

REFLEXIÓN Y TRANSMISIÓN DE ONDAS PLANAS.

Objetivo.

EL objetivo de esta práctica es la obtención de los coeficientes de Fresnel para una interfase dieléctrica plana, el estudio de la incidencia de una onda plana en una lámina de caras plano-paralelas, la medida del coeficiente de absorción de un medio y el estudio del fenómeno de la reflexión total. Toda la experiencia se realizará con ondas planas monocromáticas.

Material.

1- Láser con plataforma. La plataforma dispone de un sistema de tuercas y contratueras para asegurar la posición horizontal del láser.

2.- Nivel, botellín con agua destilada, llaves Allen, escuadra.

3- Láminas de vidrio. Deberán tratarse con sumo cuidado y procurar que estén siempre limpias y en condiciones para la práctica.

4.- Detector de intensidad luminosa. El detector es un diodo PIN cuya respuesta es una intensidad eléctrica que es proporcional a la intensidad luminosa. La superficie sensible del diodo debe ser mayor que el spot del láser, con lo cual se asegura que toda la luz del láser es recogida por el diodo y transformada en corriente eléctrica.

5- Amplificador de señal y polímetro digital. Si la potencia del láser es muy pequeña, se puede aumentar la respuesta del diodo PIN mediante un conversor I-V. Este elemento está construido con un amplificador operacional que transforma la intensidad de corriente eléctrica en diferencia de potencial, con un rango de amplificación suficientemente grande para poder medir la d.d.p. de salida del conversor con un polímetro digital sencillo.

6- Un polarizador y prismas de vidrio.

7- Plataforma graduada Sirve para colocar las láminas de vidrio y poder medir el ángulo de incidencia del láser sobre ella. Dispone de zapatas niveladoras para nivelar su posición . Consta de los siguientes elementos (figura 1):

Nº1 Base plana con zapatas reguladoras

Nº2 Eje

Nº3 Plataforma graduada

Nº4 Disco giratorio

Nº5 Soportes de lámina

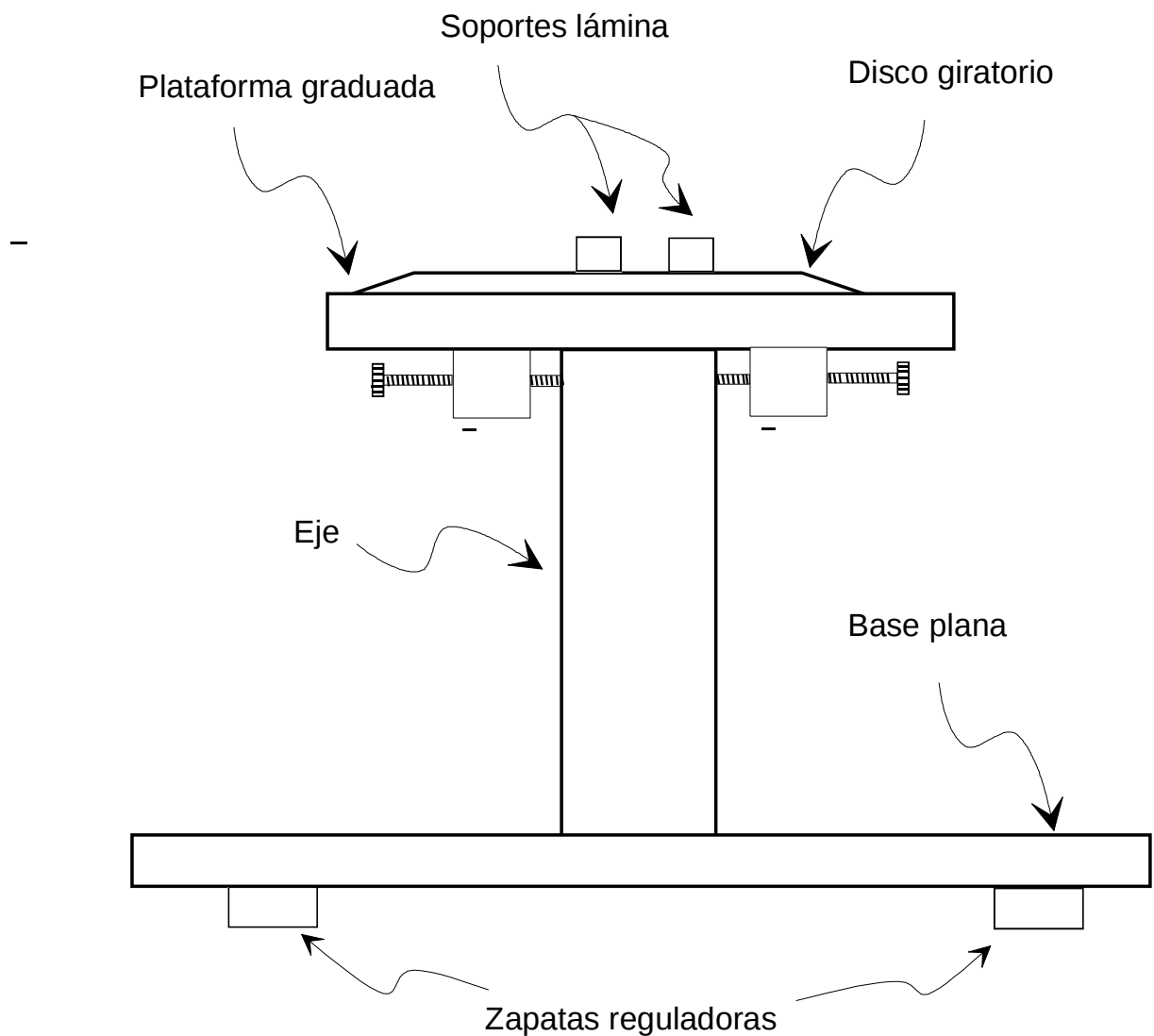


Figura 1

Introducción teórica.

Tres fenómenos físicos se estudiarán en la presente práctica: A) Reflexión de una onda plana sobre una interfase que separa dos medios dieléctricos diferentes; B) Incidencia de una onda plana sobre una lámina dieléctrica de caras plano-paralelas: obtención de múltiples ondas planas reflejadas y transmitidas, y C) Reflexión total de una onda plana.

Para cada uno de estos fenómenos expondremos una introducción teórica

A) Reflexión de una onda plana por una interfase dieléctrica

Cuando una onda plana incide sobre una interfase plana que separa dos medios dieléctricos diferentes, aparecen otras dos ondas planas: una reflejada hacia el primer medio (por donde viaja la onda incidente) y otra transmitida al segundo medio. Las amplitudes de las ondas reflejada y transmitida están relacionadas con la amplitud de la onda plana incidente mediante los denominados coeficientes de Fresnel.

Para polarización paralela al plano de incidencia

$$r = \frac{n_t \cos \vartheta_i - n_i \cos \vartheta_t}{n_i \cos \vartheta_t + n_t \cos \vartheta_i} \quad (1)$$

$$t = \frac{2n_i \cos \vartheta_i}{n_i \cos \vartheta_t + n_t \cos \vartheta_i} \quad (2)$$

Para polarización normal al plano de incidencia

$$r = \frac{n_i \cos \vartheta_i - n_t \cos \vartheta_t}{n_i \cos \vartheta_i + n_t \cos \vartheta_t} \quad (3)$$

$$t = \frac{2n_i \cos \vartheta_i}{n_i \cos \vartheta_i + n_t \cos \vartheta_t} \quad (4)$$

donde θ_i y θ_t son los ángulos de incidencia y de refracción respectivamente, y n_i y n_t son los índices de refracción del primer y segundo medio respectivamente.

Introduciendo en estas expresiones las condiciones en que se desarrolla nuestra experiencia ($n_i = 1$, pues el rayo incidente se propaga por el aire) y teniendo en cuenta la ley de Snell $n_t \sin \theta_i = n_i \sin \theta_t$, se obtienen nuevas expresiones que dependen solamente del índice de refracción del segundo medio dieléctrico respecto del aire, n , y del ángulo de incidencia θ :

Para polarización paralela al plano de incidencia

$$r = \frac{n^2 \cos \vartheta - \sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta}}{n^2 \cos \vartheta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta}} \quad (5)$$

Para polarización normal al plano de incidencia

$$r = \frac{\cos \vartheta - \sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta}}{\cos \vartheta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta}} \quad (6)$$

Tan solo hemos incluido las ecuaciones referidas a la reflexión, ya que en la primera parte de la práctica se va a trabajar siempre con los coeficientes de reflexión por la imposibilidad de medir intensidades luminosas en el segundo medio dieléctrico.

Estas expresiones no van referidas a magnitudes medibles, por lo que habremos de encontrar las ecuaciones que sean de utilidad y permitan corroborar experimentalmente los resultados teóricos. El detector luminoso que se dispone, proporciona una corriente eléctrica cuya intensidad es proporcional a la intensidad luminosa, esto es, a la potencia de luz incidente sobre el diodo. Por tanto se tiene una medida experimental que es proporcional al cuadrado de la amplitud de la onda plana incidente sobre el detector. Así pues, midiendo la intensidad de la onda plana incidente sobre el medio dieléctrico, la de la onda plana reflejada por el mismo y dividiendo ambas medidas, podemos obtener el cuadrado del coeficiente de reflexión:

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{E_{or}}{E_{oi}} \right)^2 = r^2 \quad (7)$$

B) Incidencia de una onda plana sobre una lámina de caras plano-paralelas

Si se estudia el caso de una onda plana que se propaga por el aire e incide sobre una lámina de caras plano-paralelas, hay que aplicar sucesivamente los principios que anteriormente nos han llevado a la obtención de los coeficientes de Fresnel. La onda incidente (0) llega desde el aire a la superficie de separación entre éste y la lámina (figura 2).

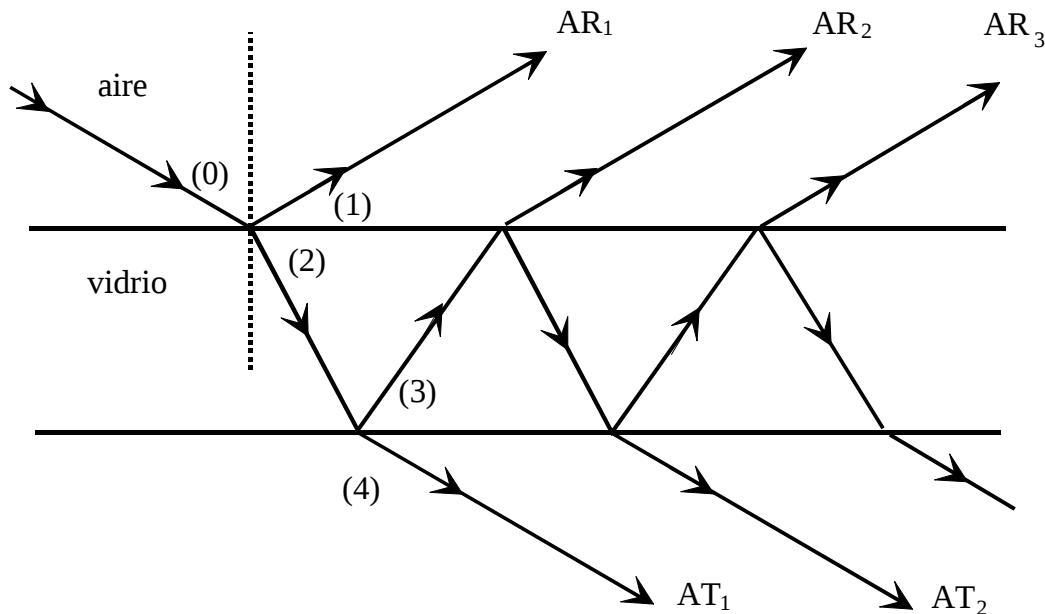


Figura 2

Parte de la onda es devuelta al propio medio (1) y parte atraviesa la superficie penetrando en el medio dieléctrico (2). La onda transmitida vuelve a sufrir la división al llegar a la segunda cara de la lámina (interfase lámina-aire) de manera similar a como la onda incidente (0) se vió forzada a dividirse al llegar a la interfase aire-lámina. En esta segunda interfase, una parte (3) se reflejará hacia el interior de la lámina y otra (4) pasará al aire (saliendo pues del dieléctrico). La parte reflejada (3) volverá a sufrir la división, al llegar a la otra interfase lámina-aire. Así el proceso se irá repitiendo y la onda perderá intensidad conforme va sufriendo las sucesivas divisiones. Todo este proceso se resume en la figura 2. Las amplitudes de las distintas ondas planas que se van generando son:

Para las amplitudes de las ondas reflejadas:

$$AR_1 = rA_0; \quad AR_2 = tt'r'A_0; \quad AR_3 = tt'r'^3A_0; \quad AR_4 = tt'r'^5A_0; \dots$$

Para las amplitudes de las ondas transmitidas:

$$AT_1 = tt'A_0; \quad AT_2 = tt'r'^2A_0; \quad AT_3 = tt'r'^4A_0; \quad AT_4 = tt'r'^6A_0; \dots$$

donde A_0 es la amplitud de la onda plana incidente, AR_i es la amplitud de la onda plana reflejada i-ésima, AT_i es la amplitud de la onda plana transmitida i-ésima, r es el coeficiente de Fresnel para la reflexión en la primera cara de la lámina en el sentido aire-lámina, t es el coeficiente de Fresnel para la transmisión en la primera cara de la lámina en el sentido aire-lámina, t' es el coeficiente de Fresnel para la transmisión en la segunda cara de la lámina en el sentido lámina-aire, y r' es el coeficiente de Fresnel en reflexión en cualquier cara de la lámina en el sentido lámina-aire. Las expresiones matemáticas de los coeficientes r y t se dan en la experiencia anterior, mientras que las de t' y r' para ambos estados de polarización son las siguientes:

$$\begin{array}{lll} \text{Polarización normal} & t' = \frac{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta}}{\cos \vartheta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta}} & r' = -r \end{array} \quad (9)$$

$$\begin{array}{lll} \text{Polarización paralela} & t' = \frac{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta}}{n^2 \cos \vartheta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta}} & r' = -r \end{array} \quad (10)$$

Se observa que las amplitudes de los diferentes rayos reflejados (exceptuando AR_1) y transmitidos están en progresión geométrica, siendo $r'^2 = r^2$ la razón de dichas progresiones. Las expresiones de t' también provienen de los coeficientes de Fresnel, pero esta vez se ha hecho $n_t = 1$ para obtenerlas, por lo que n es el índice de refracción de la lámina respecto del aire

Como en la experiencia anterior, habremos de tener en cuenta que estas expresiones no se refieren a magnitudes medibles. Las amplitudes de los diferentes rayos reflejados y transmitidos serán proporcionales a las raíces cuadradas de las intensidades eléctricas suministradas por el diodo PIN correspondientes a cada uno de los rayos luminosos. Para comprobar que las amplitudes de los rayos están en progresión geométrica, bastará con dividir las amplitudes consecutivas transmitidas o reflejadas (excepto la primera reflejada) para un ángulo de incidencia fijo, y observar que sale el mismo valor numérico, que además será igual al cuadrado del coeficiente de reflexión obtenido en la primera experiencia. También se puede obtener el producto de los coeficientes de transmisión $t't$ dividiendo la amplitud del segundo rayo reflejado por la del primer rayo reflejado. El coeficiente de reflexión r también puede ser obtenido directamente dividiendo adecuadamente las amplitudes reflejadas por las transmitidas, como por ejemplo AR_2/AT_1 .

C) Atenuación de una onda plana que se propaga por un medio absorbente.

Cuando una onda plana se propaga por un medio absorbente, la intensidad de la onda se va amortiguando con la distancia recorrida por la onda. Asignando el eje X a la dirección de propagación de la onda plana, la intensidad en cualquier punto viene dada por la expresión

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (11)$$

donde I es la intensidad de la onda en un punto x de la recta de propagación, I_0 es la intensidad de la onda en el origen de coordenadas y α es el coeficiente de absorción.

Para medir el coeficiente de absorción se aprovechará el fenómeno de múltiples reflexiones en una lámina de material absorbente del siguiente modo (figura 3): midiendo las intensidades de los dos primeros rayos láser transmitidos a través de la lámina, la intensidad del primer rayo reflejado, la intensidad del rayo incidente, y teniendo en cuenta que la onda ha recorrido dos distancias d desde el punto de salida del primer rayo transmitido al punto de salida del segundo rayo transmitido, se cumplirá la relación:

$$\frac{I_{T2}}{I_{T1}} = \left(\frac{AT_1}{AT_2} \right)^2 = \left(\frac{IR_1}{I_0} \right)^2 e^{-2\alpha d} = \left(\frac{AR_1}{A_0} \right)^4 e^{-2\alpha d} = (r')^4 e^{-2\alpha d} \quad (12)$$

donde la distancia d tiene por expresión

$$d = \frac{ng}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \quad (13)$$

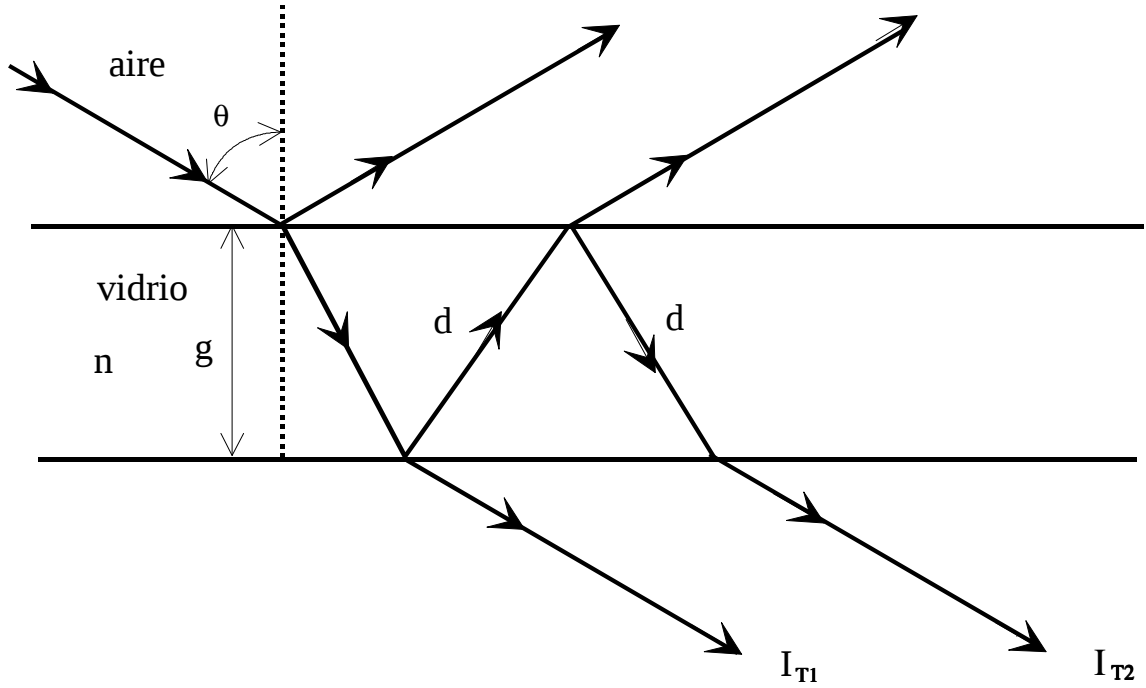


Figura 3

D) Reflexión total de una onda plana

Cuando una onda plana incide desde un primer medio denso sobre otro segundo medio menos denso (de menor índice de refracción que el primero), se generan también dos ondas planas en la interfase de separación de los dos medios, pero el ángulo de refracción de la onda transmitida es mayor que el ángulo de incidencia. Si se va aumentando el ángulo de incidencia, llega un momento en que el ángulo de refracción se hace igual a 90° y luego toma un valor complejo. A partir de este ángulo de incidencia se dice que ocurre reflexión total porque el rayo refractado desaparece y solo existe un rayo reflejado al primer medio. El ángulo de incidencia a partir del cual desaparece el rayo refractado, se denomina ángulo límite y está relacionado con el índice de refracción del primer medio mediante la expresión: $\sin \theta_L = 1/n$, donde n es el índice de refracción del primer medio respecto del segundo. Cuando ocurre el fenómeno de reflexión total los coeficientes de reflexión de Fresnel toman las siguientes expresiones

$$r = e^{2j\Phi} \quad (14)$$

donde

para el caso de polarización paralela
$$\Phi = \arctan \frac{\sqrt{\sin^2 \vartheta - 1/n^2}}{\cos \vartheta} \quad (15)$$

para el caso de polarización normal
$$\Phi = \arctan \frac{n^2 \sqrt{\sin^2 \vartheta - 1/n^2}}{\cos \vartheta} \quad (16)$$

De las expresiones anteriores se deduce que el rayo reflejado en reflexión total tiene la misma amplitud que el rayo incidente pero diferente fase, y este desfase depende del tipo de polarización del rayo incidente. Así, si el rayo incidente tuviera polarización lineal y oblicua respecto del plano de incidencia, las componentes normal y paralela del campo eléctrico sufrirían un desfase relativo y se obtendría un rayo reflejado con polarización elíptica en general.

Puesta a punto de los elementos de la práctica.

Antes de empezar la práctica hay que asegurarse de que el material de que disponemos esta a punto para realizar las medidas. Este proceso puede ser largo pero asegura la validez de las medidas experimentales. Para ello realizaremos los siguientes pasos previos:

1- Nivelar el generador láser para obtener una propagación del rayo láser paralela a la mesa donde se monta toda la práctica: Para ello se dispone de una escuadra que se colocará por encima de la mesa para medir la altura del rayo láser sobre la propia mesa. Colocando la escuadra en puntos cercanos al generador láser y luego en puntos más lejanos y actuando sobre las tuercas y contratueras de la plataforma del láser, se puede conseguir que el rayo láser se propague paralelamente a la mesa.

2- Conseguir que la lámina de vidrio sea perpendicular al rayo láser y fijar el origen de ángulos de incidencia: Para ello colocar la lámina de vidrio sobre el disco giratorio y limpiarla con la gamuza. Hacer coincidir la marca del disco giratorio con la división cero de la plataforma graduada. Girar la plataforma para que el láser incida sobre la primera cara de la lámina y el rayo reflejado incida sobre el propio generador láser. Se observará que los diferentes rayos reflejados en las dos caras de la lámina inciden sobre el generador láser. Hay que conseguir que todos estos rayos reflejados incidan sobre la misma abertura del generador láser de la cual sale el rayo incidente. Girando suavemente la lámina se observarán todos los rayos reflejados. Con las zapatas niveladoras de la plataforma hay que conseguir que todos los puntos vayan entrando en la abertura por donde sale el rayo láser. También se observará que en la pared donde

incide el rayo transmitido a través de la lámina hay varios puntos luminoso (debido a múltiples reflexiones y refracciones en las dos caras de la lámina). Hay que conseguir también que solo haya un punto luminoso transmitido

3- Consequir que el disco giratorio gire en un plano paralelo a la mesa: Para ello girar el disco giratorio con la lámina y medir con la escuadra la altura sobre la mesa del rayo reflejado. Girar el disco en el sentido contrario al anterior y medir la altura del rayo reflejado. Actuando sobre las zapatas hay que conseguir que ambas alturas sean iguales y además iguales a la altura del láser incidente obtenida en el punto 1. En caso de que al volver a obtener la incidencia normal sobre la lámina, se hubiese desajustado la perpendicularidad de ésta actuar como se explica en el punto 2. Hay que conseguir que se cumplan simultáneamente los puntos 2 y 3 actuando alternativamente como se indica en ambos puntos.

4- Determinar el plano de vibración del campo eléctrico del rayo láser. Para ello se dispone de una lámina de vidrio blanco de índice de refracción conocido. Este vidrio está formado de Silicato de Boro siendo $n=1.472$ su índice de refracción, según el fabricante. Girar la lámina de vidrio en el ángulo de Brewster, que en este caso será de 55.7° . Después girar el láser hasta conseguir que el rayo reflejado por el vidrio tenga intensidad mínima. En este caso se tendrá que el campo eléctrico del láser vibra en un plano horizontal, esto es, paralelamente al plano de incidencia.

Realizados estos pasos previos ya se puede empezar la realización de las medidas de las diferentes partes de la práctica.

1.- Medida de los coeficientes de Fresnel para la reflexión por una interfase:

Para comprobar la bondad del montaje experimental mediremos los coeficientes de reflexión para la lámina de vidrio blanco (Borofloat), empleada en el último punto del apartado anterior. Realizar los siguientes pasos:

1.- Comprobar que se tiene incidencia normal (como se explica en el punto 2 de la puesta a punto de los elementos de la práctica). Girar el láser 90° para tener polarización normal

5.- Girar el disco giratorio un ángulo inicial pequeño, y situar el detector luminoso para que el rayo reflejado incida en él.

6.- Anotar la lectura del polímetro

7.- Girar el disco de cinco en cinco grados y anotar la lectura del polímetro para cada ángulo de incidencia

8.- Retirar la lámina de vidrio y medir la intensidad del láser directamente con el detector luminoso. Esta medida corresponderá a la intensidad incidente sobre la lámina

9.-Representar la raíz cuadrada del cociente entre las lecturas del polímetro obtenidas en los puntos 6 y 7, y la lectura obtenida en el punto 8 en función del ángulo de incidencia. Se obtendrá así el valor absoluto del coeficiente de reflexión para polarización normal. El valor verdadero de este coeficiente de reflexión debe tener signo negativo (se puede demostrar a partir de (6) esta afirmación). El índice de reflexión de la lámina de vidrio se puede determinar despejándolo de la expresión (6)

$$n = \sqrt{\left(\frac{1-r}{1+r}\right)^2 \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} \quad (17)$$

Los resultados experimentales que hemos obtenido son los siguientes:

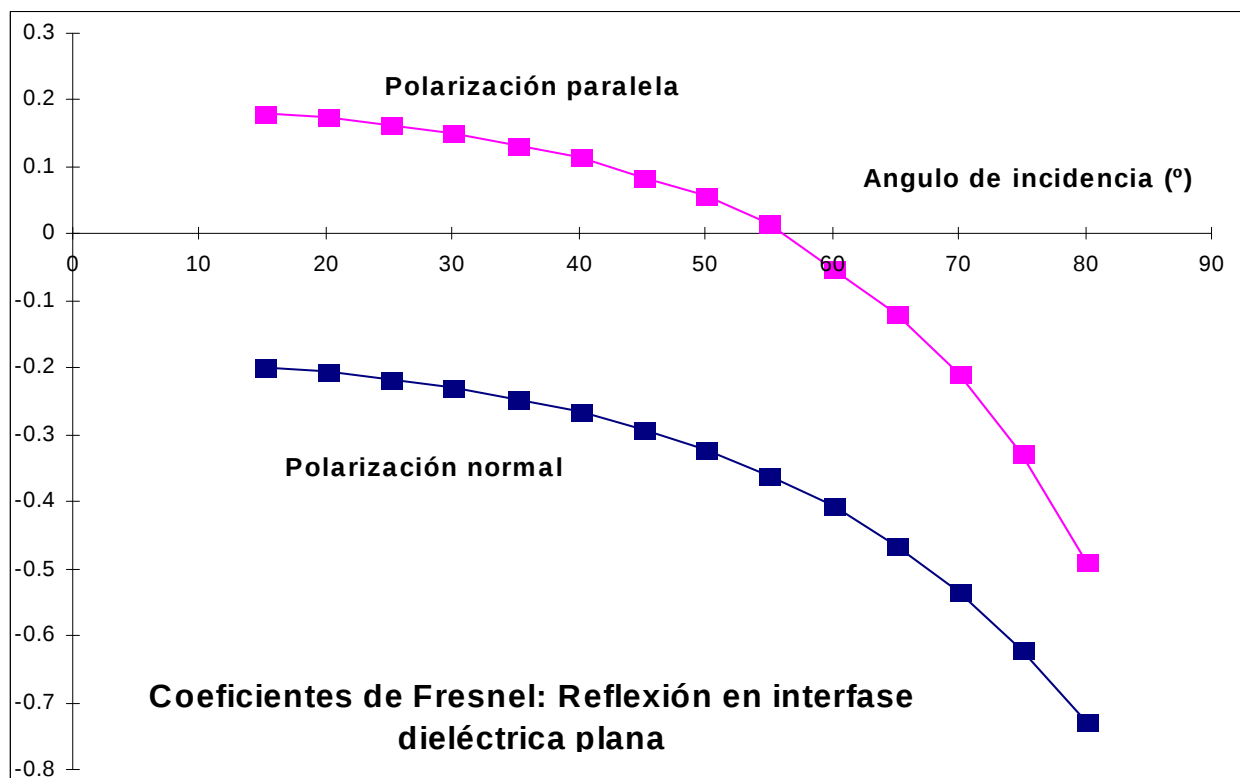
Angulo de incidencia (°)	r	n	Er(n) (%)
10.0 ± 0.5	-0.1939 ± 0.0016	1.469 ± 0.006	0.42
15.0 ± 0.5	-0.1997 ± 0.0016	1.471 ± 0.007	0.45
20.0 ± 0.5	-0.2065 ± 0.0016	1.469 ± 0.007	0.48
25.0 ± 0.5	-0.2173 ± 0.0016	1.472 ± 0.008	0.52
30.0 ± 0.5	-0.2296 ± 0.0015	1.470 ± 0.008	0.56
35.0 ± 0.5	-0.2461 ± 0.0015	1.470 ± 0.009	0.6
40.0 ± 0.5	-0.2649 ± 0.0015	1.467 ± 0.011	0.65
45.0 ± 0.5	-0.2905 ± 0.0015	1.468 ± 0.011	0.71
50.0 ± 0.5	-0.3212 ± 0.0015	1.467 ± 0.012	0.79
55.0 ± 0.5	-0.3596 ± 0.0015	1.468 ± 0.013	0.9
60.0 ± 0.5	-0.4063 ± 0.0015	1.467 ± 0.015	1.04
65.0 ± 0.5	-0.4648 ± 0.0016	1.469 ± 0.018	1.25
70.0 ± 0.5	-0.5337 ± 0.0017	1.466 ± 0.023	1.55
75.0 ± 0.5	-0.6218 ± 0.0018	1.47 ± 0.03	2.09
80.0 ± 0.5	-0.7269 ± 0.0020	1.47 ± 0.04	3.14

y el valor medio del índice de refracción es **$n = 1.469 \pm 0.017$** .

9.- Repetir todo el proceso anterior para polarización paralela girando el láser 90°. Para el caso de polarización paralela, también se puede obtener el valor del índice de refracción despejando de (5):

$$n = \sqrt{\frac{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1-r}{1+r}\right)^2 \sin^2 2\theta}}{2 \left(\frac{1-r}{1+r}\right)^2 \cos^2 \theta}} \quad (18)$$

La representación gráfica de los resultados experimentales, para los dos casos de polarización, se presenta en la siguiente gráfica



2.- Medida de las reflexiones y transmisiones múltiples por una lámina de caras plano-paralelas

Aunque esta parte de la práctica se puede realizar al mismo tiempo que la anterior preferimos hacerla independiente para no mezclar las expresiones teóricas que se van a comprobar experimentalmente. Seguir los siguientes pasos:

- 1.- Girar el láser para conseguir campo eléctrico vertical (polarización normal).
- 2.- Comprobar de nuevo que se tiene incidencia normal sobre la lámina ella cuando el ángulo de incidencia sea 0°.
- 3.- Girar el disco para un ángulo de incidencia tal que aparezcan tres o más rayos reflejados y/o transmitidos. Situar el detector luminoso para recoger uno a uno bien los rayos reflejados, bien los transmitidos, anotando seguidamente la lectura del polímetro.
- 4.- Dividiendo estas lecturas entre sí (excepto las dos primeras reflejadas) se obtiene una progresión geométrica cuya razón será el coeficiente de Fresnel a la cuarta potencia (recordar que las lecturas del polímetro son proporcionales al cuadrado de la amplitud de la onda).
- 5.- Repetir el proceso experimental para polarización paralela.

Los resultados numéricos obtenidos, para el caso de polarización normal, se presentan en la siguientes tablas. En la tabla I se presenta la intensidad medida por el polímetro para los primeros rayos reflejados y transmitidos. En la tabla II se presenta el cociente entre estas intensidades para observar la progresión geométrica que forman.

TABLA I

Angulo de incidencia (°)	IR ₁ (μA)	IR ₂ (μA)	IR ₃ (μA)	IT ₁ (μA)	IT ₂ (μA)	IT ₃ (μA)
60.0 ± 0.5	397 ± 1	272 ± 1	7.7 ± 0.1	1551 ± 1	43.9 ± 0.1	1.3 ± 0.1
70.0 ± 0.5	681 ± 1	336 ± 1	27 ± 1	1140 ± 1	92 ± 1	7.6 ± 0.1

TABLA II

Angulo de incidencia (°)	IR ₂ /IR ₁	IR ₃ /IR ₂	IT ₂ /IT ₁	IT ₃ /IT ₂
60.0 ± 0.5	0.685 ± 0.004	0.0282 ± 0.0002	0.0284 ± 0.0003	0.029 ± 0.002
70.0 ± 0.5	0.4934 ± 0.002	0.0803 ± 0.0005	0.0807 ± 0.0007	0.082 ± 0.002

Medida del coeficiente de absorción de una lámina de material absorbente y caras plano-paralelas

1.- Sustituir la lámina de Borofloat, por una lámina de vidrio verde y repetir el proceso para conseguir incidencia normal sobre la lámina (punto 2 de la puesta a punto de los elementos de la práctica).

2.- Girar el disco para un ángulo de incidencia tal que aparezcan tres o más rayos reflejados y/o transmitidos. Situar el detector luminoso para recoger el primer rayo reflejado y los dos primeros rayos transmitidos, anotando seguidamente la lectura del polímetro.

3.- Quitar la lámina y medir la intensidad del láser directamente, esto es, la intensidad del láser incidente sobre la lámina.

4.- El coeficiente de absorción se obtiene despejando de (12)

$$\alpha = -\frac{1}{2d} \ln \left(\frac{IT_2}{IT_1} \left(\frac{I_0}{IR_1} \right)^2 \right) \quad (19)$$

donde **d** viene dada por (13). Los resultados experimentales obtenidos son:

Angulo de incidencia ($^{\circ}$)	I_0 (μA)	I_{R1} (μA)	I_{T1} (μA)	I_{T2} (μA)	α (mm^{-1})
60.0 ± 0.5	2370 ± 1	429 ± 1	1338 ± 1	22 ± 1	$1.32 \pm 0.02 \times 10^{-2}$
70.0 ± 0.5	2370 ± 1	727 ± 1	965 ± 1	64 ± 1	$1.39 \pm 0.02 \times 10^{-2}$

3.- Reflexión total en la interfase vidrio-aire.

En esta parte de la práctica se estudiará la reflexión total de una onda plana sobre una interfase plana para ángulos de incidencia igual o mayores del ángulo límite. Primeramente se obtendrá el valor numérico del ángulo límite, y posteriormente se analizará el desfase que sufren las componentes normal y paralela después de reflejarse totalmente

A) Obtención del ángulo límite: Para ello seguir los siguientes pasos

1.- Colocar la lámina de vidrio con el inglete según se indica en la figura 4. Hay que desmontar los soportes de la lámina del disco giratorio y colocarlos adecuadamente para obtener el montaje indicado en la figura 4. La lámina de vidrio debe centrarse en el diámetro 90° - 90° .

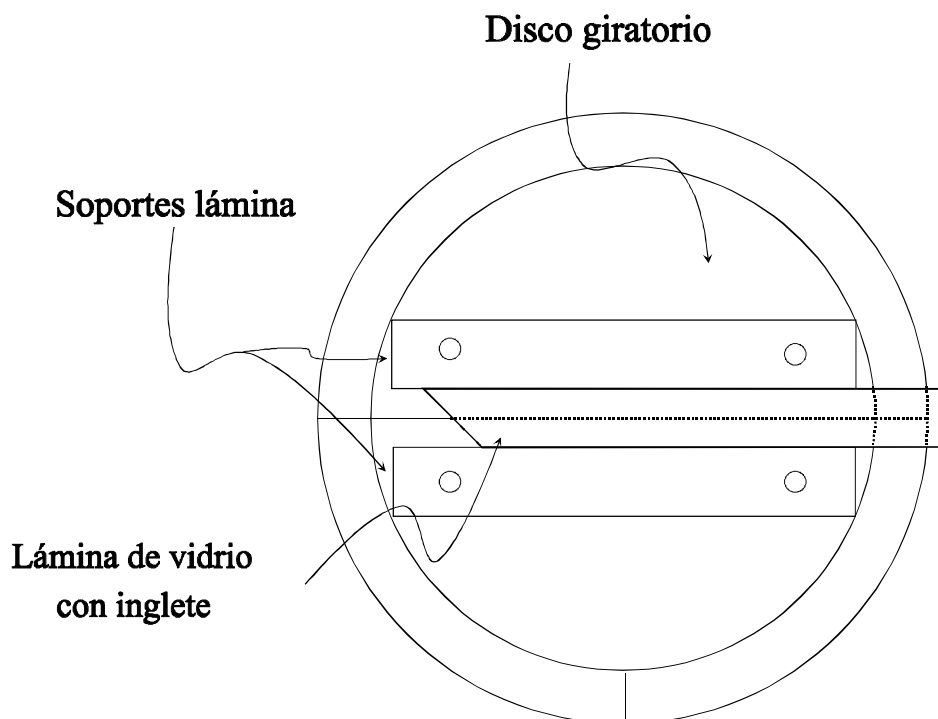


Figura 4

2.- Hacer que el láser incida sobre el inglete y obtener incidencia normal sobre él (haciendo que el rayo reflejado se propague por la misma dirección que el rayo incidente, esto es, haciendo que el punto luminoso reflejado incida sobre el propio generador láser).

3.- En esta situación, el láser penetra en la lámina de vidrio e incide con un ángulo de 45° sobre la cara posterior. Este ángulo es mayor que el ángulo límite, y se observará que el láser está confinado en la lámina y se refleja totalmente en las dos caras de la lámina.

4.- Para obtener un ángulo de incidencia igual al ángulo límite, girar el disco poco a poco en el sentido de las agujas del reloj, hasta observar que aparecen puntos luminosos fuera de la lámina, en cuyo caso se ha pasado de reflexión total a reflexión parcial.

5.- Girar lentamente en sentido contrario hasta conseguir de nuevo la reflexión total, esto es, hasta que vuelvan a desaparecer los puntos luminoso que salían de la lámina. Cuando se tenga la situación justa en que aparecen y desaparecen los puntos luminosos, se ha conseguido el ángulo límite en la cara posterior de la lámina. En este caso el ángulo de incidencia sobre el inglete está relacionado con el ángulo límite mediante la relación trigonométrica (figura 5):

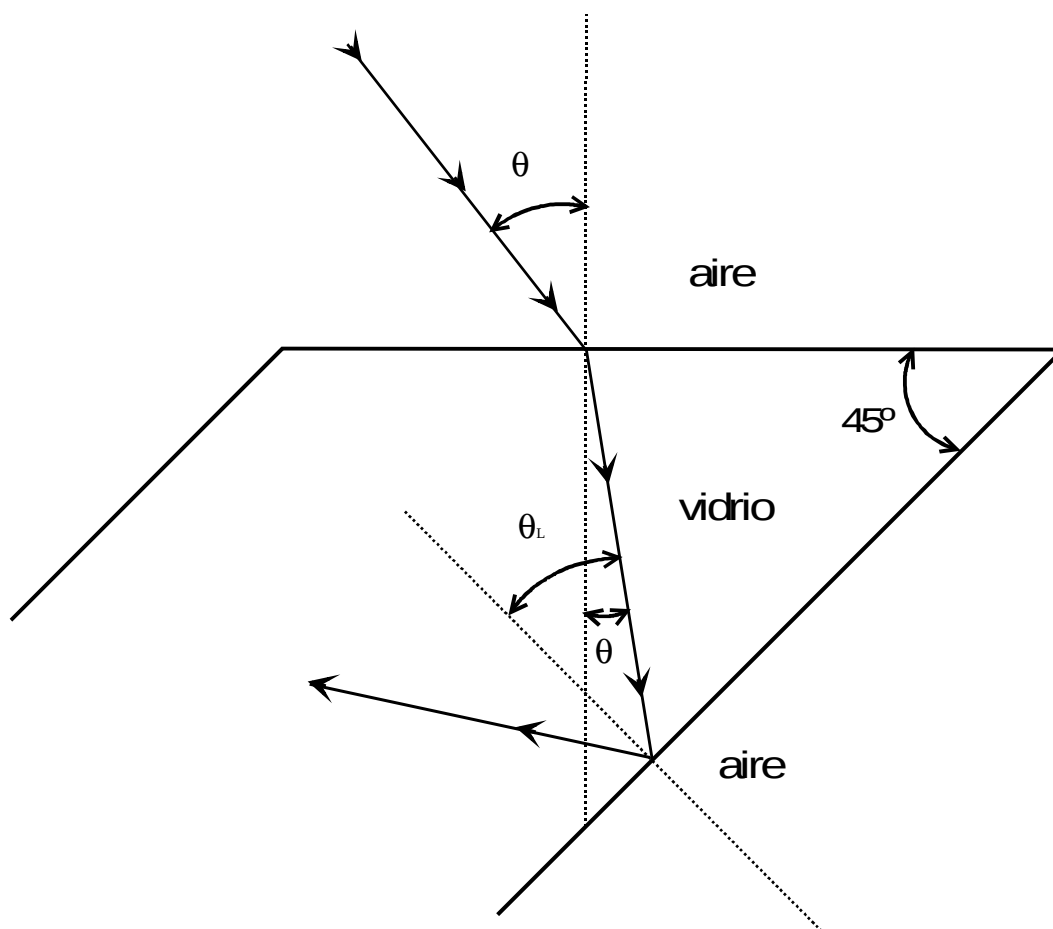


Figura 5

$$\theta_L = 45^\circ - \arcsen\left(\frac{\sin \theta}{n}\right) \quad (20)$$

donde θ_L es el ángulo límite, θ es el ángulo de incidencia sobre el inglete y n es el índice de refracción del vidrio respecto del aire. Sabiendo que $\sin \theta_L = \frac{1}{n}$, se puede obtener una expresión para el índice de refracción en función del ángulo de incidencia θ :

$$n = \sqrt{1 + \frac{(\sqrt{2} + 2 \sin \theta)^2}{2}} \quad (21)$$

Para el caso del vidrio de color verde empleado en la presente experiencia, el resultado experimental obtenido es $\theta = 6^\circ \pm 0.5^\circ$. Sustituyendo este valor numérico en (21) se obtiene un índice de refracción $n = 1.53 \pm 0.01$

B) Desfase entre las componentes normal y paralela

A continuación se estudiará el desfase que produce la reflexión total sobre las componentes normal y paralela al plano de incidencia, con lo cual se puede obtener una onda plana con polarización elíptica en general. Para ello seguir los siguientes pasos:

1.- Girar el láser 45° para tener polarización lineal oblicua. En esta situación las amplitudes del campo eléctrico normal y paralela al plano de incidencia son idénticas

2.- Girar la lámina de vidrio hasta obtener incidencia normal sobre el inglete, con lo cual se tendrá un ángulo de incidencia de 45° (mayor que el ángulo límite) sobre la cara posterior. Se observarán numerosos puntos luminosos en las dos caras de la lámina.

3.- Colocar el prisma de vidrio pegado a cualquiera de las dos caras de la lámina de vidrio y enfrente de un punto luminoso cualquiera. Con la botella de agua destilada dejar caer una gota de agua entre el prisma el vidrio y la lámina. Cuando el agua se deslice entre las superficies del prisma y del vidrio, se romperá la condición de reflexión total y el láser saldrá de la lámina atravesando el prisma. Si antes de salir el láser de la lámina, éste ha sufrido alguna reflexión total, las componentes vertical y horizontal del campo eléctrico del láser estarán desfasadas entre sí y se tendrá un láser con polarización elíptica en general.

4.- Para analizar la polarización del láser, situar el detector en la trayectoria del láser e intercalar un polarizador entre el prisma y el detector luminoso (el polarizador dispone de un brazo para poder girarlo que coincide con la dirección de polarización del campo eléctrico).

Girando el polarizador se observará que la intensidad eléctrica cambia de valor. Los ejes de la elipse se obtendrán girando el polarizador hasta obtener una lectura mínima del polímetro y una lectura máxima. La diferencia entre ambas posiciones debe ser de 90° .

5.- A partir de estas medidas se puede obtener el desfase relativo entre las componentes normal y paralela del campo eléctrico aplicando la expresión:

$$\phi = 2\arctan \frac{A_1}{A_2} \quad (22)$$

donde A_1 es el semieje de la elipse perpendicular a la recta de polarización del láser incidente sobre la lámina de vidrio, y A_2 es el semieje de la elipse paralelo a la recta de polarización del láser incidente (figura 6)

. Estos semiejes son proporcionales a las raíces cuadradas de las intensidades eléctricas medidas por el polímetro (la lectura mínima y máxima respectivamente del punto anterior)

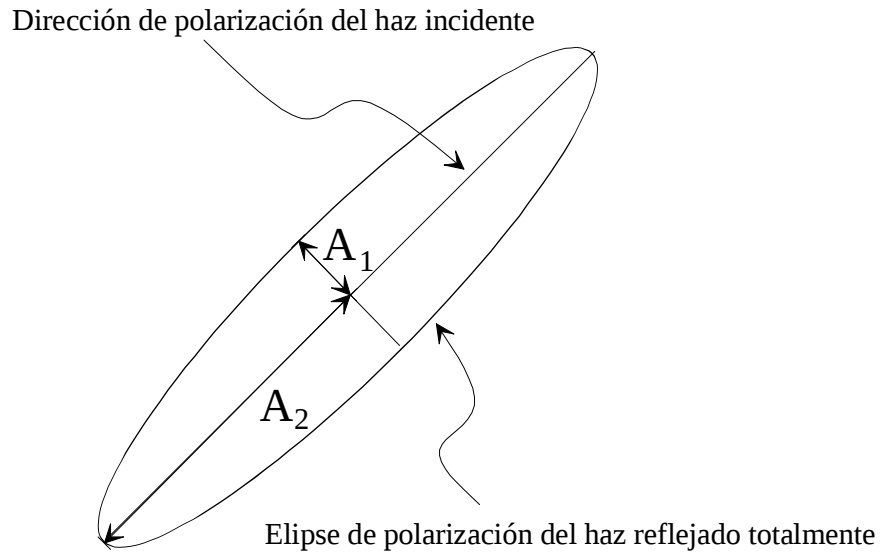


Figura 6

EL resultado experimental obtenido por nosotros para una única reflexión total ha sido $\phi = (42.1 \pm 0.2)^\circ$.

Tomando como índice de refracción para la lámina de vidrio el valor obtenido antes $n = 1.53 \pm 0.01$, se tendría como desfase entre las componentes normal y paralela del campo eléctrico $\phi = (41.7 \pm 0.1)^\circ$.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- “Electromagnetic Theory”, J.A. Stratton, McGraw-Hill Book Company, 1941, New York y London, pp. 490-510.
- 2.- “Campos y ondas electromagnéticas”, P. Lorrain y D.R. Corson, Selecciones Científicas, Madrid, 1972.
- 3.- “Estudio de la reflexión y transmisión de un haz electromagnético por interfases y láminas dieléctricas por el método del espectro angular de ondas planas”, J. Navasquillo Hervás, Tesis Doctoral, 29 Abril 1987, pp. 38-70.