

ESTUDIO DE UNA ANTENA DE MICROCINTA FRACTAL TIPO E PARA LA BANDA DE LOS 2.4 GHZ

Iván R. González Rangel

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

Ivan.gonzalez.rangel@gmail.com

Javier Vargas Sánchez

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

Genaro Hernández Valdez

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

ghv@correo.azc.uam.mx

Mario Reyes Ayala

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

J. R. Miranda Tello

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

Edgar A. Andrade González

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

Resumen

En este trabajo, se presenta el estudio experimental y por simulación de una antena de parche basada en la geometría fractal tipo E para operar en la banda libre de los 2.4 GHz. La estructura electromagnética de la antena diseñada se analiza utilizando el simulador HFSS de ANSI, mientras que el prototipo experimental se caracteriza utilizando un analizador de redes de 6.5 GHz acoplado a un equipo de medición de campo cercano para medir los parámetros importantes de esta antena. Considerando la geometría fractal tipo E de dos iteraciones, los resultados en las simulaciones muestran que la antena diseñada

presenta una frecuencia de resonancia de 2.463 GHz con pérdidas por retorno cercanas a -50 dB y un ancho de banda de acoplamiento de 74 MHz. Los parámetros correspondientes en el prototipo experimental resultaron ser de 2.624 GHz, -17 dB y 100 MHz, respectivamente. Estos resultados demuestran la factibilidad de utilizar la antena de microcinta fractal tipo E para aplicaciones en las comunicaciones inalámbricas para la banda de los 2.4 GHz.

Palabras Claves: ancho de banda de acoplamiento, antenas de banda ancha, antenas de microcinta, bandas sin licencia, geometría fractal tipo E.

Abstract

In this paper, the simulation and experimental study of an E-shape fractal patch antenna for the unlicensed band of 2.4 GHz is presented. The electromagnetic structure of this antenna is analyzed using the High Frequency Structure Simulator HFSS of ANSY, while the experimental antenna prototype is characterized using a network analyzer of 6.5 GHz and a (near-field based) antenna pattern measurement equipment. Simulation results show that the designed antenna presents a resonant frequency of 2.463 GHz with return losses equal to -50 dB, and a coupling bandwidth of 74 MHz. On the other hand, the corresponding experimental parameters are 2.56 GHz, -17 dB, and 100 MHz, respectively. The study performed in this paper demonstrates the suitability of using the E-shape fractal patch antenna for wireless applications at the 2.4 GHz unlicensed band.

Keywords: broadband antennas, coupling bandwidth, ISM frequency bands, patch antennas, type-E fractal geometry.

1. Introducción

El diseño actual de antenas para aplicaciones de radio móvil requiere que éstas sean de tamaño compacto, bajo perfil, fáciles de diseñar, de fabricar, de integrar a dispositivos electrónicos, y que posean características de banda ancha o multibanda. Diversas soluciones se han propuesto para lograr uno o más de estos requerimientos. Por ejemplo, los cinco primeros requerimientos mencionados se han logrado al desarrollar antenas de parche o microcinta [Balanais, 1982], [Khan,

2015]. Recientemente, la tecnología de microcinta se ha combinado con las propiedades de la geometría fractal para mejorar las características de respuesta en frecuencia de las antenas para dispositivos portátiles [Gianvittorio, 2002]. En particular, las antenas fractales de microcinta poseen una estructura geométrica con propiedades auto similares que les permite tener características multi-resonantes o de banda ancha, las cuales resultan idóneas para aplicaciones de comunicaciones móviles [Werner, 2003]. Entre las formas geométricas que han resultado de mayor interés en el desarrollo de antenas fractales se encuentran el triángulo y carpeta de Sierpinsky, copo de nieve de Koch, árbol fractal, curva de Hilbert, estructura hexagonal, formas “E”, “T” y “U”, entre otras [Werner, 2003]. Entre estas, la geometría basada en el triángulo de Sierpinsky es ampliamente utilizada en la literatura para proponer antenas de microcinta multi-resonantes [González, 2016]. Por otra parte, aunque las antenas de parche basadas en la geometría fractal tipo E han sido poco estudiadas en la literatura, el interés por mejorar sus características multi-resonantes y de banda ancha ha aumentado en los últimos años [Bayatmaku, 2011], [Asghar, 2013], [Navukarasu, 2016], [Zakir, 2011]. En este trabajo, se estudia el desempeño (experimental y por simulación) de una antena de parche basada en la geometría fractal tipo E para aplicaciones inalámbricas localizadas en la banda libre de los 2.4 GHz. La idea es que este tipo de antena pueda ser empleada en dispositivos portátiles que trabajen bajo el estándar para redes inalámbricas de área local IEEE 802.11b/g.

La antena de microcinta fractal tipo E se diseña tomando como base la metodología de fabricación de la antena de parche rectangular [Balanais, 1982]. La antena diseñada se analiza utilizando el simulador de estructuras electromagnéticas de alta frecuencia (HFSS, por sus siglas en inglés) de ANSI. Los parámetros considerados en el diseño se programan en el simulador HFSS para mejorar las características de desempeño de la antena propuesta. Una vez que los resultados de simulación son satisfactorios, se procede a construir un prototipo y se caracteriza utilizando un analizador de redes “FieldFox” de 6.5 GHz de “Agilent Technologies” acoplado a un equipo de medición de parámetros de antenas “RFxpert”. Los resultados, tanto de la simulación como de la

experimentación, demuestran que es viable utilizar la antena de microcinta fractal tipo E para aplicaciones inalámbricas en la banda de los 2.4 GHz.

En la sección 2, se presenta la metodología de diseño en la que se basa la antena de parche de geometría fractal tipo E. La sección 3 presenta los resultados de la simulación y de la experimentación. En la sección 4 se presenta la discusión. Finalmente, la sección 5 muestra las conclusiones del trabajo.

2. Métodos

El diseño de la antena fractal tipo E de microcinta se basa en la metodología de diseño de la antena de parche rectangular. La antena de parche rectangular es una de las antenas básicas que más se han estudiado en la literatura, para su diseño se requiere conocer el material sobre el cual se fabrica ya que se considera el valor de la constante dieléctrica para calcular sus dimensiones. Se utilizan las ecuaciones 1, ecuación 4, las cuales describen el modelo simplificado de la antena [Balanis, 1982], [Gianvittorio, 2002], [Werner, 2003], [González, 2016]. El ancho del parche (w) se calcula mediante ecuación 1 [Balanis, 1982].

$$w = \frac{c}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

Donde c representa el valor de la velocidad de la luz en el vacío, ϵ_r representa el valor de la constante dieléctrica del sustrato y f_r representa la frecuencia de resonancia en la que se desea operar. Antes de calcular la longitud del parche, es necesario evaluar el valor efectivo de la constante dieléctrica (denotado por ϵ_{reff}), el cual está dado por ecuación 2 [Balanis, 1982].

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Donde h representa el espesor del sustrato sobre el cual se fabrica la antena. De esta forma, la longitud incremental de la antena se calcula mediante ecuación 3 [Balanis, 1982].

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \quad (3)$$

Finalmente, la longitud del parche (denotada por L) se calcula con ecuación 4 [Balanais, 1982].

$$L = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L \quad (4)$$

Para este tipo de antena utilizamos placas de circuito impreso con doble capa de cobre y el sustrato es el FR4 ya que tiene una constante dieléctrica con un valor relativamente bajo ($\epsilon_r = 4.4$), una de las caras de cobre nos permite dibujar el parche mientras que la otra cara funciona como plano de tierra.

Las dimensiones calculadas para la antena de parche rectangular tienen los valores $w=38.03$ mm y $L=28.44$ mm. La ubicación del punto de alimentación de la antena es algo crucial, ya que esta debe ser de 50 ohms para acoplar la impedancia con los dispositivos a los que se conecta. Desafortunadamente, cada que se realiza un cambio en las dimensiones de la antena, la impedancia característica del parche cambia [Werner, 2003]. Para tener el mejor acoplamiento de la antena, mediante simulación se encontró que en el centro de un extremo de la dimensión L del parche, la impedancia es muy aproximada a los 50 ohms.

Como se mencionó anteriormente, la estructura de la antena de parche fractal tipo E tiene como base la antena de microcinta rectangular, la cual se utiliza típicamente en una sola frecuencia. El efecto multi-resonante de la antena tipo E se debe al flujo de corriente alrededor de la antena al incorporar las ranuras, esto permite que también funcione a una frecuencia más baja. El ancho de la longitud del parche permite que la impedancia de entrada de la antena se mantenga acoplada [Gianvittorio, 2002]. Para obtener la antena de parche tipo E, la forma del parche rectangular se altera para operar en las frecuencias deseadas, esto se logra haciendo defectos en el parche tales como las ranuras y modificando la línea de alimentación [Werner, 2003]. La antena tipo E con diversos defectos permite

controlar o modificar algunos de sus parámetros, uno de estos defectos se logra aplicando la geometría fractal. En este trabajo, la optimización del funcionamiento de la antena fractal tipo E se realiza utilizando simulación por computadora.

3. Resultados

Resultados de la Simulación de la Antena Tipo E

Se utiliza el paquete computacional HFSS de ANSY para la simulación de la estructura de la antena fractal tipo E. HFSS es un programa que permite elegir entre varios tipos de métodos para realizar un análisis de gran precisión. Se simula la antena con las dimensiones obtenidas por el método simplificado descrito en la sección anterior. Posteriormente, se ajustan los parámetros de diseño para optimizar su respuesta en la banda de frecuencia deseada [Skrivervik, 2001]. En todas las simulaciones, la impedancia de entrada de las antenas se encuentra acoplada en la frecuencia de resonancia (donde se obtienen las menores pérdidas por retorno) a un valor aproximado de $R=50$ ohms para la parte real y cero ohms para la parte imaginaria. La estructura de la antena de parche fractal tipo E de una iteración simulada se ilustra en la figura 1.

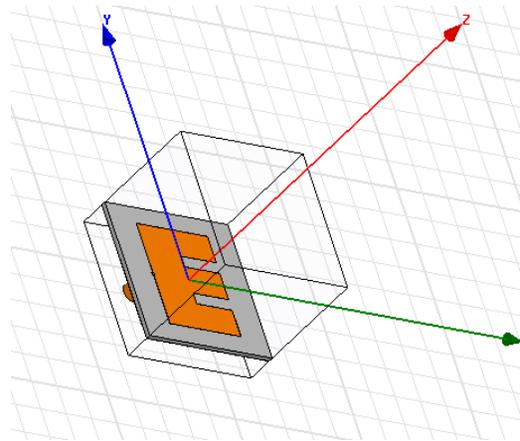


Figura 1 Antena tipo E simulada.

En la figura 2 se presenta la respuesta en frecuencia de la antena fractal de una iteración, en donde se puede apreciar el ancho de banda de acoplamiento (el cual es de 80 MHz), el cual nos garantiza que la antena trabaje bien para la banda de

2.4 GHz con el estándar IEEE 802.11b para los 11 canales asignados en el Continente Americano. La frecuencia de resonancia resultó ser de 2.439 GHz con pérdidas por retorno de -43.19 dB.

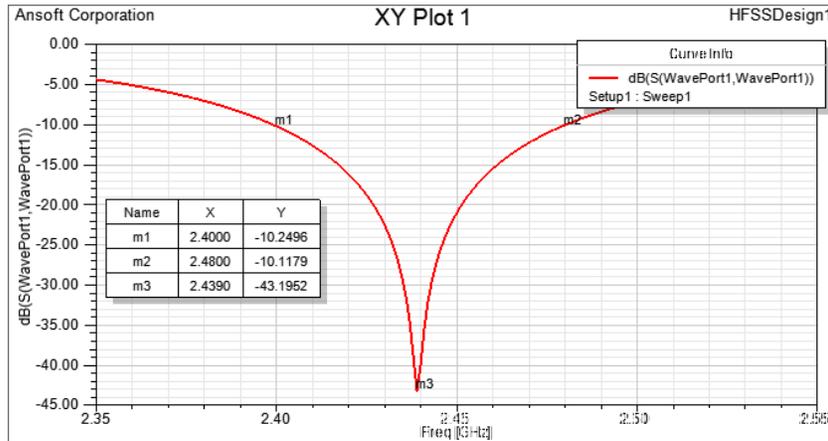


Figura 2 Simulación de la respuesta en frecuencia de la antena tipo E.

La figura 3 muestra el patrón de radiación de la simulación de la antena de parche tipo E de una iteración. En esta figura se puede observar que el patrón de radiación de la antena, tiene un ancho del haz amplio que le permite operar en la banda libre de 2.4 GHz y presenta una ganancia de 2.65 dB en la dirección de máxima radiación.

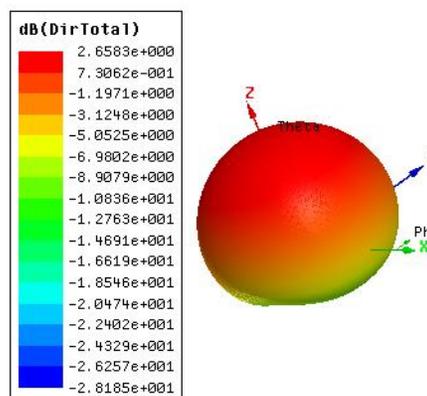


Figura 3 Patrón de radiación simulado de la antena fractal tipo E de una iteración.

A continuación, se presentan los resultados de la simulación en HFSS de la antena fractal tipo E de dos iteraciones para determinar las ventajas que se

consiguen. La estructura electromagnética de la antena de parche basada en la geometría fractal tipo E de dos iteraciones se muestra en la figura 4.

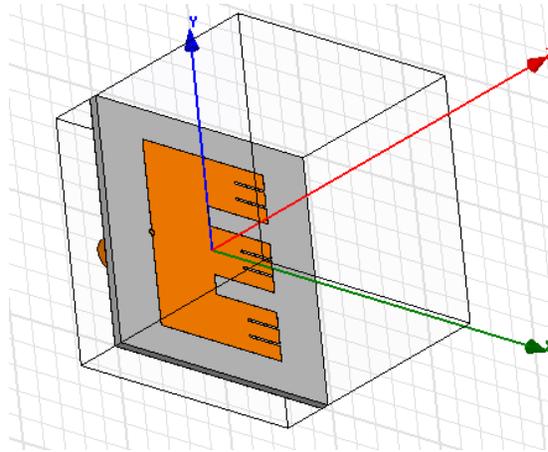


Figura 4 Antena de parche fractal tipo E de dos iteraciones simulada.

En la figura 5 se presenta la respuesta en frecuencia de la antena fractal tipo E de dos iteraciones. En ésta figura se observa un ancho de acoplamiento de 74 MHz, el cual comprende los 11 canales utilizados en el Continente Americano definidos en el estándar IEEE 802.11b. También se observa que la antena presenta una frecuencia de resonancia de 2.436 GHz con pérdidas por retorno de -49.23 dB.

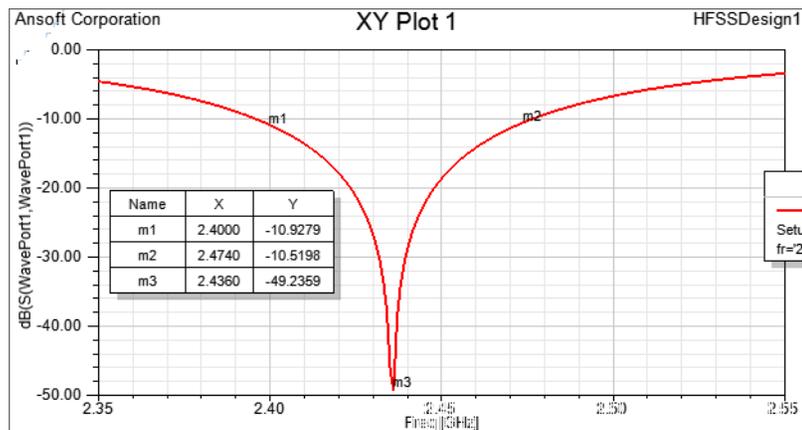


Figura 5 Respuesta en frecuencia de la antena fractal tipo E de dos iteraciones.

La figura 6 muestra el patrón de radiación, obtenido por simulación, de la antena de parche fractal tipo E de dos iteraciones. En esta figura se muestra que el haz

se encuentra en la parte superior del parche, también se observa un patrón de radiación con ancho de haz amplio, idóneo para aplicaciones inalámbricas. Un inconveniente de esta antena es su ganancia, la cual tiene un valor de 0.345 dB en la dirección de máxima radiación, por lo que se deben de realizar acciones para mejorar su desempeño en este aspecto. Por ejemplo, se pueden introducir defectos en el plano de tierra o utilizar un doble sustrato para mejorar el desempeño de la antena en su ganancia directiva [Werner, 2003].

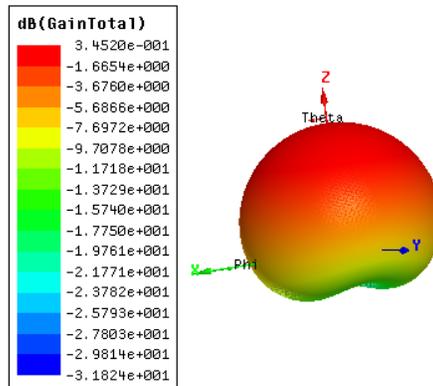


Figura 6 Patrón de radiación simulado de antena de parche fractal tipo E dos iteraciones.

En la tabla 1 se comparan los resultados de las simulaciones de las antenas de parche rectangular y de las antenas fractales tipo E, se observa que éstas últimas tienen un mejor desempeño en cuanto a pérdidas por retorno.

Tabla 1 Resultados de simulación de las antenas de parche analizadas.

Tipo de antena	Intervalo de acoplamiento (GHz)	Frecuencia de resonancia (GHz)	Pérdidas por retorno (dB)	Impedancia característica (Ohms)	Ancho de banda (MHz)
Rectangular	2.401 – 2.489	2.445	-27.5	$0.969R + j0.07$	88
Tipo E	2.400 – 2.48	2.439	-43.1	$1.00R - j0.12$	80
Tipo E fractal	2.400 – 2.474	2.436	-49.2	$0.942R - j0.008$	74

Resultados Experimentales de la Antena Fractal Tipo E

Para la caracterización de la antena construida (antena de parche fractal tipo E de dos iteraciones) se utilizó el analizador de redes “FieldFox”, con el cual se

midió la frecuencia de resonancia, las pérdidas por retorno y su impedancia característica. Además, se utilizó el equipo para medir parámetros de antenas en conjunto con el software “RFXpert” y el analizador de redes para medir el patrón de radiación, ancho del haz y ganancia en potencia de la antena bajo estudio. En la figura 7 se presenta el sistema de medición, el cual incluye los equipos utilizados y la antena bajo estudio.

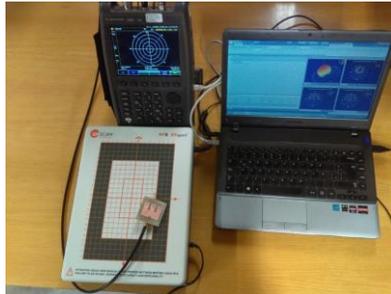


Figura 7 Sistema experimental para caracterizar antena de parche fractal dos iteraciones.

En la figura 8 se observa la respuesta en frecuencia (pérdidas por retorno) de la antena fractal tipo E de dos iteraciones. El ancho de banda de acoplamiento experimental resultó ser de 100 MHz, el cual comprende el intervalo de frecuencias de 2.56 GHz hasta 2.66 GHz con un acoplamiento máximo en 2.62 GHz, donde se obtuvieron pérdidas por retorno de -16.52 dB.



Figura 8 Pérdidas por retorno de la antena de parche fractal tipo E de dos iteraciones.

En la figura 9 se muestra la impedancia de entrada (compleja) en función de la frecuencia de la antena fractal tipo E de dos iteraciones. Observe que, en la

frecuencia con mayor acoplamiento, la impedancia de entrada resultó ser de $(21.1 + j10.0)$ ohms. Esto indica que es necesario construir un acoplador de impedancia para mejorar la respuesta de la antena (trabajo de investigación a futuro).



Figura 9 Impedancia de entrada de antena de parche fractal tipo E dos iteraciones.

La figura 10 muestra el patrón de radiación experimental de la antena de parche fractal tipo E de dos iteraciones. En ésta figura se observa que el haz se concentra sobre el parche y tiene un ancho de haz amplio, además, se observa que la ganancia en potencia experimental es mejor (9.66 dBi). Estas características indican que la antena de parche fractal tipo E es una opción para ser utilizada en aplicaciones inalámbricas y de radio móvil localizadas en la banda de los 2.4 GHz.

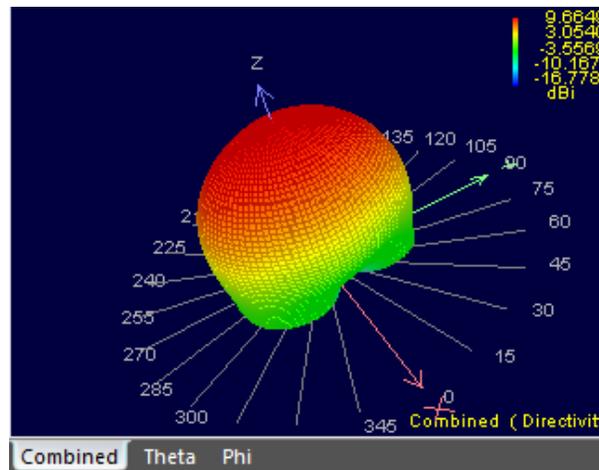


Figura 10 Patrón de radiación experimental de antena fractal tipo E de iteraciones.

4. Discusión

A partir del análisis y la comparación entre las antenas de parche rectangular, su modificación como antena fractal tipo E de una y dos iteraciones, se decidió construir y analizar experimentalmente las características de la antena fractal tipo E de dos iteraciones. Los resultados de simulación permitieron adaptar el funcionamiento de ésta antena al estándar IEEE 802.11b, el cual es uno de los más utilizados en la actualidad. Mediante simulación por computadora se encontró que, comparada con la antena de parche rectangular, posee mayores pérdidas por retorno y un ancho de banda de acoplamiento ligeramente menor; no obstante, cumple con el ancho de banda requerido para redes inalámbricas de área local que operan en la banda de 2.4 GHz. Una vez que los resultados de simulación fueron satisfactorios se procedió a construir esta antena. Mediante las ecuaciones del modelo simplificado se obtuvieron dimensiones para $w = 37.33 \text{ mm}$ y $L = 28.90 \text{ mm}$, mientras que en la simulación para que la antena cumpla con el estándar IEEE 802.11b, las dimensiones obtenidas tienen los siguientes valores: $w=35.79 \text{ mm}$ y $L = 27.68 \text{ mm}$. Los resultados experimentales muestran que la antena opera en un intervalo de frecuencias mayor al de la simulación, esta diferencia se debe a errores en las dimensiones físicas de la antena al momento de fabricar el prototipo. Además, el modelo experimental presentó una impedancia de entrada diferente de la esperada, por lo cual las pérdidas por retorno del prototipo experimental resultaron menores al del modelo simulado, sin embargo, el ancho de banda de su frecuencia de operación resultó ser mayor. Como trabajo a futuro se pretende utilizar técnicas de acoplamiento de impedancias, introducir defectos al plano de tierra y utilizar doble dieléctrico para mejorar el desempeño de la antena de parche con geometría fractal tipo E. El uso de estas técnicas permite que la antena opere en múltiples bandas de frecuencia (2.4 GHz y 5.8 GHz para aplicaciones basadas en el estándar 802.11 a/b/g).

5. Conclusiones

Tomando como base la metodología de análisis matemático para diseñar antenas de parche rectangular y el uso del simulador para estructuras

electromagnéticas de alta frecuencia (HFSS), se determinaron las dimensiones físicas para construir una antena de parche basada en la geometría fractal tipo E de dos iteraciones para operar en la banda sin licencia de los 2.4 GHz. La caracterización del prototipo de la antena construida se realizó utilizando el analizador de redes "FieldFox" en conjunto con el equipo para medir parámetros de antenas "EMSCAN" y el software "RFExpert". Se observó que, comparada con la antena rectangular, la antena fractal tipo E de dos iteraciones tiene un ancho de banda ligeramente menor, el cual se compensa con pérdidas por retorno mayores. En particular, el ancho de banda de acoplamiento experimental resultó ser de 100 MHz, con un acoplamiento máximo en 2.62 GHz, donde se obtuvieron pérdidas por retorno de -16.52 dB. El prototipo construido presenta un patrón de radiación con ancho de haz amplio, idóneo para aplicaciones inalámbricas, y una ganancia en potencia de 9.66 dBi. Los resultados tanto de simulación como experimentales dan evidencia de que es factible utilizar la antena de microcinta fractal tipo E para aplicaciones inalámbricas en la banda de los 2.4 GHz.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Asghar Abbas Razzaqi. Wideband E-Shaped Antenna Design for WLAN Applications, IEEE 9th International Conference on Emerging Technologies (ICET). pp. 1-6, 2013.
- [2] Balanis A. Constantine, Antenna theory analysis and design. Wiley. New York, 1982.
- [3] Bayatmaku N., Lotfi P., Azarmanesh M., and Soltani S., Design of simple multiband patch antenna for mobile communication applications using new E-shape fractal, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 10, 2011.
- [4] Gianvittorio J. P., and R.-Samii Y., Fractal Antennas: A novel antenna miniaturization technique, and applications, IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 44, no. 1, pp. 20-36, February 2002.
- [5] González Rangel I. R., Hernandez-Valdez G., Andrade-Gonzalez E. A., Reyes Ayala M., Miranda-Tello J. R., and Serrano Chávez J., Relationship

- among resonant frequencies of Sierpinski multiband fractal antennas, The 2016 International Conference Applied Mathematics, Computational Science and Systems Engineering (AMCSE 2016), November de 2016.
- [6] Khan M. U., Sharawi M. S., Mittra R., Microstrip patch antenna miniaturization techniques: a review, *IET Microwave, Antennas & Propagation*, Vol. 9, No. 9, pp. 913-922, 2015.
- [7] Navukarasu G. J., Design of an E Shaped Patch Antenna for GPS and IRNSS Application, *International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)*, pp. 179-183, 2016.
- [8] Skrivervik A. K., Zurcher J.-F., Staub O., and Mosig J. R., PCS Antenna Design: The Challenge of Miniaturization, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 43, no. 4, pp. 12-26, August 2001.
- [9] Werner D. H., and Ganguly S., An overview of fractal antenna engineering research, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 45, no. 1, pp. 12-26, pp. 38-57, February 2003.
- [10] Zakir A., E-Shaped Microstrip Antenna on Rogers Substrate for WLAN Applications, *International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks*, pp. 342-345, 2011.