

ESTIMACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES UTILIZANDO ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA.

Calva G.^{1‡*}, Herrera A.¹, Prieto R.¹, Padrón A.¹ y Pacchiano M.^{2‡}.

¹ Grupo de Modelado y Simulación de Procesos. Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología. UNAM..

[‡] Circuito Exterior. Ciudad Universitaria. Apdo. postal 70-186, Coyoacán. 04510. Ciudad de México. México. Tel. (01-55) 56228602. Ext. 1303.

²Afiliación Universidad Anáhuac del Sur.

[‡]Av de las Torres 131, Torres de Potrero, 01780. Ciudad de México. México.

Recibido noviembre 2020; aceptado diciembre 2020

Abstract

This paper shows some results of tests that were made over granulated materials, among glass lens holder. The gage for the materials was 1mm and the electromagnetic energy was at a 3.1 cm of wavelength with a power less than 47 mW. Each test produces enough data to know some characteristics like transmittance; absorbance; SWR and reflexion coefficient of the material. According to the results, it is possible to analyze materials by the use of electromagnetic energy at a fix wavelength and power. This fact opens a possibility for the characterization of materials using nondestructive technique. Emphasis is made, that a specific wavelength was used for tests and any test make under different wavelength, will not give the same results.

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de aplicar dos tipos de pruebas sobre materiales granulados puestos entre dos portaobjetos: el espacio para el material es de 1mm de espesor y se utiliza energía electromagnética a 3.1 cm de longitud de onda con una potencia que no excede los 47mW. Cada prueba genera datos suficientes para obtener la transmitancia; absorbanza; SWR y coeficiente de reflexión del material bajo prueba. Se establece que es posible analizar materiales utilizando energía electromagnética a esta longitud de onda y potencia. Esto abre la posibilidad para una caracterización de materiales utilizando técnicas no destructivas como la aquí utilizada. Se hace énfasis en que se utiliza una longitud de onda en específico para las pruebas, por lo que, cualquier prueba que se haga sobre un material similar, a una longitud de onda diferente, no necesariamente dará los mismos valores.

Key words: Electromagnetism, physics, Materials, Microwaves

Palabras clave: Electromagnetismo, física, Materiales, Microondas.

I. INTRODUCCIÓN

Algunas de las características de interés en materiales son la reflexión, refracción, absorción y la dispersión. Cada material responde de cierta forma cuando es analizado, y esto dependerá del tipo de análisis que se le aplique. Cuando la intención es realizar un análisis de un material lo que se espera es no causarle daño, o que el daño sea mínimo, de preferencia temporal, mientras dure la prueba. Para cumplir con esas restricciones se propone utilizar tecnologías no destructivas. El principio de operación de estas tecnologías se basa en lanzar energía sobre el material del que se desea conocer sus características. Lo que se busca es que el método de análisis no altere las características físicas de la muestra durante el proceso, y por ello es que el método seleccionado debe utilizar una cierta cantidad de energía electromagnética, para ser arrojada (aplicada) sobre la muestra. En los experimentos que se realizaron, para el desarrollo de este trabajo se planteó utilizar un sistema que genera una señal con una longitud de onda de 3.1 cm y con una potencia aproximada de 47mW.

Cuando se aplica energía electromagnética sobre materiales se debe tener en consideración que esto puede presentar fenómenos de transmisión; reflexión; refracción; absorción; dispersión. Cada uno de ellos se puede llegar a presentar en lo individual o en conjunto, dando paso a una pérdida de energía electromagnética, energía aplicada inicialmente sobre el material.

*Autor para correspondencia: gerardo.calva@icat.unam.mx

Cuando en un experimento de laboratorio está involucrada la luz, se pueden hacer ciertas consideraciones que facilitan la comprensión de su comportamiento. Una consideración muy importante es, que al aplicar luz sobre una superficie, se puede considerar como una línea o rayo que se aplica; esto resulta muy conveniente aprovecharlo, cuando se está usando una onda electromagnética; utilizar geometría óptica simplifica de manera muy eficiente la aplicación de energía sobre un material.

Al considerar la teoría de un rayo, el cual se representa con una línea recta, facilita de manera importante el desarrollo teórico y la explicación de los experimentos de aplicación de energía electromagnética, ya que no se obliga a representar la energía aplicada, en términos de campo eléctrico (**E**) y campo magnético (**H**).

Si una onda electromagnética cae sobre una superficie definida como dieléctrica, y se define un punto de incidencia (aprovechando las teorías de un rayo) la energía que incide en el material de manera oblicua, podrá generar dos ondas. Una de ellas definida como onda refractada y otra como onda reflejada. Para ilustrar este fenómeno se representa con un dibujo en la siguiente figura. Figura (1).

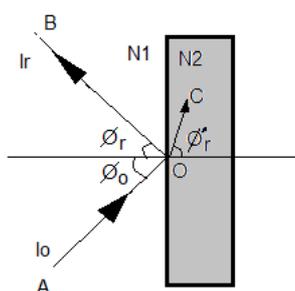


Figura 1. Dibujo que ilustra de manera sencilla la aplicación de energía electromagnética, teniendo como principio la teoría óptica de aplicación de un rayo.

Pero cuando la energía electromagnética se aplica de manera directa, sin un ángulo de inclinación se podrá considerar (mediante la teoría de rayo) que la energía se está aplicando sobre un eje imaginario, que atraviesa la muestra y que está perpendicular a ella. Para ilustrar se tiene el dibujo de la Figura (2).

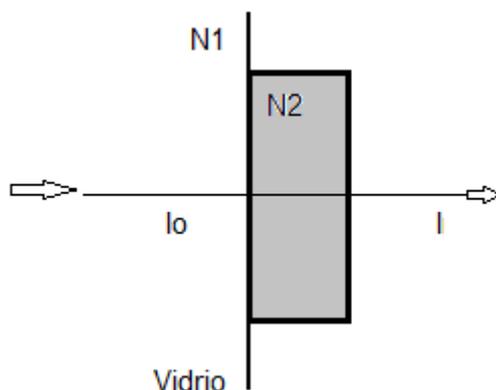


Figura 2. Dibujo que ilustra el concepto de aplicación de energía electromagnética, en línea recta.

La energía incidente siempre será mayor que la energía reflejada, la relación de energía incidente y energía reflejada se expresa por el coeficiente de reflexión el cual estará comprendido entre cero y uno.

Características de interés que se pueden obtener utilizando el proceso aquí presentado.

Transmitancia. (T)

Ley de Lambert Beer o ley de Bourguer

La transmitancia se expresa en función de la energía que se le aplica y de la energía que es detectada después de pasar por el material.

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

I_0 Energía aplicada
 I Energía detectada (salida)

Absorción. Absorbencia (Coeficiente de Extinción). (A).

Se expresa como: menos el logaritmo decimal de la transmitancia

$$A = -\log_{10}(T) \quad (2)$$

Esta relación empírica asocia la absorción con las propiedades del material por el cual se intenta atravesar el haz de energía electromagnética.

Relación de onda estacionaria. SWR.

El SWR es la relación de onda estacionaria, por sus siglas en inglés. La onda estacionaria se forma cuando la energía que se emite no avanza completamente en la dirección en la que es dirigida, parte de esa energía emitida es regresada sobre el eje de propagación (Connor, 1986). En algunos textos no se especifica de manera directa el significado de las siglas asignadas para la medición de la onda estacionaria, por ello aquí se define como:

$$VSWR = SWR = ISWR \quad (3)$$

Utilizando las equivalencias de la Ecuación (3), se evitarán confusiones (Steer, 2013).

Se define la relación de onda estacionaria como:

$$SWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} \quad (4)$$

V_{max} = Valor máximo

V_{min} = Valor mínimo

Coeficiente de reflexión. (Γ)

El coeficiente de reflexión es un número que representa un porcentaje de la energía que se aplicó pero que no llegó o no pasó, y que se regresa hacia la fuente que la emitió. Se supone que la energía regresa a través de la misma línea por donde inicialmente avanzó hacia su destino la carga de la línea, pero que por alguna razón no se pudo entregar esa energía a dicha carga. Esto por supuesto que representa un problema que se vuelve bastante grave, cuando se utilizan potencias elevadas de energía, porque puede llegar a destruir el emisor y es por ello por lo que se procura que en la línea, sea mínima la energía que se está reflejando hacia la fuente emisora. Este puede resultar en un problema sobre todo a estas longitudes de onda. Las causas por las que la energía se está regresando pueden ser variadas, sin embargo, se puede resumir en que las impedancias no están acopladas.

Por supuesto que por diseño en un enlace radioeléctrico, lo principal es que la energía avance y se entregue a la carga. Sin embargo, existen situaciones o experimentos como los realizados en este trabajo en los que se busca crear y medir la onda estacionaria que se está generando debido a que intencionalmente se ha dispuesto un material entre el emisor y el sensor receptor.

El coeficiente de reflexión para una línea de transmisión se puede obtener de diferentes maneras, dependiendo de qué información se obtenga, de que datos se disponga.

$$\Gamma = \frac{E_{reflejada}}{E_{aplicada}} = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} = \frac{SWR - 1}{SWR + 1} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (5)$$

Una aplicación importante en este tipo de pruebas surge, cuando se generan suficientes datos y después se van asociando sus valores, con las condiciones previamente obtenidas de la muestra. Se posibilita una correlación entre las condiciones de la muestra, y los resultados obtenidos por la aplicación de la energía

electromagnética. De esta manera al aplicar energía sobre una muestra similar y comparar los datos que tiene, se podrá suponer o estimar en qué condiciones se encuentra la muestra.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En todas y cada una de las pruebas que se hicieron, se optó por realizar únicamente mediciones en amplitud de la señal detectada; estas se especifican en unidades de Volts. En la figura siguiente Figura (3), se presenta un dibujo con la configuración general del equipo utilizado en las pruebas.

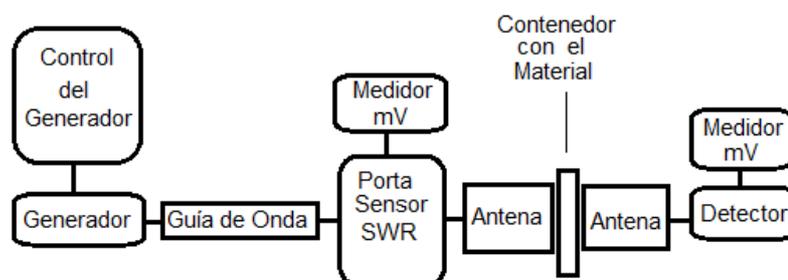


Figura 3. Dibujo que representa la configuración general utilizada en las pruebas en materiales.

Se puede utilizar el arreglo ejemplificado en la Figura (3), y desarrollar las pruebas (detección de los niveles de voltaje por tipo de prueba) o modificar la configuración para que sólo sirva a una de las pruebas, todo dependerá del orden en que se realicen las pruebas, y de las condiciones a las que se sujetaran dichas pruebas.

Las pruebas se realizan con el material depositado en un contenedor formado por placas de vidrio, se sitúa una porción de material entre las dos placas de vidrio rectangular (portaobjetos) que tienen las dimensiones de: 25.4 x 76.2 mm cada una. Las placas de vidrio tienen un espesor de $1 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$. El material utilizado en la prueba se aloja entre las dos piezas de vidrio permitiendo una capa de 1mm de espesor. Este espesor se conservó para todas las pruebas; para lograr el acomodo del material se fue llenando manualmente el compartimiento cuando la celda ya estaba armada. Por lo que cualquier objeto mayor a esas dimensiones sea propio o no del material, o lo que sea considerado como basura (u objeto extraño al material) fue desechado.

El contenedor con el material a prueba se sitúa frente al emisor de energía; el detector de energía está dispuesto a una distancia de no más de 10.5 cm en el lado opuesto al arreglo emisor contenedor. El arreglo es similar al que se presenta en el dibujo de la Figura (2).

El emisor de energía electromagnética es un oscilador acoplado, que emite con una longitud de onda de 3.1 cm, y proporciona una potencia máxima de 50 mW. Esta potencia que proporciona el generador se puede mantener y posteriormente de ser necesario, disminuirla sin alterar en si al mismo generador; esto se logra mediante el uso de un atenuador que se integra en la línea de viaje de la energía, este dispositivo logra disminuir la potencia, previo a que sea aplicada a la muestra, y sin causar un incremento de la energía reflejada. Algunos materiales pueden ser sensibles a la energía electromagnética, aun aplicándose en estas pequeñas cantidades. El resultado de aplicar excesiva energía a la muestra, puede resultar en variaciones de las características del material; lo que dejaría fuera de los métodos no destructivos de análisis a esta aplicación,

Existe una tendencia a utilizar señales electromagnéticas con una potencia máxima de 10 mW, potencia aplicada sobre la muestra; es posible que se proponga esta baja potencia debido a que actualmente se puede optar por los nuevos generadores de señales, que entregan esta potencia como máximo.

Método utilizado.

En estos experimentos se sigue el método de aplicar la energía electromagnética en línea recta, directa sobre la celda que contiene la muestra de material sin ángulo de incidencia, tratando de minimizar las pérdidas de la energía aplicada. Lo anterior se puede lograr en cierta medida debido a que por la longitud de onda de la señal aplicada en las pruebas, se utilizan guías de onda cuyas dimensiones permiten disponer la celda de prueba perpendicular a la abertura de la guía de onda. Así, se procura que el material ofrezca un frente a la señal;

además, el material se deposita en el contenedor de tal modo que esté lo más uniformemente distribuido en toda la celda.

Las mediciones se realizan primero sin celda de muestra, y después se toman lecturas con la celda de la muestra puesta en la línea de prueba. Siguiendo el protocolo establecido.

Experimentos.

Los experimentos se llevaron a cabo en el mismo sitio del laboratorio con el mismo equipo y a una temperatura ambiente de: $23.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Se plantean dos experimentos.

- (a) Medir valores de voltaje recibido a través de la muestra (V)
- (b) Medir el VSWR, que se genera en la línea de prueba por el material. Los dos experimentos se pueden aplicar a la misma muestra.

Protocolo para los experimentos.

- 1) Se define el tipo de experimento a realizar. Experimento a; Experimento b.
- 2) Se prepara la celda con la muestra que será utilizada. Como ya se especificó.
- 3) Se dispone la instrumentación según el experimento.
 - a. Generador; guía; soporte de sensor (ajuste de celda con material); sensor; medidor.
 - b. Generador; guía; carro guía detector; medidor; soporte de sensor (ajuste de celda con material).
- 4) Se activa el generador y se procura un tiempo de estabilización del equipo.
- 5) Se procede a realizar las mediciones según el experimento.
 - a. Se procede a determinar el valor máximo recibido sin celda de muestra. Después, se sitúa la celda de muestra en la línea de prueba, y se toma lectura.
 - b. Se sitúa la celda con la muestra frente al emisor. Se desplaza el carro con el detector para determinar un valor máximo V_{\max} ; inmediatamente después se desliza hasta encontrar un valor mínimo V_{\min} .
- 6) Se registran los valores obtenidos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los voltajes obtenidos en los experimentos se obtienen los valores de las características de cada muestra de material que fue expuesto a la energía electromagnética en la celda de prueba. La transmitancia, absorbencia, coeficiente de reflexión y vswr, se obtuvieron de igual manera sólo es una sustitución de los valores de las magnitudes obtenidas durante las pruebas, en las ecuaciones que ya se presentaron.

i) Transmitancia

Si consideramos los niveles de amplitud de la señal aplicada (V_0), y los niveles de la señal que se detecta después de interactuar con la muestra de material (V). Utilizando la Ecuación (1).

Valores en Volts, detectados durante el experimento:

$$V = 0.347 \text{ Volts}$$

$$V_0 = 0.4767 \text{ Volts}$$

Se obtiene el valor de:

$$T = 0.7279$$

ii) Absorbencia o Coeficiente de Extinción.

Según la expresión para la absorbencia. Ecuación (2). Se obtiene:

$$A = -\log_{10}(0.7279)$$

Lo que resulta un valor de:

$$A = 0.1379$$

La transmitancia de este material, que pudiera estar situada entre 0 y 1 (Cero para una opacidad total a la energía electromagnética aplicada, y uno para una transparencia completa), está indicando que una buena parte de la energía está logrando pasar. En términos de porcentaje se puede considerar que más del setenta por ciento de dicha energía pasa, para esta longitud de onda.

La Absorbencia indica que es poca la energía electromagnética que se está absorbiendo lo cual puede resultar congruente; el material sólo podrá absorber una parte de la energía que transita por el material.

iii) Coeficiente de Reflexión / Mediciones de VSWR. Según la Ecuación (4).

Se obtiene el valor del VSWR, a partir de los datos generados del experimento; con el valor del VSWR se calcula el coeficiente de reflexión. Según la Ecuación (5).

$$V_{max} = 23.9 \text{ Volts}$$

$$V_{min} = 2.2 \text{ Volts}$$

$$VSWR = 10.86$$

Sustituyendo por los valores correspondientes, se obtiene que el coeficiente de reflexión:

$$\Gamma = 0.83$$

El valor del SWR de momento puede impresionar bastante si se está acostumbrado a manejar valores de SWR cercanos en magnitud a dos, sin embargo, en algunos textos (Roberts, 1960) podemos encontrar pruebas sobre elementos de conmutación que reportan valores de SWR de 50; lo que pudiera parecer impensable.

Siguiendo los protocolos previamente establecidos para las pruebas, se agruparon los materiales en dos tipos. Una representación resumida de los resultados se presenta a continuación.

Muestra de material A

Este material presentó las siguientes características durante las pruebas.

$$\text{Transmitancia (T)} = 0.7279$$

$$\text{Absorbencia (A)} = 0.1379$$

$$\text{Relación de onda estacionaria (VSWR)} = 10.86$$

$$\text{Coeficiente de Reflexión (\Gamma)} = 0.83$$

Muestra de material B

Este material presentó las siguientes características durante las pruebas.

$$\text{Transmitancia (T)} = 0.796562$$

$$\text{Absorbencia (A)} = 0.09878$$

$$\text{Relación de onda estacionaria (VSWR)} = 8.952$$

$$\text{Coeficiente de Reflexión (\Gamma)} = 0.799$$

La transmitancia en este tipo de material (B), está indicando que una buena parte de la energía aplicada está logrando pasar a esta longitud de onda. La absorbencia como consecuencia es menor.

Cada material tiene una cierta respuesta dependiendo de la longitud de onda usada en su análisis. Por lo mismo, si una muestra de material similar a las de estas pruebas es estudiada con una longitud de onda diferente, los resultados tendrán que ser diferentes.

Los resultados aquí obtenidos durante los experimentos ameritan mayor profundidad de estudio.

IV. REFERENCIAS

Connor F.R. (1986) "Waves" 2nd. USA. Ed. Edward Arnold.

Roberts L.W. (1960) "Duplexing tube characteristics". Chapter XXII. USA. Ed. Microwaves.

Steer Michael (2013) "Microwave and RF design". 2nd edition. USA. Scitech publishing.