

Electromagnetismo IV: ondas electromagnéticas en el rango de microondas Versión 1.0

Samuel Corona Aquino^{1,2} y
Héctor Cruz Ramírez^{1*}
¹Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM
²Facultad de Ciencias, UNAM
*hector.cruz@ciencias.unam.mx

marzo 2018

Índice

1. Objetivos	1
2. Teoría	2
3. Experimento	3
3.1. Intensidad y polarización I	3
3.2. Reflexión	4
3.3. Ondas estacionarias	4
3.4. Refracción a través de un prisma	5
3.5. Polarización II	5
3.6. Doble rendija	6
3.7. Espejo de Lloyd	7
3.8. Fabry-Perot	7
3.9. Interferómetro Michelson	8
3.10. “Fibras ópticas”	9
3.11. Ángulo de Brewster	9
4. Pormenores de la práctica	9
5. Agradecimientos	9

1. Objetivos

El propósito de la práctica es realizar los 12 experimentos con ondas electromagnéticas en el régimen de microondas que se proponen. La realización de



cada experimento depende del material y tiempo de uso del laboratorio. Los objetivos de cada experimento se enuncian a continuación.

- 1.a Obtener el tipo de decaimiento que tiene la intensidad de la fuente en función de la distancia.
- 1.b Verificar experimentalmente que tanto el receptor como el emisor de microondas son sensibles a la polarización
- 2 Encontrar el ángulo al que se presenta el máximo de intensidad de la onda reflejada para distintos ángulos de incidencia.
- 3 Determinar la frecuencia de las microondas utilizadas mediante la medición de λ .
- 4 Calcular el índice de refracción del estireno.
- 5 Comprobar experimentalmente la ley de Malus.
- 6 Reconstruir el patrón de difracción creado por una doble rendija.
- 7 Medir λ en las microondas utilizadas, mediante un espejo de LLOYD
- 8 Medir λ en las microondas utilizadas, mediante un interferómetro Fabry-Perot.
- 9 Calcular la longitud de onda del emisor, al utilizar un interferómetro Michelson.
- 10 Que el alumno se familiarice con los conceptos básicos de las fibras ópticas y encuentre el ángulo de reflexión total interna en el estireno.
- 11 Determinar el ángulo de Brewster para un panel de polietileno.
- 12 Experimentalmente demostrar la Ley de Bragg.

2. Teoría

La región de microondas en el espectro electromagnético va desde unos 10^9 Hz hasta aproximadamente 3×10^{11} Hz; éstas frecuencias corresponden a un rango de longitudes de onda λ desde 30 cm hasta 1 mm [1, 2].

Esta región del espectro se utiliza para diversas aplicaciones tecnológicas, como radares, controles remotos, señales telefónicas u el muy conocido horno de microondas, pero además es útil para estudiar fenómenos presentes en todos los regímenes de las ondas electromagnéticas (óptica, rayos X, etc.) [1, 2, 3, 4]. Un punto importante es que dependiendo en el régimen en que se trabaje se debe elegir las *fuentes*, los *detectores* y los *materiales* adecuados donde la onda electromagnética interactúe [4].

Las microondas cuando interactúan con un medio se presenta el fenómeno de reflexión y la transmisión de la onda; además, transporta energía, momento lineal y momento angular. Y cómo toda onda esta durante propagación se presenta la difracción y la interferencia. Las microondas al ser una onda electromagnética transversal, puede ser *polarizada*. El ejemplo más sencillo de esto es una onda linealmente polarizada, es decir, aquella en que la dirección de oscilación del campo eléctrico se mantiene en un mismo plano todo el tiempo. Una forma de controlar y producir éste tipo de polarización es mediante polarizadores lineales; los más sencillos consisten de una serie de alambres conductores paralelos, de forma que al llegar la onda electromagnética, genere una corriente en los alambres, y al estar acelerados los electrones generen a su vez otra onda que anulará la componente que activó en un inicio la corriente, dejando que la otra componente del campo pase prácticamente sin alteraciones, esto es, el eje de transmisión de la rejilla es perpendicular a los alambres[1, 2, 3, 4].

3. Experimento

El equipo adecuado para microondas, con el que se trabajará durante ésta práctica, cuenta con un *transmisor* y un *receptor* de radiación, que se pueden montar sobre regletas fijas y rotatorias, además tiene aditamentos como placas reflectoras, semirreflectoras, polarizadores, prismas y otros elementos ópticos adecuados para las longitudes de onda con que se trabajarán.

NOTA: Cuando se hablan de distancias entre el receptor y el transmisor, se refieren siempre a la distancia entre el sensor y el diodo emisor que se encuentran a 5 cm hacia adentro del borde de la *campana*.

3.1. Intensidad y polarización I

En éste experimento se colocan el transmisor (T) y el receptor (R) uno frente al otro, colocados sobre las regletas rotatorias y a una distancia D , como se muestra en la Figura (1).

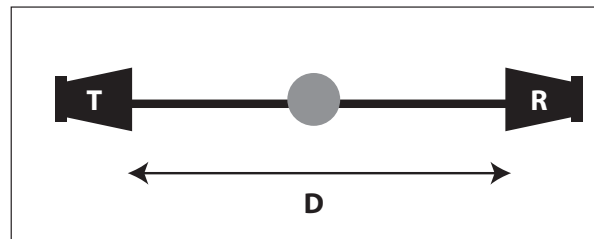


Figura 1: Arreglo experimental utilizado para encontrar la forma en que decae la intensidad con la distancia.

Tanto el receptor como el transmisor tienen la capacidad de rotar alrededor de un eje en la dirección de propagación de las ondas electromagnéticas (EM),

lo cual los hace sensibles a la polarización; en ésta sección se debe cuidar que el ángulo al que se encuentra ese grado de libertad sea el mismo en los dos dispositivos, es decir, que la polarización sea la misma.

Una vez que se fija la distancia D (al menos 40 cm), se deben ajustar los parámetros en R de tal forma que la medición sea 1.0, ahora se aleja el receptor una cantidad conocida, ΔD , y se registra la nueva medición. Se deben tomar datos en diferentes posiciones para tener datos suficientes y hacer un buen ajuste sobre el tipo de decaimiento de la intensidad.

Para la parte correspondiente a la polarización, teniendo el transmisor y el receptor a una distancia D , se debe aflojar el tornillo que sostiene al receptor en su base y rotar el dispositivo, de 10° en 10° hasta llegar a 180° y registrar la medición en cada caso. ¿Resulta lo mismo si se rota el transmisor mientras se deja fijo R?, ¿Por qué no es necesario tomar datos en una vuelta completa?

3.2. Reflexión

Para ésta sección se debe colocar el equipo como se muestra en la Figura (2), con T en el brazo fijo, cuidando que los dos tengan la misma polarización y la intensidad en R se ajusta a 30 cm. El ángulo formado entre la onda incidente y una normal al plano de la placa reflectora se llama ángulo de incidencia; se deben elegir 8 ángulos de incidencia distintos a lo largo de la práctica: desde 20° hasta 90° y para cada uno de ellos, se deberá rotar el receptor hasta que la lectura sea máxima, se registra la medición y el ángulo de reflexión.

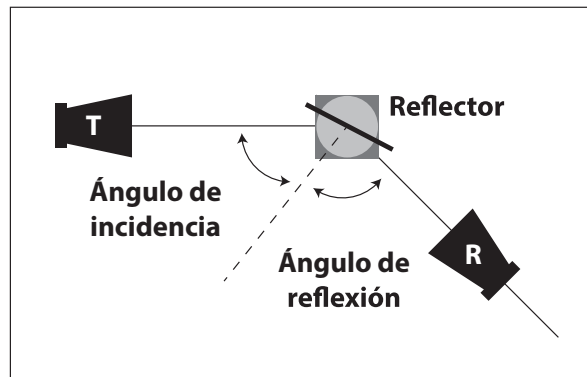


Figura 2: Arreglo experimental utilizado para encontrar el ángulo de reflexión.

3.3. Ondas estacionarias

Para medir la longitud de onda, se coloca el equipo como en la Figura (1), pero en esta ocasión, los aparatos deberán estar lo más cerca posible. Una vez que se tiene el arreglo, se aleja lentamente R.

Como el diseño del receptor no es perfecto, actúa como un reflector parcial, de tal forma que la radiación emitida por T se refleja entre ellos, y disminuye su amplitud a medida que se alejan uno de otro, sin embargo, si la distancia entre T y R es igual a $n\lambda/2$ donde n es un entero y λ la longitud de onda de la radiación usada, entonces todas las ondas que se reflejan llegarán en fase y el receptor marcará un máximo.

Se desliza el receptor uno o dos centímetros alejándolo del transmisor hasta que se encuentre un máximo, se registra esa posición y posteriormente, se aleja aún más el receptor pero sin dejar de ver la medición, no se debe detener hasta que pase por al menos 10 mínimos y se detiene en un máximo. También se registra la posición final.

Teniendo los datos de cuántos mínimos se pasaron y las dos posiciones se podrá calcular λ . Se debe repetir éste proceso al menos 3 veces más.

3.4. Refracción a través de un prisma

Primero se colocan R y T como en la Figura (1) pero con el prisma vacío entre ellos y se registra la medición para ver si éste la afecta.

Ahora, se llena el prisma con las bolitas de estireno y se alinea la cara del prisma más cercana al transmisor perpendicular a la onda incidente, como se muestra en la Figura (3). Se rota el receptor hasta que la señal es máxima, se registra la medición y el ángulo θ al que se encontró (θ es el ángulo medido directo de las regletas).

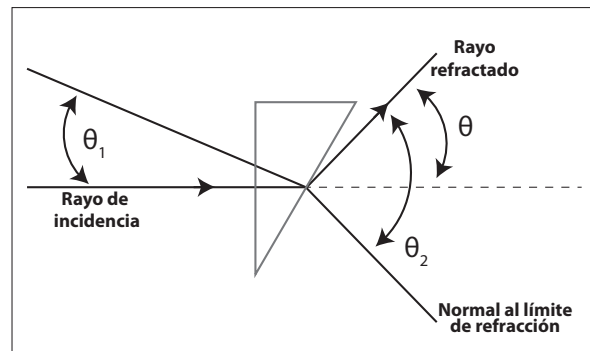


Figura 3: Diagrama experimental para medir el índice de refracción del estireno.

Usando el diagrama que se muestra en la Figura (3) se encuentra θ_1 y usando el valor de θ se puede determinar θ_2 (Se deben conocer los ángulos del prisma). Con los datos anteriores se puede determinar el índice de refracción buscado.

3.5. Polarización II

Se monta el equipo como se muestra en la Figura (4), con el receptor y el transmisor fijos en 0° . Registrar las intensidades en el receptor cuando el

polarizador se ajusta a 0° , 22.5° , 45° , 67.5° y 90° respecto a la horizontal.

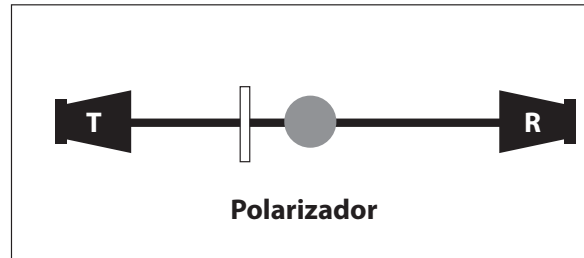


Figura 4: Montaje experimental para mediciones de ley de Malus.

Ahora se colocan perpendiculares las polarizaciones de R y T, es decir, mientras el transmisor está horizontal, el receptor se coloca vertical; se registra la medición y ahora se coloca el polarizador a 0° , 45° y 90° grados respecto a la horizontal y se toman mediciones.

3.6. Doble rendija

Coloca el receptor y transmisor de frente como en la Figura (1) pero entre ellos forma la doble rendija con los reflectores parciales como se exhibe en la Figura (5), se recomienda una rendija de aproximadamente 1.5 cm. Se debe cuidar que sea lo más simétrico posible el arreglo.

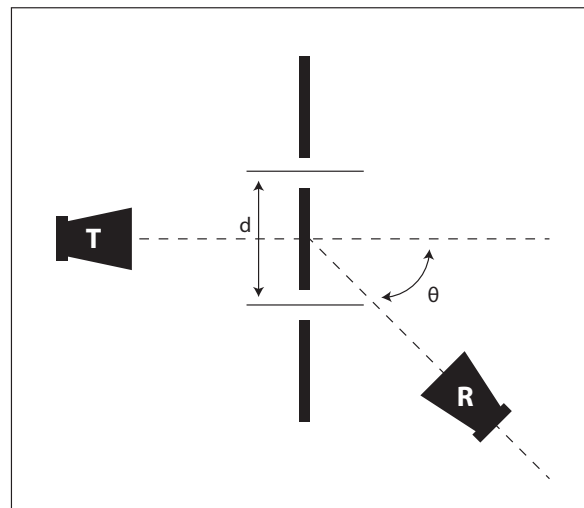


Figura 5: Diagrama para el montaje de la doble rendija en el rango de microondas.

Ahora se rota el receptor desde 0° hasta 85° de 5° en 5° y se registran las intensidades en cada ángulo. (Entre aquellos ángulos en que las mediciones cambien drásticamente, se recomienda hacer mediciones en ángulos intermedios).

Repita las mediciones haciendo más grande la distancia entre las rendijas pero manteniendo el ancho de ellas, utilizando una separación más grande.

3.7. Espejo de Lloyd

Se monta el receptor, el transmisor y una placa reflectora como se muestra en la Figura (6), se debe garantizar que R y T son equidistantes (d_1) del centro de la placa rotatoria y que el espejo de microondas es perpendicular a la línea que une a los dos primeros.

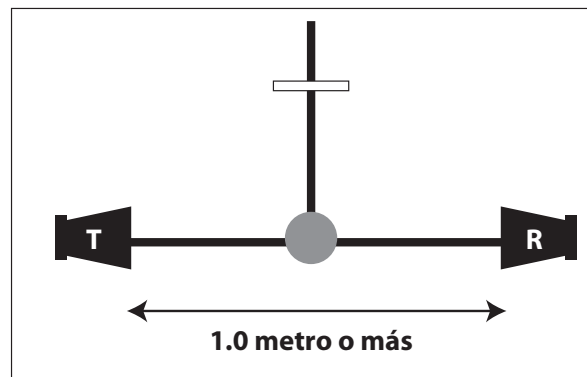


Figura 6: Diseño para hacer interferencia óptica con el espejo de Lloyd.

A medida que el reflector se aleja o se acerca al centro de la placa giratoria, se observa una serie de máximos y mínimos; se debe encontrar y registrar la distancia más cercana entre el reflector y el centro de la placa giratoria tal que se halle un mínimo.

Lentamente se aleja el reflector hasta que se encuentre un máximo y de nuevo un mínimo, esa nueva posición se registra y se mide la distancia d_1 , entre el centro de la placa giratoria y el receptor.

Con los datos obtenidos se puede calcular λ .

3.8. Fabry-Perot

Coloca dos reflectores parciales entre el receptor y el transmisor como se observa en la Figura (7), a medida que se ajusta la distancia entre los reflectores, se observan mínimos y máximos en el receptor. Se fija la distancia entre ellos (d_1) de tal forma que se registre un máximo y anota la distancia.

Ahora, lentamente se separa uno de los reflectores del otro sin dejar de ver una señal en el receptor, y detenerse en una nueva posición una vez que se haya pasado por al menos 10 mínimos y regresado a un máximo. Registra esa nueva

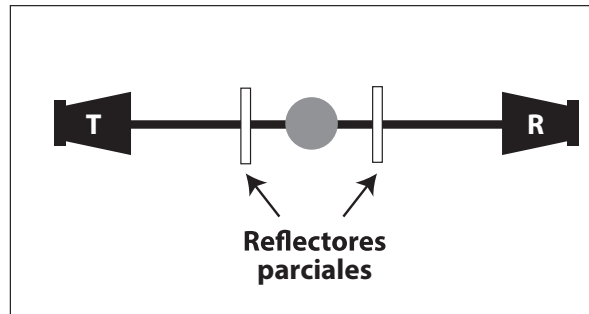


Figura 7: Montaje de los elementos para hacer interferencia con un Fabry-Perot.

distancia (d_2) entre R y T y el número de mínimos que encontraste entre d_2 y d_1 ; con esos datos se puede calcular λ .

3.9. Interferómetro Michelson

Coloca los reflectores (A y B) como se indica en la Figura (8), ahí, C, indica un reflector parcial. A medida que se mueve el reflector A se encuentran máximos y mínimos. Colocar en una posición en la que el receptor marque un máximo y registra esa distancia.

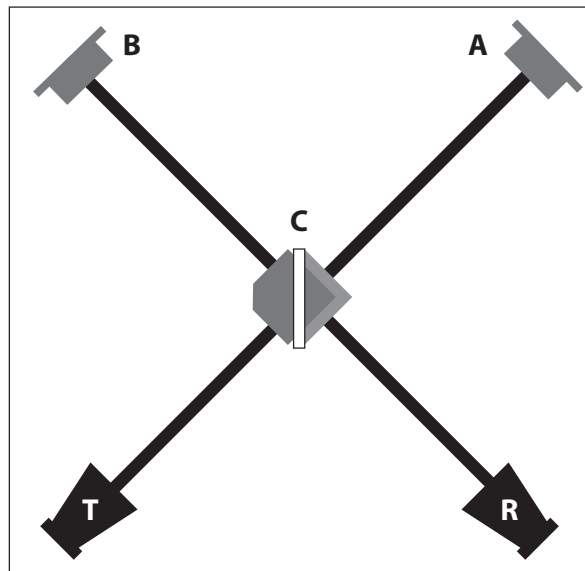


Figura 8: Arreglo experimental utilizado para mostrar interferencia en un arreglo Michelson.



Lentamente aleja el reflector A del reflector parcial y se coloca en una nueva posición una vez que se haya pasado por al menos 10 mínimos y regresado a un máximo. Registra esa nueva posición y el número de mínimos que hubo entre las dos distancias para calcular la longitud de onda.

3.10. “Fibras ópticas”

Ajusta el receptor y el emisor uno frente a otro como se muestra en la Figura (1) y registra una medición. Una vez hecho eso, llena una bolsa plástica tubular con bolitas de estireno y coloca una punta en el emisor ¿Qué sucede con la medición?

Ahora coloca el otro extremo en la punta del receptor, ¿Qué sucede ahora?

Posteriormente, retira la bolsa de ambos extremos y rota la regleta del receptor de hasta que la medición sea suficientemente débil pero pueda ser registrada, en esa posición coloca la bolsa entre los extremos, ¿Cómo afectó la aparición de la bolsa? Registra todas tus mediciones y explica qué pasa.

Cambia el radio de curvatura y encuentra el punto en que la intensidad cae drásticamente.

3.11. Ángulo de Brewster

El arreglo es como el mostrado en la Figura (2) pero en lugar de una placa reflectora se utiliza un bloque de Polietileno, de tal forma que el ángulo de incidencia sea de 20° .

El transmisor debe tener polarización horizontal (90°) y desde 20° hasta 75° se debe rotar el receptor sobre la regleta y tomar las mediciones correspondientes, tanto en polarización horizontal (90°) como vertical (0°).

Cambia el ángulo de incidencia y repite todo el proceso. Se gráfica la intensidad registrada contra el ángulo de incidencia, desplegando las dos polarizaciones en la misma gráfica y se encuentra el ángulo de Brewster, es decir, el ángulo en que se anula la reflexión horizontalmente polarizada.

4. Pormenores de la práctica

La práctica es tres sesiones de laboratorio.

5. Agradecimientos

Estas notas fueron realizadas con el apoyo del proyecto PAPIME PE107618 (version 1).



Referencias

- [1] R. A. Serway, "Física, incluye Física Moderna (Tomo II)," McGraw-Hill, Segunda Edición (1993).
- [2] Halliday-Resnick-Walker, "Fundamentals of Physics," John Wiley & Sons Inc., 2007.
- [3] J. D. Jackson, "Classical Electrodynamics," John Wiley & Sons, Inc; 3rd ed. (1998).
- [4] E Ayars, D Griffith, "Instruction manual and experiment guide for the Pasco Scientific Model WA-9314B," PASCO,