

# CONSTRUCCIÓN DE DOS SENSORES DE PERMITIVIDAD DIELECTRICA PARA CARACTERIZAR GASES EN DOS RANGOS DE FRECUENCIA

Valle Ortiz Diego Fernando (1), Reyes Ayona José Roberto (2)

1 [Programa en Ingeniería Mecatrónica, Universidad Autónoma de Bucaramanga] | [dvalle@unab.edu.co]

2 [División de ingenierías, escuela de ingeniería mecánica y eléctrica, Campus Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [jr.reyes@ugto.mx]

## Resumen

Con el propósito de desarrollar dos tipos de sensores a rangos de frecuencia diferente y caracterizar gases se elaboraron celdas donde posteriormente se acoplaron los sensores, las celdas fueron construidas a partir de tubos de PVC, se escogió este material por su bajo costo mientras que para obtener el sensor se inició primeramente diseñando los circuitos por medio del software SONNET, luego fueron impresos y finalmente planchados en una placa fenólica FR4 para así proceder a realizar un acople direccional tipo Microstrip. En este documento se encuentra los resultados de la evaluación en frecuencia de distintos gases como: Dioxido de Carbono, humo de cigarro, Acetileno, entre otros. Las mediciones fueron llevadas a cabo por medio de un analizador vectorial de redes se guardaron los datos y fueron graficados en la herramienta Matlab.

## Abstract

With the purpose of developing two types of sensors at different frequency ranges to characterize gases, cells were built where the sensors were subsequently coupled, the cells were constructed with PVC tubes, this material was chosen for its low cost, while to obtain the The sensor was first started by designing the circuits using the Sonnet software, then they were printed and finally plated on a FR4 phenolic plate to proceed with a Microstrip directional coupling. In this document we find the results of the evaluation in frequency of different types of gases such as: Carbon Dioxide, Cigarette Smoke, Acetylene, among others. The measurements were made in a vector analyzer of networks, the data were saved and they were plotted in the Matlab tool.

## Palabras Clave

Dieléctrico; Resonancia; Frecuencia; Microcinta

## INTRODUCCIÓN

### Problemática

Los amplios desarrollos de trabajos en el área de las microondas han sido significativos para desenvolverse en aplicaciones en distintas áreas, en especial para caracterizar todo tipo de materiales e incluso para el sensado de gradiente de humedad como fue mostrado en [6] ahí fueron medidos materiales como tortillas, cartón seco, cartón mojado, etc. En este trabajo se pretende caracterizar varios tipos de gases abriendo un mundo de posibilidades y un grano de arena a lo que en un futuro pueda ser un aporte significativo en el mundo de la medicina, ya que partir de la caracterización de gases del aliento humano podría ser posible detectar enfermedades de tipo empáticas o estomacales.

### Justificación

Dado que en el mercado se manejan altos precios en herramientas como son las celdas de gas y medidores de permitividad, en este trabajo se pretende dar una alternativa económica para un sensor de permitividad, además, se fabricaron dos sensores para tener acceso a dos rangos distintos de frecuencia, poder comparar resultados y obtener un análisis más profundo a cerca de la caracterización de distintos gases, se hicieron mediciones al aliento de dos personas para acercarlo a lo que sería un estudio para detectar enfermedades, en este caso fue realizado en un estado de la persona en condición normal, cabe destacar que estas mediciones fueron realizadas para observar el comportamiento en frecuencia en el analizador vectorial de redes, hace falta un banco de personas lo suficientemente grande para lograr caracterizar y obtener resultados definitivos.

### Marco teórico

- Permitividad

La permitividad (o impropriamente constante dieléctrica) es una constante física que describe cómo un campo eléctrico afecta y es afectado por un medio. La permitividad del vacío es  $8,8541878176 \times 10^{-12}$  F/m. La permitividad está determinada por la tendencia de un material a polarizarse ante la aplicación de un campo eléctrico y de esa forma anular parcialmente el campo interno del material. Está directamente relacionada con la susceptibilidad eléctrica. Por ejemplo, en un condensador una alta permitividad hace que la misma cantidad de carga eléctrica se almacene con un campo eléctrico menor y, por ende, a un potencial menor, llevando a una mayor capacitancia del mismo [1].

En electromagnetismo se define un campo de desplazamiento eléctrico  $D$ , que representa cómo un campo eléctrico  $E$  influirá la organización de las cargas eléctricas en el medio, por ejemplo, redistribución de cargas y reorientación de dipolos eléctricos. La relación de ambos campos (para medios lineales) con la permitividad es:

$$D = \epsilon * E$$

donde  $\epsilon$  es un escalar si el medio es isótropo o una matriz de 3 por 3 en otros casos. La permitividad, tomada en función de la frecuencia, puede tomar valores reales o complejos. Generalmente no es una constante ya que puede variar con la posición en el medio, la frecuencia del campo aplicado, la humedad o la temperatura, entre otros parámetros. En un medio no lineal, la permitividad puede depender de la magnitud del campo eléctrico. La unidad de medida en el Sistema Internacional es el faradio por metro (F/m). El campo de desplazamiento  $D$  se mide en culombios por metro cuadrado (C/m<sup>2</sup>), mientras que el campo eléctrico  $E$  se mide en voltios por metro (V/m). [1].  $D$  y  $E$  representan el mismo fenómeno, la interacción entre objetos cargados.  $D$  está relacionado con las densidades de carga asociada a esta interacción.  $E$  se relaciona con las fuerzas y diferencias de potencial involucradas. La permitividad del vacío, es el factor de escala que relaciona los valores

de D y E en ese medio. es igual a  $8.8541878176... \times 10^{-12}$  F/m. Las unidades de en el Sistema Internacional de Unidades es farad por metro (F/m). En el Sistema Internacional de Unidades, la fuerza se mide en newtons (N), la carga en coulombs (C), la distancia en metros (m), y la energía en julios (J). Como en todas las ecuaciones que describen fenómenos físicos, usar un sistema consistente de unidades es esencial. [1]

- Líneas de transmisión

Las líneas de transmisión confinan la energía electromagnética a una región del espacio limitada por el medio físico que constituye la propia línea, a diferencia de las ondas que se propagan en el aire, sin otra barrera que los obstáculos que encuentran en su camino. La línea está formada por conductores eléctricos con una disposición geométrica determinada que condiciona las características de las ondas electromagnéticas en ella. [2]

Se designan como parámetros primarios de la línea los siguientes:

- Resistencia en serie por unidad de longitud, R, expresada en  $\Omega/m$ . Inductancia en serie por unidad de longitud en  $H/m$ . Capacidad en paralelo por unidad de longitud, C, en  $fd/m$ . Conductancia en paralelo por unidad de longitud, G, en  $S/m$ . [2]

- Analizador de redes

El analizador de red M2M es un instrumento de medición de las principales magnitudes eléctricas, en redes trifásicas y monofásicas, proyectado para la monitorización y el análisis en local o en remoto de: parámetros eléctricos de la instalación en cuadros de baja y media tensión; consumos de energía de la instalación. [4]

Hay dos tipos de analizadores: escalares y vectoriales. Un analizador de redes escalar mide y muestra sólo la amplitud de la señal que está siendo estudiada. Ésta es mostrada en función de la frecuencia. El analizador de redes vectorial mide y muestra la amplitud y la fase. Éstas son también mostradas en función de la frecuencia y en escala lineal. Las mediciones pueden ser desplegadas en la carta de Smith. Todos los parámetros S pueden ser obtenidos con un analizador de redes vectorial.

En la siguiente figura se puede apreciar el diagrama de bloques de un analizador de redes.

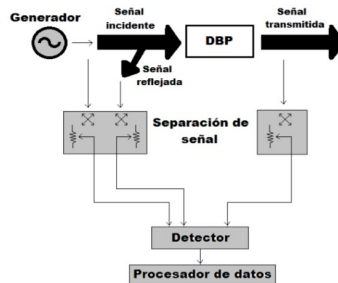


IMAGEN 1: Diagrama de bloques, analizador de redes. [5]

- Tecnología Microstrip

las líneas microstrip son estructuras abiertas, de forma que las líneas de campo no están confinadas y la propagación debe analizarse en rigor con las técnicas de campos de las guías de onda. Sin embargo, a bajas frecuencias es posible un análisis cuasi-estático con parámetros distribuidos como el que realizamos en este capítulo. Hay diversas variantes constructivas de estas líneas, y a modo de ejemplo presentamos la configuración clásica de la figura. Una cinta conductora muy ancha funciona como plano de tierra y sobre ella

se coloca un sustrato dieléctrico de permitividad  $\epsilon$  y espesor  $b$ . Sobre el sustrato hay una cinta de señal de espesor  $t$  y ancho  $w$ . En la siguiente figura se ilustra lo descrito previamente.

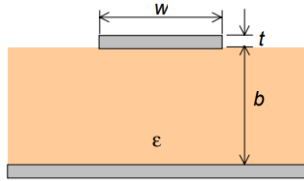


IMAGEN 2: Estructura de la tecnología Microstrip. [3]

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente trabajo se contó con los siguientes materiales:

- Tubo PVC
- Placa fenólica FR4
- Sustrato de espesor 3mm
- Analizador vectorial de redes.
- Silicona
- Gases

Inicialmente se diseñaron los sensores a partir del software Sonnet como se muestra continuación, en la imagen 3.

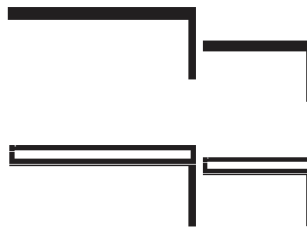


IMAGEN 3: Diseño de sensores en el software Sonnet. [Autor]

La longitud y los grosores del circuito fueron escogidos bajo un criterio de magnitud en decibeles, es decir que se calificaron como buenos aquellos que tuvieron un valor por debajo de 10 [Db] donde estos sensores alcanzaron un valor en magnitud hasta de 16 y 19 [Db].

Luego del diseño de los circuitos se procedió a plancharlos en la placa fenólica, una vez listos se hizo un acople direccional del tipo Microstrip con el sustrato a 3 mm mencionado con anterioridad, se adaptó el tubo PVC para acoplar los sensores y posteriormente realizar las mediciones, en la imagen 4 podemos observar el acople realizado.

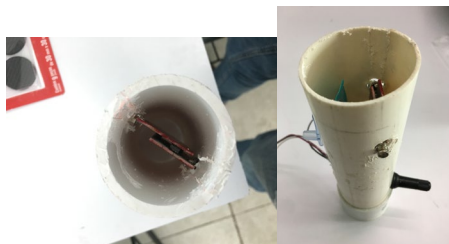


IMAGEN 4: Acople entre el tubo PVC y el Sensor. [Autor]

Finalmente se procedió a realizar las mediciones en las cuales se empleó los siguientes tipos de gases: Humo de papel, acetileno, aliento humano, humo de cigarro y CO<sub>2</sub>. Cabe destacar que debido a que se construyeron 2 sensores se realizaron las mediciones con los mismos gases en cada uno.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de realizar las mediciones en cada uno de los sensores se obtuvieron los siguientes resultados para el Sensor 1 (largo):

Este sensor tiene la característica que tiene una longitud mayor con respecto al otro, en la siguiente figura podemos observar su comportamiento en frecuencia en un estado neutro.

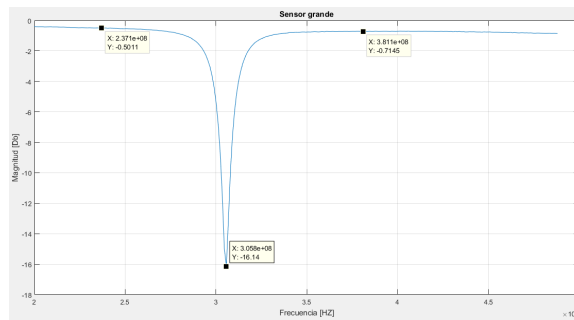


IMAGEN 5: Comportamiento del sensor 1 en estado neutro. [Autor]

Esta grafica se realizó con los datos obtenidos en el analizador vectorial de redes.

En la imagen 6 se puede apreciar la gráfica con los datos obtenidos en un estado neutro, además de un rango de frecuencia diferente, esto se debe a varios parámetros como el grosor del circuito y longitud de este.

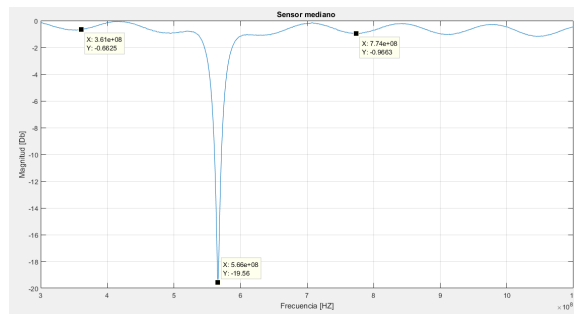


IMAGEN 6: Comportamiento del sensor 2 en estado neutro. [Autor]

En la tabla 1 es posible apreciar los desplazamientos en frecuencia con cada uno de los gases.

Tabla 1: Resultados de las mediciones en ambos sensores para los diferentes tipos de gases

	Humo de Papel	CO <sub>2</sub>	Humo de Cigarro	Aliento Humano	Acetileno
Sensor 1 (Largo)	0.3057 G-Hz	0.306 G-Hz	0.3061 G-Hz	0.3042 G-Hz	0.306 G-Hz
Sensor 2 (mediano)	0.566 G-Hz	0.567 G-Hz	0.5665 G-Hz	0.566 G-Hz	0.5672 G-Hz

## CONCLUSIONES

- En las pruebas realizadas con aliento humano se pudo observar un desplazamiento en frecuencia significativo, lo que abre un abanico de posibles trabajos futuros con la caracterización de estos gases y sus aplicaciones en la medicina.
- A la hora de diseñar un sensor de permitividad dieléctrica se deben tener en cuenta varios aspectos tales como el grosor del circuito, la separación por el dieléctrico en el acople y su longitud.
- Se realizaron mediciones de distintos gases, teniendo en cuenta que la referencia de medida era la permitividad del aire, algunos de ellos como el acetileno que es un poco más ligero y el CO<sub>2</sub> que es muy abundante en la naturaleza obtuvieron desplazamientos en frecuencia menos significativos.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios por darme la Fortaleza día a día de seguir, a mi familia por su apoyo incondicional, a la Universidad de Guanajuato por darme la oportunidad de tan gratificante experiencia y finalmente a mi tutor y guía en este proyecto, quien me dotó del conocimiento y las herramientas necesarias para llevarlo a cabo.

## REFERENCIAS

- [1] ECAM, J.M. Dimingo, J.M. Calderon (2010). Permitividad volumen (25), recuperado de: <https://iupsm.files.wordpress.com/2010/08/permitividad.pdf>
- [2] Pérez Vega Constantino (2009). Líneas de Transmisión, volumen (2), recuperado de: [http://www.cartagena99.com/recursos/electronica/apuntes/CH9ST\\_Web.pdf](http://www.cartagena99.com/recursos/electronica/apuntes/CH9ST_Web.pdf)
- [3] Departamento de física, Universidad de Buenos aires (2002). Líneas de transmisión, recuperado de: <https://www.ft.unicamp.br/~leobravo/Gerais/4-LINEAS1.pdf>
- [4] Power and productivity for a better world (2010). Analizador de red, recuperado de: <https://library.e.abb.com/public/675c4495f90832acc1257aec0035ecec/Instrucciones%20de%20montaje%20y%20de%20uso%20M2M%201.0%20ES.pdf>
- [5] Hernández Gómez Edel Serafín, (2014). Desarrollo de un sensor de permitividad dieléctrica de bajo costo a la frecuencia de 2.45 Ghz.
- [6] Vargas López Evelyn, (2017). Medición de anisotropía dieléctrica de materiales a frecuencias de microondas.
- [7] Montoya Ronal, Gaviria Natalia, (2013). Estimación de la permitividad relativa de láminas de circuito impreso con dieléctrico de fibra de vidrio para aplicaciones UHF
- [8] Chang Kai, Hsieh Lung-Hwa, (2004). Microwave Ring Circuits and Related Structures (Secund Edition.) New Jersey: John Wiley.