



Informe Técnico

Mediciones en muestras de arena

Gerardo Calva Olmos

Fecha

Desarrollo

Financiamiento interno

Mediciones en muestras de arena.

Gerardo Calva Olmos

Grupo académico de Modelado y Simulación de Procesos

Resumen

El objetivo de la prueba aquí presentada es verificar el tipo de respuesta que tiene una muestra de arena (material mineral) cuando se le aplica energía electromagnética a una longitud de onda de 3.1cm. La muestra se expone sobre una platina como una película delgada del material con un espesor de: $1\text{mm} \pm 0.01\%$. Durante la prueba se obtuvieron niveles de voltaje que muestran una variación entre los dos grupos de muestras propuestos. Con los niveles de voltaje registrados durante la prueba se obtuvieron, mediante expresiones matemáticas, los niveles de coeficiente de reflexión, coeficiente de transmisión y de absorbencia del material.

Índice

Introducción

1	Prueba de material mediante el uso de energía electromagnética.....	5
2	Características de la muestra que pueden ser obtenidas mediante esta prueba.....	6
2.1	Coeficiente de transmisión.....	7
2.2	Absorbencia en materiales.....	8
2.3	Coeficiente de Reflexión.....	8
2.4	Prueba realizada a los dos grupos de material.....	9
2.4.1	Material muestra que se utilizó en estas pruebas.....	9
2.4.1.1	Línea de prueba.....	10
2.4.2	Protocolo de pruebas.....	11
3	Resultados obtenidos.....	11
	Conclusiones.....	15
	Referencias bibliográficas.....	16

Introducción

Aplicar energía electromagnética sobre materia con la intención de conocer una o más de sus características es tecnología ya conocida en ambientes académicos e industriales (Calva 2012). Ya sea que se aplique sobre materiales pétreos, o sobre muestras biológicas.

La idea de aplicar energía electromagnética sobre un material tiene como base la asociación de valores entre la energía aplicada, y las condiciones físicas de la materia (Calva 2014).

Cuando se aplica energía electromagnética se suelen utilizar frecuencias de operación bien definidas (632.8nm, 514nm, 488nm, 694nm), son frecuencias consideradas tradicionales. Sin embargo, esto no impide, tratar de desarrollar métodos y protocolos de uso en otras frecuencias, como es el caso que aquí se propone.

Es posible y nada lo impide, diseñar y desarrollar métodos y protocolos de pruebas que estén acorde con una longitud de onda seleccionada. Con un determinado modo de aplicación de energía electromagnética (Calva, Octubre 2014).

Algunas de las características del material que se pueden obtener mediante expresiones matemáticas, y que usan los niveles de voltaje registrados durante la prueba son: el coeficiente de transmisión, la absorbencia y el coeficiente de reflexión de la muestra.

La prueba que aquí se reporta consiste en detectar los niveles de voltaje que se generan cuando la energía atraviesa la muestra y llega al sensor. Al mismo tiempo se pueden obtener los niveles de voltaje que se generan por la señal que se refleja, para así obtener los valores de la relación de onda estacionaria.

La muestra del material se dispone de tal modo que la energía electromagnética emitida llegue perpendicular a la muestra (al menos una buena parte) y no, con un ángulo de inclinación (Calva 2014).

A diferencia de la técnica de línea de transmisión (Calva 2010) en la que el material ($\approx 27.87 \text{ cm}^3$) se deposita dentro de la guía, la cual se debe sellar en ambos extremos, aquí, en esta prueba, el material es depositado sobre una platina formando una película muy delgada de material.

La energía de la señal electromagnética atraviesa la muestra o la golpea, y puede ser reflejada absorbida dispersada o atenuada por el material, habrá casos en que pueda ser casi totalmente absorbida por el material.

Para esta prueba se formaron dos grupos de muestras con el material disponible y al final se hizo un resumen con los datos que se obtuvieron durante la prueba. Se comprueba que existía una diferencia en sus características, lo que permite asegurar, que el sistema puede detectar variaciones en las muestras aun cuando sea ligera la variación de las condiciones del material en prueba.

Debido a que se utiliza una longitud de onda diferente, existe la posibilidad de realizar un cruce de información entre las pruebas realizadas sobre un mismo material. Lo anterior posibilitaría el uso de cualquiera de los sistemas empleados para análisis de materiales aun cuando utilicen diferentes longitudes de onda.

1 Prueba de material mediante el uso de energía electromagnética.

Este tipo de prueba se puede realizar sobre muestras de materiales diversos como el mineral, arcilla, sílice, albumina hierro, arenisca etc., todo material que pueda ser dispuesto sobre la platina. Cuando el tamaño de las muestras minerales sea grande, se puede triturar hasta lograr un polvo fino que permita ser depositado sobre la platina.

Otro tipo de muestras que pueden ser analizadas son las muestras de materiales biológicos, siempre y cuando sean estas de bajo o nulo riesgo, esto es por no contar con algún tipo de medidas de aislamiento.

Método. El método a seguir consiste en enviar energía electromagnética de un emisor, hacia la muestra de material, procurando en lo posible que la mayoría de la energía llegue a ella perpendicular. Por esta razón es que se utiliza una guía de onda y dentro de ella se sitúa la platina. En el lado opuesto a la emisión se mide el nivel de energía que alcanza a pasar a través de la muestra. Además es posible medir la onda estacionaria.

Los efectos de atenuación sobre la energía se suceden desde el momento en que esta hace contacto con la superficie del material, y continúa durante la travesía que realiza la señal por el material mismo. Lo que se detecta en el lado opuesto es lo que pudo atravesar la muestra.

En el dibujo de la figura 1, se representa lo que es el modo de aplicación de la señal. En el dibujo a) está una muestra, que recibe una aplicación puntual de la energía. Se supone un caso ideal, porque es complicado lograr una aplicación perpendicular total a esta longitud de onda.

En el dibujo b) de la figura 1, está dispuesta una porción de material. Es una muestra con volumen, que genera un espesor con una distancia entre placas "d". Las placas mantienen a la muestra posicionada entre la fuente y el receptor.

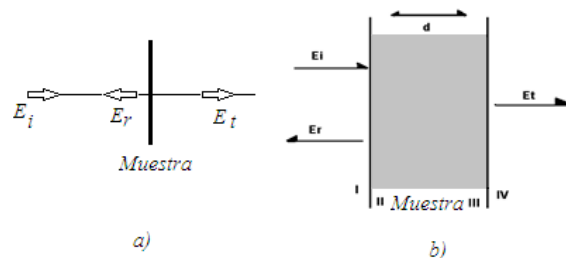


Figura.1 La onda que llega a la muestra puede ser reflejada y/o transmitida a través de ella. a) aplicación ideal, b) aplicación sobre una muestra con espesor y fronteras entre medios.

El paso de la señal y la reflexión de la señal en la figura 1, se denota mediante el uso o trazado de rayos, pero esto no implica que la energía viaje únicamente en los senderos que señala el rayo. La energía alcanza a la muestra en diferentes puntos cercanos, a donde idealmente llega el rayo principal.

Aun cuando se utilizan potencias bajas, cuando se aplica energía a una muestra de material, esta puede experimentar un cambio o una alteración de manera momentánea. Lo importante es que la perturbación en el material no sea permanente.

2 Características de la muestra que pueden ser obtenidas mediante esta prueba

Se obtienen tres características principales de las muestras de material. Todas ellas con base en la detección de los niveles de voltaje en el lado receptor después de interactuar la señal electromagnética, con el material de la muestra.

El sistema dispuesto para aplicación y recolección de energía sobre una muestra de material sólido se presenta en la figura 2. El diagrama a bloques contiene los elementos mínimos requeridos.

Como se puede apreciar el principio es el ya descrito, se sostiene una muestra de material entre el arreglo de emisor y receptor.

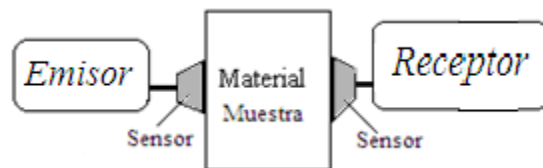


Figura 2 Diagrama a bloques de un sistema de transmisión y recepción con una muestra sólida de material entre ambos.

La prueba sobre la muestra de material es sencilla y consiste solo de dos etapas

Etapla 1. Ausencia de material.

Etapla 2. Presencia de material que se quiere probar.

Elemento de interés que interfiere la ruta electromagnética principal.

En la primera etapa. (Ausencia de material)

Se obtiene una intensidad I_0 en el medidor del extremo opuesto al generador. Esta será la máxima intensidad que podrá ser recibida.

En la segunda etapa. (Presencia de material que se quiere probar)

Se tiene una intensidad menor en el medidor, una I recibida, que es menor debido a la afectación que le provoca el material que interactúa con la señal electromagnética cuando incide sobre ella, y que por sus características no le permite un paso libre.

La cantidad de energía que logre pasar dependerá del factor de penetración del material, de la dispersión en el mismo y de la absorbencia que tenga la muestra puesta en la ruta principal de la energía electromagnética. Estas características del material pueden definir procedencia u origen del material.

2.1 Coeficiente de transmisión.

El coeficiente de transmisión se presenta cuando se consideran medios con discontinuidades en la ruta de propagación de la onda. El coeficiente de transmisión está estrechamente relacionado con el coeficiente de reflexión.

Las ondas electromagnéticas pueden experimentar transmisión y reflexión parcial cuando el medio por el que viajan cambia bruscamente.

El coeficiente de transmisión relaciona la amplitud de una onda transmitida respecto de la amplitud de la onda incidente. Ecuación 1.

$$T = \frac{|I_{transmitida}|}{|I_{incidente}|} \quad (1)$$

La transmitancia es una relación directa que se define como el cociente de la magnitud de la energía que resulta después de haber atravesado el material bajo prueba, y de la magnitud de la energía aplicada al material:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

I – Transmitida

I_0 – Incidente.

2.2 Absorbencia en materiales

La absorbencia que caracteriza a un material, cuando lo atraviesa una señal se define por la expresión matemática presentada como ecuación 3.

$$A = -\log_{10}(T) \quad (3)$$

A.- Absorbencia

T.- Transmitancia

La absorbencia está directamente relacionada con las propiedades intrínsecas del material, y la señal podrá atravesarlo para llegar al detector dependiendo de qué tanta energía sea absorbida por el material.

2.3 Coeficiente de reflexión

El coeficiente de reflexión describe la relación entre la amplitud de una onda reflejada respecto de la amplitud de la onda incidente.

Esta característica está estrechamente ligada con el coeficiente de transmisión.

El coeficiente de reflexión se puede expresar mediante las mediciones de la impedancia. Como se expresa en la ecuación 4.

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (4)$$

Γ = Coeficiente de reflexión. Como número complejo.

Z_L = Impedancia de carga al final de la línea

Z_0 = Impedancia característica de la línea de transmisión.

El coeficiente de reflexión indica que tanta energía está desplazándose a lo largo de la línea hacia el generador. En el momento que va de regreso se le considera energía negativa, o energía que no está siendo aprovechada. Ver Figura 1.

Por esta razón su valor absoluto puede calcularse a partir de la razón de onda estacionaria.

El coeficiente de reflexión se puede relacionar con la medida de la onda estacionaria que se forma en la trayectoria de la energía electromagnética. Ecuación 5.

$$|\Gamma| = \frac{SWR - 1}{SWR + 1} \quad (5)$$

El coeficiente de reflexión presenta una idea clara de cuan ligados están los fenómenos físicos que se ven involucrados al realizar este tipo de pruebas.

Al aplicar energía electromagnética sobre un material se analiza la respuesta que tiene, como le afecta, si es que le afecta.

2.4 Prueba realizada a los dos grupos de material

-Las pruebas sobre las muestras fueron realizadas en el mismo banco de trabajo con la misma disposición de los equipos del sistema, con una temperatura ambiente de: $23.6^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$.

-Las pruebas se realizaron sobre las muestras utilizando un emisor de energía electromagnética que genera una señal en los 3.1 cm de longitud de onda.

-Los experimentos se desarrollan con emisores a una potencia en los: 10mW.

-En cuanto a la amplitud de la señal generada, el emisor dispone de un ajuste de nivel que puede variar de 0 a 1.00 Volt.

En el lado receptor se utilizan medidores de voltaje convencionales.

Se dispone de una montura que soporta una platina en la cual se permite alojar una muestra efectiva de: 2.3225cm^2 y con $1\text{mm} \pm 0.01\%$ de espesor.

2.4.1 Material muestra que se utilizó en estas pruebas

El tipo de material utilizado es arena convencional, la que se puede definir como un conjunto de fragmentos sueltos de roca o minerales de tamaño pequeño. Su tamaño varía entre 0.063 y 2.0 mm, y puede llegar a incluir silicio (SiO_2), y que se puede obtener en cualquier parte.

La muestra A

Está constituida por arena (material mineral) y tiene una humedad relativa (h) que alcanza como máximo un: 0.82%

La muestra B

Constituida también por arena (material mineral), y al momento de la prueba tenía una humedad relativa (h) de: $\approx 11.0\%$

Con la muestra de material dispuesta en la línea de aplicación de prueba, se procede a la aplicación de la energía.

2.4.1.1 Línea de prueba.

Para el desarrollo de las pruebas se parte de un arreglo de laboratorio que incluye: Generador de señales a 3.1cm de longitud de onda, soporte de detector para swr, porta objetos con la muestra, sensor de receptor y medidores de voltaje. El arreglo utilizado se presenta en la siguiente figura. Figura 3.

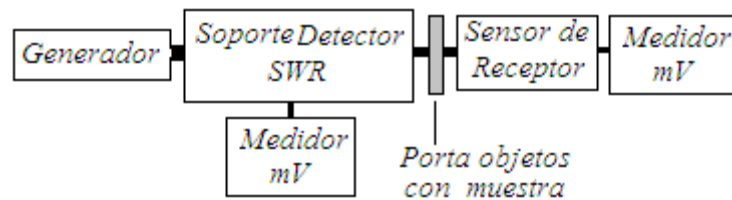


Figura 3. Diagrama de bloques de la disposición de los elementos utilizados en las pruebas.

Hay que tener en cuenta que en el arreglo mostrado en la Figura 3, no se está supeditando a un tipo específico de equipo, a una marca en especial. Como ejemplo está el generador, basta con que genere una señal en 3.1cm de longitud de onda, y con una potencia de al menos: 10 mW para que sea suficiente.

Teniendo la muestra de material en la línea de prueba, se mide el nivel de voltaje en el detector. Al mismo tiempo se miden los voltajes para determinar el SWR.

Al material se le dividió en dos grupos de muestras. Nuevamente. No se cuenta con un análisis exhaustivo de laboratorio del material.

2.4.2 Protocolo de pruebas

Protocolo.

1 se dispone el arreglo del equipo en la línea de prueba. Como se aprecia en la figura 3.

2 se prepara la celda con la muestra a utilizar. Se activa el generador.

3 se realizan las mediciones. Las primeras mediciones son en Vacío. Sin muestra entre generador y receptor (Figura 3).

4 se registran los valores obtenidos. (Voltajes en los medidores acoplados a la línea de prueba).

5 se dispone la celda con la muestra, entre el generador y el sensor del receptor como se ve en la figura 3.

6 se realizan las mediciones y se registran los voltajes obtenidos en los medidores acoplados a la línea de prueba. Se puede continuar con las demás muestras a partir del paso 5.

3 Resultados obtenidos en las pruebas

Con los niveles de voltaje obtenidos durante las pruebas se determinan las características de cada muestra de material que fue expuesto a la energía electromagnética.

La transmitancia, absorbencia, coeficiente de reflexión y la relación de onda estacionaria, son características que se obtienen de igual manera para cada una de las muestras.

Para obtener sus características ya mencionadas se realizó la sustitución de los voltajes obtenidos durante las pruebas, en las ecuaciones que ya se presentaron en este informe. Generándose los siguientes resultados.

La secuencia de sustitución de valores en las ecuaciones es similar para cada una de las pruebas, por ello sólo se presenta un ejemplo de su obtención.

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), y se utiliza la Ecuación (1), se obtiene la transmitancia del material.

Valores en niveles de Voltaje, detectados durante el experimento:

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

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

Se obtiene el valor de:

$$T = 0.7279$$

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.

ii) Absorbencia.

Según la expresión para determinar la absorbencia en el material, ecuación (2). Se obtiene:

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

Lo que resulta un valor de:

$$A = 0.1379$$

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

iii) Coeficiente de Reflexión.

Para el coeficiente de Reflexión, se determina primero el valor del SWR, el cual se obtiene a partir de los voltajes máximo y mínimo, generados en cada uno de los experimentos.

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

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

Sustituyendo se obtiene

$$SWR = 10.86$$

Sustituyendo este resultado en la Ecuación (5). Se obtiene que el coeficiente de reflexión que es de:

$$\Gamma = 0.83$$

Todas las pruebas fueron realizadas siguiendo el protocolo establecido para este fin.

A continuación se presenta un resumen, de los resultados obtenidos para el material de muestra. Como se estableció, se formaron dos grupos con el material disponible al momento.

Muestra A de material.

Este material presentó las siguientes características durante las pruebas.

Transmitancia (T) = 0.7279

Absorbencia (A) = 0.1379

Relación de onda estacionaria (SWR) = 10.86

Coefficiente de Reflexión (Γ) = 0.83

Muestra B de material.

Este material presentó las siguientes características durante las pruebas.

Transmitancia (T) = 0.796562

Absorbencia (A) = 0.09878

Relación de onda estacionaria (SWR) = 8.952

Coefficiente de Reflexión (Γ) = 0.799

El nivel de la transmitancia en el grupo de material (B), está indicando que una buena parte de la energía está logrando pasar. La absorbencia como consecuencia es menor.

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

Conclusiones

Se comprobó que mediante esta prueba hecha sobre una película de material, es posible estimar algunas características de la muestra.

A diferencia de otras técnicas de prueba que requieren mayor cantidad de material, en esta prueba, la película formada con la muestra de material es de aproximadamente: 1 mm de espesor.

Aunque se requiere de un mayor número de pruebas, se puede adelantar que un incremento $\Delta h \approx 10.18\%$ en el material, genera un $\Delta \Gamma = 0.032417$.

Se debe tener en consideración que las prueba realizadas se hicieron utilizando energía electromagnética con una única longitud de onda de 3.1 cm. Lo que es novedoso.

Los resultados aquí obtenidos durante las pruebas ameritan mayor profundidad de estudio.

Los resultados obtenidos ameritan más pruebas sobre materiales diversos. Y convendría realizar un análisis químico de esos materiales para que se ampliara la caracterización de los materiales bajo prueba.

Para lograr mejores resultados se debe modificar la montura para las muestras.

Referencias bibliográficas

Calva Olmos Gerardo, Pacchiano Mario. *"Determinación de características en materiales húmedos mediante microondas utilizando la técnica de línea de transmisión"*. II-DESAP-2010-033. 2010

Calva Olmos Gerardo, Prieto Rafael, Padron Alejandro, Herrera Alberto. *"Propuesta de investigación y desarrollo de un sistema de supervisión de la calidad en caña de azúcar, mediante la determinación del nivel de humedad"*. II-INME-2012-323. 2012.

Calva Olmos Gerardo, Prieto Rafael, Padron Alejandro, Herrera Alberto, Pacchiano Mario. *"Sistema de detección no destructiva"*. II-INME-2013-351. 2013.

Calva Olmos Gerardo, Prieto Rafael, padrón Alejandro, Herrera Alberto, Pacchiano Mario. *"Evaluación electromagnética no destructiva"*. II-INME-2014-393. 2014

Calva Olmos Gerardo. *"Detección con Microondas de Características en Mezclas que Contienen Cemento"*. Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería. UNAM. Octubre 2014.