac{E_{or}}{E_{oi}} \right]_{||}^2 \Rightarrow R_{||} = \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_t)}{\tan^2(\theta_i + \theta_t)} \quad \dots(4)$$

$$R_{\perp} = r_{\perp}^2 = \left[ \frac{E_{or}}{E_{oi}} \right]_{\perp}^2 \Rightarrow R_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_t)}{\sin^2(\theta_i + \theta_t)} \quad \dots(5)$$

Cuando el componente del campo eléctrico reflejado es cero quiere decir que el rayo es transmitido por completo.

En el caso de que se tenga luz incidente no polarizada , se le puede representar como 2 ondas polarizadas ortogonales , incoherentes y de igual magnitud .

$$I_{i||} = I_{i\perp} = \frac{I_i}{2}$$

La Irradiancia se relaciona con el campo eléctrico de la siguiente forma:

$$I = \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_0^2$$

### III. Resultados

Incidencia Externa	$\theta_B(\pm 0.5^\circ)$	Incidencia intera	$\theta_B(\pm 0.5^\circ)$
Medición 1	51	Medición 1	37
Medición 2	57	Medición 2	36
Medición 3	54	Medición 3	36
Medición 4	53	Medición 4	37
Medición 5	52	Medición 5	34

Tabla 2: Datos obtenidos para la polarización S en incidencia externa.  $I_0 = 261 \pm 0.5 \mu W$

$\theta(^{\circ})$	$I_r(\mu W)$	Incertidumbre $I_r(\mu W)$	$I_t(\mu W)$	Incertidumbre $I_t(\mu W)$
5	7.49	0.005	261.4	0.05

10	7.85	0.005	239.5	0.05
15	9.06	0.005	296.8	0.05
20	10.77	0.005	294	0.05
25	10.21	0.005	299.2	0.05
30	11.13	0.005	253.7	0.05
35	12.35	0.005	251.7	0.05
40	13.27	0.005	229.7	0.05
45	15.7	0.005	220.8	0.05
50	21.32	0.005	245.2	0.05
55	25.33	0.005	231.3	0.05
60	32.95	0.005	239.1	0.05
65	48.2	0.005	287	0.05
70	70.8	0.05	249.6	0.05
75	95.4	0.05	232.6	0.05
80	136.4	0.05	188.2	0.05
85	180	0.05	132.9	0.05

Tabla 3: Datos obtenidos para la polarización S en incidencia interna.  $I_0 = 412 \pm 0.5 \mu W$ .

$\theta(^{\circ})$	$I_r(\mu W)$	Incertidumbre $I_r(\mu W)$	$I_t(\mu W)$	Incertidumbre $I_t(\mu W)$
5	8.53	0.005	422	0.05
10	10.31	0.005	401.3	0.05
15	7.45	0.005	370.4	0.05
20	9.4	0.005	274.4	0.05
25	16.31	0.005	270	0.05
30	24.14	0.005	265.9	0.05
35	38.4	0.005	328.1	0.05
40	85.9	0.005	206.1	0.05
45	227.1	0.05		

50	240	0.05		
55	254.2	0.05		
60	266.3	0.05		
65	270.7	0.05		
70	278	0.05		
75	258.6	0.05		
80	263.4	0.05		
85	257.4	0.05		

Tabla 4: Datos obtenidos para la polarización P en incidencia externa.  $I_0 = 525 \pm 0.5 \mu W$

$\theta(^{\circ})$	$I_r(\mu W)$	Incertidumbre $I_r(\mu W)$	$I_t(\mu W)$	Incertidumbre $I_t(\mu W)$
5	17.81	0.005	518	0.5
10	17.17	0.005	526	0.5
15	15.37	0.005	518	0.5
20	14.22	0.005	530	0.5
25	12.94	0.005	530	0.5
30	11.23	0.005	518	0.5
35	8.48	0.005	514	0.5
40	6.49	0.005	530	0.5
45	4.06	0.05	518	0.5
50	1.79	0.05	497	0.5
55	0.07	0.05	526	0.5
60	0.91	0.05	509	0.5
65	6.17	0.05	505	0.5
70	20.32	0.05	501	0.5
75	58.1	0.05	438	0.5
80	106.1	0.05	405.8	0.05
85	268.1	0.05	247.3	0.05

Tabla 5: Datos obtenidos para la polarización P en incidencia interna.  $I_0 = 377 \pm 0.5 \mu W$ .

$\theta(^{\circ})$	$I_r(\mu W)$	Incertidumbre $I_r(\mu W)$	$I_t(\mu W)$	Incertidumbre $I_t(\mu W)$
5	12.35	0.005	514	0.5
10	11.75	0.005	522	0.5
15	7.21	0.005	333.4	0.05
20	5.21	0.005	315.9	0.05
25	3.78	0.005	344.8	0.05
30	1.63	0.005	360.2	0.05
35	0.19	0.005	351.3	0.05
40	13.86	0.005	364.5	0.05
45	315.9	0.005		
50	332	0.05		
55	340.1	0.05		
60	346.6	0.05		
65	371	0.05		
70	408.3	0.05		
75	394.2	0.05		
80	380.9	0.05		
85	303.2	0.05		

#### IV. Análisis de Resultados

Para poder obtener el índice de refracción del semidisco de acrílico usamos la ley de la refracción como lo hemos visto en prácticas pasadas y usamos la ecuación ?

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad \text{ec ?}$$

Calculando el seno de cada ángulo se obtiene la tabla 4

$\theta_1(\pm 0.5^\circ)$	$\sin(\theta_1)(\pm 0.5^\circ)$	$\theta_2(\pm 0.5^\circ)$	$\sin(\theta_2)(\pm 0.5^\circ)$	$n_2 = \frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)}(\pm 0.5^\circ)$
51	0.78	37	0.60	1.29
57	0.84	36	0.59	1.43
54	0.81	36	0.59	1.38
53	0.80	37	0.60	1.33
52	0.79	34	0.56	1.41

por lo que si tomamos el promedio de los  $n_2$  como el promedio de los valores calculados tenemos que  $n_2 = 1.37$ .

Además sabemos que de la ecuación 1 por lo que el ángulo de Brewster es

$$\theta_B = \tan^{-1} \frac{n_t}{n_i} \quad \text{ec (1)}$$

$n_2 ( )$	$n_1$	$\theta_B = \tan^{-1}(\frac{n_t}{n_i})$
1.29	1	58.02
1.43	1	61.15
1.38	1	60.08
1.33	1	58.96
1.41	1	60.73

por lo que si tomamos el promedio de los  $\theta_B$  como el promedio de los valores calculados tenemos que  $\theta_B = 59.79$

## V. Conclusiones



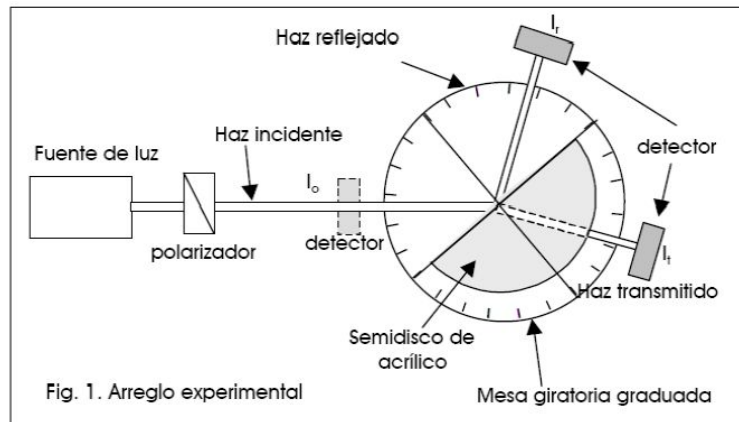


figura 2 - arreglo experimental utilizado para esta práctica

En la parte uno de la práctica, logramos obtener el índice de refracción del semidisco, el cual nos dio un valor de  $n_2 = 1.37$  que es mayor que el del aire, con esto pudimos determinar cuál es el ángulo de Brewster usando la ecuación uno encontramos que este deber de tener un valor de 59.79 los datos que obtuvimos no podían ser analizados con ajustes lineales ya que la distribución de estos generaba resultados no deseados, lo común en estos casos es filtrar los datos usando estadística y analisis de datos, pero desafortunadamente no tenemos muchos casos por analizar por lo que optamos por usar el promedio de los datos para tener un resultado más parecido a la realidad.

## VI. Anexos