

Laboratorio Microondas

Daniel Fajardo and Juan Sebastian Vargas
Universidad de los Andes, Departamento de física
(Dated: 18 de febrero de 2016)

La radiación electromagnética, que esta compuesta por ondas electromagnéticas, fue descubierta en los inicios del siglo 19. Las Microondas son ampliamente utilizadas en telecomunicaciones, radares y muchos usos mas. En este experimento se utilizo un emisor de microondas con $\lambda = 2,85cm$ con el cual se observaron varios fenómenos de las ondas E.M.

Palabras clave: Radiación Electromagnética, Microondas, Campos Eléctrico, Campo Magnetico, Polarización

INTRODUCCIÓN

En este experimento se trabajarán con ondas electromagnéticas y toda la teoria detrás de los experimentos realizados se refiere a la teoría electromagnética clásica una de las más exitosas y consistentes. Gracias a esta teoría se pueden predecir cosas como la ley del plano de incidencia, la ley de reflexión, y la ley de refracción. Otros fenómenos tambien son consecuencia de esta teoría, como la existencia del ángulo de Brewster, la reflexión interna total, entre otros. Si se aplican las ecuaciones del electromagnetismo en la materia, sobre una interfaz de dos medios distintos, se encontrará que las condiciones de frontera para el campo eléctrico E y el campo magnético B , con respecto a la superficie de la interfaz estarán dadas por: [1]

$$\begin{aligned}E_1^{\parallel} &= E_2^{\parallel} \\ \epsilon_1 E_1^{\perp} &= \epsilon_2 E_2^{\perp} \\ \frac{1}{\mu_1} B_1^{\parallel} &= \frac{1}{\mu_2} B_2^{\parallel} \\ B_1^{\perp} &= B_2^{\perp}\end{aligned}$$

De lo cual se deduce:

$$\theta_i = \theta_2$$

Donde son los angulos incidentes y reflejados respectivamente

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (1)$$

Donde son los ángulos de incidencia y refracción respectivamente. Cabe resaltar que existe un ángulo critico cuando sucede una refracción de un medio con mayor indice de refracción a uno de menor indice de refracción esto es descrito por la siguiente ecuación:

$$\sin \theta_{I_{crit}} = \frac{n_2}{n_1} \sin \frac{\pi}{2} < 1 \quad (2)$$

Ahora la polarización está descrita por la ley de Malus que predice que: si se tiene luz polarizada

incidente a un polarizador con un desfase en la dirección de polarización dado por θ_1 respecto a la luz incidente, teniendo en cuenta que solo puede pasar la componente de campo eléctrico paralela al polarizador, la intensidad de la luz recibida estará dada por:

$$I = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^{\parallel 2} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 \cos^2 \theta_1 \propto \cos^2 \theta_1 \quad (3)$$

Si se pone otro polarizador en medio de estos dos, con desfase θ_2 con respecto a la luz incidente, la intensidad estará dada al aplicar 3 dos veces, teniendo en cuenta que el desfase entre los dos polarizadores es $\theta_1 - \theta_2$:

$$I = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 \cos^2 \theta_2 \cos^2 (\theta_1 - \theta_2) \propto \cos^2 \theta_1 \cos^2 (\theta_1 - \theta_2) \quad (4)$$

Nótese que si la luz incidente es perpendicular al polarizador, si solo tenemos en cuenta un polarizador, $\theta_1 = \frac{\pi}{2}$ entonces la onda transmitida tendrá intensidad nula. sin embargo, si ponemos otro polarizador en medio, tendremos de forma general $\theta_1 - \theta_2 \neq \frac{\pi}{2}$ por lo que la onda transmitida no necesariamente tendrá intensidad nula.

Otros experimentos que se trabajaron fueron los de interferencia, la teoria se basa en la diferencia de caminos ópticos que sigue la luz y se encuentra que este es un máximo cuando es multiplo de la longitud de onda esto se refleja en las siguientes ecuaciones:

Este para el de doble rendija:

$$d \sin \theta = n \lambda \quad (5)$$

Y este para la diferencia de camino en un interferometro en donde se encontraría un máximo:

$$d = n \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

MONTAJE EXPERIMENTAL

El primer montaje consiste colocar el emisor frente al receptor, y variar la distancia entre los dos como se

muestra en la figura 1:

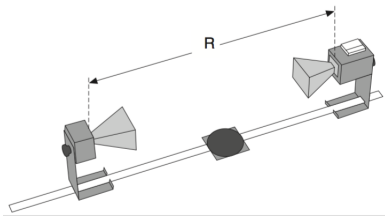


Figura 1. Primer montaje

Donde se varía la distancia R y se anota su respectivo valor de intensidad dado por el receptor. Se hizo la medición para 7 diferentes valores de R con valores entre 40cm hasta 100cm .

El segundo montaje consiste colocar el emisor y el receptor en el goniómetro, y variar el ángulo y medir como cambia la lectura del receptor a medida que cambiamos el ángulo entre los dos como se muestra en la figura 2:

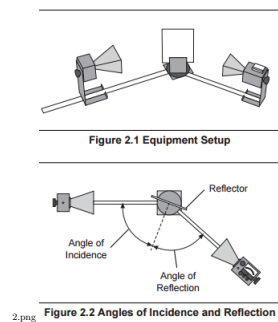


Figura 2. Segundo montaje

Para el tercer montaje tenemos una configuración similar a la Figura 1 pero esta vez mediremos la longitud de la onda que genera el emisor. Se pondrá el Emisor y receptor a una distancia tal que este en un máximo de intensidad, se anota la distancia entre los equipos, luego se alejan mientras se cuentan al menos 10 mínimos, y se coloca en el siguiente máximo volviendo a medir la distancia entre los equipos. Con estos datos es posible medir la longitud de onda.

Para el cuarto montaje se dispondrá de un montaje similar al de la Figura 1, sólo que esta vez se interpondrá un objeto que para los objetivos de este experimento hará las veces de prisma y mostrará la ley de Snell. Lo que se hará será variar el ángulo y encontrar el máximo. El montaje es como se muestra en la figura 2:

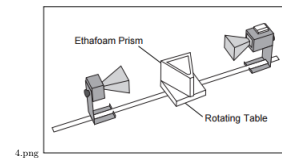


Figura 3. Cuarto montaje

Para el quinto montaje se volvió a utilizar el de la Figura 1 dejando un R constante, se rotó el receptor cada 10° empezando en su posición natural (0°) hasta 180° .

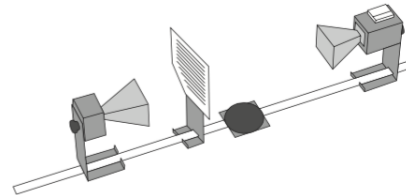


Figura 4. Variación quinto montaje

Para la segunda parte de este quinto experimento se colocó un material reflector con rendijas en la mitad del emisor y receptor tal y como se muestra en la Figura 4. Se rotó el emisor y se anotó la intensidad mostrada por el receptor.

Para el sexto montaje se hará interferencia con doble rendija y se medirá la intensidad para distintos ángulos y con ello hallar la longitud de onda como se muestra en la figura:

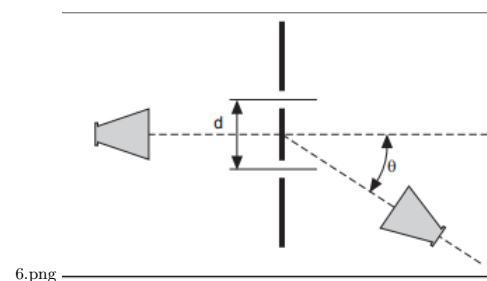


Figura 5. Variación sexto montaje

Para este séptimo montaje se pusieron el emisor y receptor de frente, en la mitad se colocó un reflector, como se muestra en la Figura 4, moviendo el reflector se buscó un mínimo y en este punto se miden la distancia entre emisor y receptor, y la distancia a la que se encuentra el reflector, luego se aleja el reflector hasta encontrar nuevamente un mínimo, se vuelven a tomar

los datos. Con estos datos es posible calcular la longitud de onda λ así:

$$\lambda = |L_1 - L_2|$$

$$L_n = 2\sqrt{d^2 + h_n^2}$$

Donde L_n es la longitud del camino que recorre la onda reflejada, d es la mitad de la separación que hay entre emisor-receptor y h_n es la distancia a la que se encuentra el reflector para ese camino.

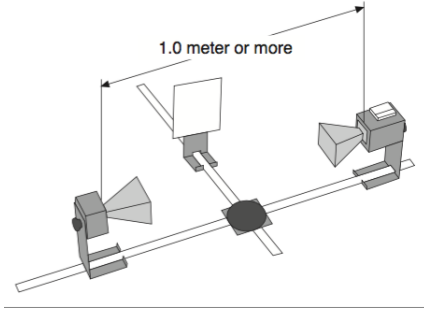


Figura 6. Séptimo montaje

En este experimento se hará un interferómetro de Fabry-Perot que consiste en un montaje similar al de la figura 1 sólo que se interpondrán dos reflectores parciales en el camino, se medirá mínimos y máximos al variar la distancia entre los reflectores parciales.

En este noveno montaje se intentará recrear el interferómetro de Michelson, el montaje consta de dos reflectores A y B, además de un reflector parcial C, tal y como se muestra en la Figura 7. Se moverá el reflector A y de esta manera generar cambios en las lecturas, estos máximos y mínimos son la evidencia de que las ondas desviadas están en fase con las que no se desviaron y así lograr volver a medir la longitud de onda λ .

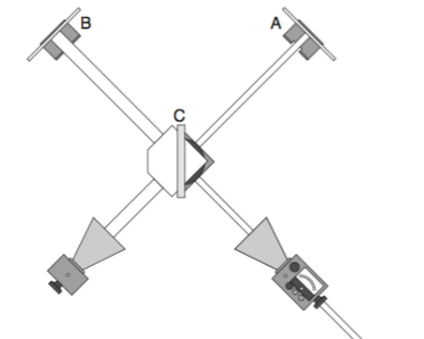


Figura 7. Noveno montaje

En el décimo montaje se hará una fibra óptica con una bolsa tubular llena de bolitas de estireno que funcionaran como el medio con índice de refracción mayor y permitirán la reflexión total interna que caracteriza la fibra óptica.

En este montaje se buscara encontrar evidencia del ángulo de Brewster para el montaje será como en la Figura 8. Se pondrá el panel de polietileno de tal manera que el ángulo de incidencia de las microondas sea 20° , y luego tomar las lecturas de la intensidad para 12 diferentes ángulos.

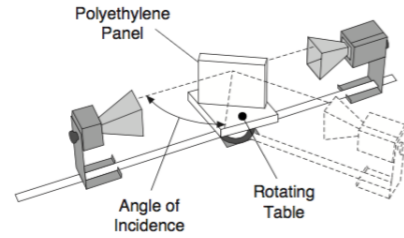


Figura 8. Montaje 11

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la Tabla I podemos ver la relación entre la distancia R y la intensidad relativa medida por el receptor:

$R \pm 0.1(\text{cm})$	Medicion $\pm 0.02 (\text{mA})$
40	>1
50	0.86
60	0.65
70	0.50
80	0.36
90	0.2
100	0.14

Cuadro I. Tabla que muestra la medicion con su respectivo valor de R

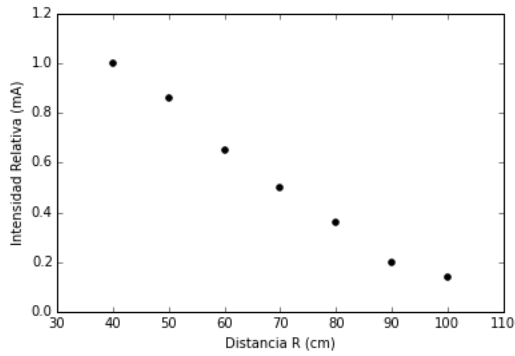


Figura 9. Grafico de la intensidad contra distancia

En la Figura 9 vemos una grafica de los puntos de la Tabla I y a simple vista se puede ver que la intensidad medida es inversamente proporcional a la distancia, resultado que no nos sorprende ya que la intensidad disminuye con la distancia.

En la Tabla II podemos ver la relación entre el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión es decir donde la medida es máxima y donde la teoria predice que es la misma:

Ángulo Incidencia $\pm 1(^{\circ})$	Á Reflexión $\pm 1(^{\circ})$
20	16
30	26
40	44
50	55
60	62
70	62
80	72
90	68

Cuadro II. Tabla que muestra la medicion con su respectivo valor de R

Los datos reflejan lo que la teoría predice con un error en promedio del 14 por ciento. Lo cual es suficiente cercano para rectificar la teoría de la reflexión.

Con el tercer montaje buscábamos medir la longitud de onda λ , nuestra distancia inicial fue $44 \pm 0,1\text{cm}$ y luego de contar 10 mínimos se encontró el siguiente máximo a $58,5 \pm 0,1\text{cm}$. lo que nos deja la distancia recorrida como $\Delta R = 14,5 \pm 0,1\text{cm}$. Para calcular λ utilizamos:

$$\Delta R = \frac{n\lambda}{2} \quad (7)$$

Donde n es el numero de minimos atravesados. Obtuvimos el resultado:

$$\lambda = 2,9 \pm 0,02\text{cm}$$

Este resultado es muy cercano a el valor teórico que es de $2,85\text{cm}$.

En este experimento la idea es comprobar la ley de snell que es la siguiente:

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (8)$$

En este caso el angulo

$$\theta_1 = 90 \pm 1^{\circ} \quad (9)$$

por lo que el seno vale uno y la ecuación se reduce a la siguiente:

$$n_1 = n_2 \sin(\theta_2) \quad (10)$$

En este caso

$$\theta_2 = 78 \pm 1^{\circ} \quad (11)$$

entonces si reemplazamos obtendriamos que el indice de refracción del estireno sabiendo que el de aire es 1 sería

$$n_2 = 1,90 \pm 0,02 \quad (12)$$

Si comparamos con los datos reales obtendriamos un error aproximado del 20 por ciento pues el valor real es 1.5.

Cuando dejamos R constante y rotamos el receptor en el quinto montaje obtenemos la siguiente tabla:

Angulo Recibidor $\pm 1(^{\circ})$	Medicion ± 0.02 (mA)
0	1
10	1
20	0.95
30	0.84
40	0.70
50	0.52
60	0.28
70	0.07
80	0
90	0
100	0
110	0
120	0.04
130	0.37
140	0.58
150	0.77
160	0.92
170	1
180	>1

Cuadro III. Tabla de la variacion de la Intensidad en función del angulo

Graficando los puntos de la Tabla III:

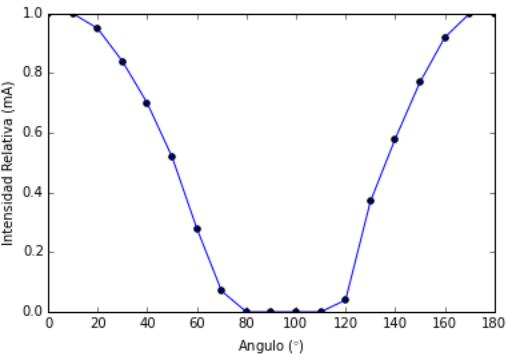


Figura 10. Grafico de Intensidad contra Angulo de rotacion

En la Figura 10 obtenemos un resultado esperado, ya que el emisor genera ondas que tienen polarización lineal, cuando el vector \vec{n} se encuentra en la misma dirección que el diodo detector ($\theta = 0^\circ$) la intensidad será máxima, ya que las polarizaciones coinciden, cuando este ángulo va cambiando la intensidad disminuye, hasta el punto en el que la Intensidad es mínima cuando \vec{n} es perpendicular a el diodo detector ($\theta = 90^\circ$). Esto rectifica la ley de Malus que predice que la intensidad es proporcional al cuadrado del coseno que forman la polarización con la onda.

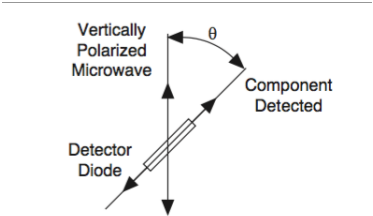


Figura 11. Dirección de la polarización y del diodo detector

Para la segunda parte de este quinto experimento se generó esta tabla:

Ángulo del emisor± 1(°)	Medicion ± 0.02 (mA)
0	0.90
22.5	0.13
45	0.01
67.5	0
90	0

Cuadro IV. Resultados segundo montaje

Como vemos el polarizador bloquea la onda cuando la polarización de esta es perpendicular a la dirección de las ranuras(90°) .

En este experimento se quiere comprobar la teoria de la interferencia de doble rendija sabiendo lo siguiente:

$$\lambda = 2,85\text{cm}$$

Hay máximos cuando:

$$d\sin(\theta) = n\lambda$$

La separación de las rendijas es:

$$d = 9,00 \pm 0,05\text{cm}$$

La comparación de los máximos medidos y los máximos que predicen la teoria difieren aproximadamente en un 10 por ciento.

Ángulo ± 1(°)	Medicion ± 0.02 (mA)
0	0.06
5	0.04
10	0.01
15	0.11
20	0.10
25	0.01
30	0.03
35	0.07
40	0.03
45	0.01
50	0.02
55	0.04
60	0.04
65	0.03
70	0.02
75	0.02
80	0.015
85	0.01

Cuadro V. Relacion ángulo y intensidad del sexto montaje

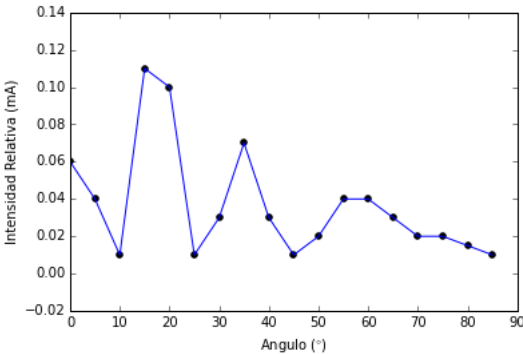


Figura 12. Grafica doble rendija, sexto montaje

Para el séptimo montaje se tomaron dos grupos de datos, para el primer intento se encontró que $h_1 = 13,0 \pm 0,1\text{cm}$, $h_2 = 18,4 \pm 0,1\text{cm}$ y $d = 52,4 \pm 0,1\text{cm}$. Para el segundo intento se obtuvo que $h_1 = 12,4 \pm 0,1\text{cm}$, $h_2 = 17,5 \pm 0,1\text{cm}$ y $d = 55,1 \pm 0,1\text{cm}$. Los valores obtenidos para λ son:

$$\lambda_1 = 3,1 \pm 0,5\text{cm}$$

$$\lambda_2 = 2,8 \pm 0,5\text{cm}$$

Podemos ver que el segundo intento fue mucho mas cercano al valor teórico, pero aun así el primer intento es un valor muy cercano también lo cual nos indica que este método es efectivo para medir la longitud de onda.

En el octavo experimento se comprueba la longitud de onda mediante la interferencia sabiendo que la ecuación que describe los minimos es

$$\Delta L = \frac{n\lambda}{2} \quad (13)$$

Se tomó un minimo y se midio la distancia de separación y luego se movio hasta que pasaron 10 máximos y se midio la distancia del nuevo minimo se hizo esto dos veces. $d_1 = 23,5 \pm 0,1\text{cm}$ y 10 minimos después $d_1 = 38,0 \pm 0,1\text{cm}$ lo que implica que $-\lambda = 2,80 \pm 0,01\text{cm}$ se repitió el proceso para $d_3 = 32,0 \pm 0,1\text{cm}$ y diez minimos después $d_4 = 46,4 \pm 0,1\text{cm}$ lo que da: $\lambda = 2,88 \pm 0,01\text{cm}$ lo que da en promedio:

$$\lambda = 2,84 \pm 0,01$$

Lo cual es extremadamente cercano a lo que dice la teoría con un error inferior al uno porciento.

En el noveno montaje se recogieron dos grupos de datos y de forma similar a la ecuación 13, donde:

$$\Delta L = |x_1 - x_2|$$

Con x_1 siendo la primera distancia medida, y x_2 la distancia a la que se encontró el siguiente máximo después de pasar 10 mínimos.

Grupo 1	Grupo2
$x_1 = 39,3 \pm 0,1\text{cm}$	$x_1 = 43,8 \pm 0,1\text{cm}$
$x_2 = 24,8 \pm 0,1\text{cm}$	$x_2 = 29,5 \pm 0,1\text{cm}$

Cuadro VI. Resultados del Interferometro de Michelson

Haciendo los cálculos con los datos de la tabla VI, se obtiene que los resultados son: $\lambda_1 = 2,89 \pm 0,02\text{cm}$ y $\lambda_2 = 2,85 \pm 0,02\text{cm}$, unos resultados bastante cercanos al valor teórico, lo cual evidencia el cuidado que se presto a los detalles en este experimento.

En el décimo experimento se uso una fibra óptica con bolas de estireno y se rectificó que con la fibra óptica

la lectura es mayor que sin nada entre el receptor y el emisor, también se comprobó que cuando la fibra óptica está recta se obtiene un máximo en la lectura y a medida que se dobla esta lectura disminuye.

Para el ultimo montaje se recolecto los datos presentados en la tabla VII:

Ángulo $\pm 1(^{\circ})$	M Horizontal ± 0.02 (mA)	M Vertical ± 0.02 (mA)
20	1	0.8
25	0.76	0.9
30	0.32	0.7
35	0.04	0.4
40	0.0	0.1
45	0.0	0.02
50	0.0	0.0
55	0.0	0.0
60	0.0	0.0
65	0.0	0.0
70	0.0	0.0
75	0.0	0.0
80	0.0	0.0
85	0.0	0.0

Cuadro VII. Tabla resultados ángulo Brewster

Y graficamos este grupo de puntos:

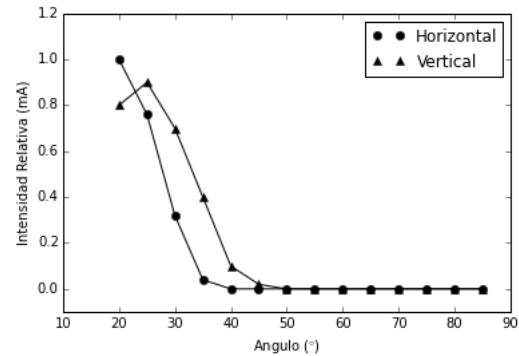


Figura 13. Ángulo Brewster

Como podemos ver en la grafica 13 no hay reflexión para ángulos mayores a 50 grados, sin importar la orientación que se eligió, y esto nos lleva a pensar que el material que usamos no era el adecuado, ya que al momento de realizar el experimento no se encontró el panel de polietileno. Si vemos esta grafica vemos claramente como la intensidad baja cuando nos alejamos de 0° , el cual es un comportamiento habitual si no tuviéramos ningún material entre el emisor y receptor.

CONCLUSIONES

Durante el experimento se comprobaron varios principios de la óptica como la intensidad que disminuye con la distancia de manera inversamente proporcional, también la ley de Malus que implica que la intensidad disminuye como el coseno cuadrado del ángulo de polarización. También se comprobó que el ángulo de reflexión es aproximadamente el mismo que el ángulo de incidencia. Se halló en varias ocasiones la longitud de

onda usada en el experimento con una exactitud hasta menor al uno por ciento. Por otro lado se verificó la teoría detrás de la interferencia por doble rendija.

- [1] David J. Griffiths, *Introduction to electrodynamics 4Ed.*
- [2] , *Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model WA-9314B1991.*