

Antena dual para aplicaciones en WLAN basada en un arreglo acoplado por microtira

Dual antenna for WLAN based on an array
coupled by microstrips

Margarita Tecpoyotl Torres,^{1*} José Gerardo Vera-Dimas,¹
Jorge A. Damián-Morales,¹ César L. Ordoñez-Romero²

¹ Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
Av. Universidad 1001, Chamilpa, CP 62210, Cuernavaca, Morelos, México.

² Solid State Department, Physics Institute, Universidad Nacional Autónoma de México,
Circuito de Investigación Científica, Ciudad Universitaria, 04510 México DF, México.

* Correo-e: tecpoyotl@uaem.mx

PALABRAS CLAVE:

arreglos de antenas, polarización lineal, alimentación por cable coaxial, teléfono inalámbrico.

RESUMEN

En este trabajo se diseñó e implementó un arreglo de antenas con acoplamiento por microtira, con base en dos antenas rectangulares con cortes en las esquinas, diseñadas para operar a 2.4 GHz y a 5.8 GHz, dos rangos de frecuencia considerados entre los principales para aplicaciones de red de área local (LAN). De acuerdo con los resultados obtenidos en las simulaciones, la ganancia obtenida a 2.4 GHz es conveniente para interiores. En las pruebas prácticas se mostró que la influencia de la arquitectura, así como la posición de las antenas, es determinante en la recepción de la señal. Al comparar el desempeño de los prototipos con el de la antena comercial del ruteador utilizado, se obtuvieron mejoras en la recepción en la mayoría de los lugares analizados en el edificio de CIICAp. Además, el arreglo fue probado como antena de reemplazo en un teléfono inalámbrico, logrando un alcance de hasta 70 m en línea de mira. Las tolerancias del proceso de fabricación producen pequeños desfases en las frecuencias de resonancia, mismos que pueden apreciarse en las pruebas de transmisión-recepción.

KEYWORDS:

antenna arrays, linear polarization, coaxial cable feeding, wireless phone.

ABSTRACT

In this work, an antenna array coupled by microstrip was designed and implemented. The array was based on two rectangular antennas with cuts on their corners, designed to operate at 2.4 GHz and 5.8 GHz. These are two of the major frequency ranges for local area network (LAN) applications. According to the simulation results, the gain value at 2.4 GHz makes the array suitable for indoor use. Practical tests showed that building architecture, as well as antenna orientation, was a determinant factor in signal reception. When comparing the performance of the antenna array prototypes with that of the commercial antenna from the router used, improvements were obtained in reception at most of the analyzed sites in CIICAp building. In addition, the array was tested as a replacement antenna in a cordless phone, achieving a range of up to 70 m in line of sight. Tolerance in the manufacturing process produces small differences in resonance frequencies, as can be observed in the transmission-reception tests.

1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Ante los problemas de recepción de la señal de Wi-Fi que enfrenta CIICAp, debido a sus características arquitectónicas, así como al hecho de que parte de sus laboratorios se encuentren en construcciones adyacentes al edificio principal, se desarrolla el diseño de mejoras para las antenas con acoplamiento mixto para aplicaciones en interiores, con la finalidad de proveer de señal de Wi-Fi al edificio principal con base en una



Figura 1. Edificio del CIICAp
a) fachada
b) interior desde el extremo derecho
c) desde el extremo izquierdo de la fachada

antena individual de bajo perfil, creada para los requerimientos del ruteador utilizado [1].

El edificio principal consta de 4 niveles (figura 1); en el más bajo se encuentra la biblioteca; seguido por el nivel en el que se encuentra el laboratorio de Microondas; posteriormente, el nivel en el que se ubican los cubículos de profesores y algunas aulas de clase, en este mismo nivel está el ruteador. Finalmente, en el último nivel se localizan: la dirección, cubículos de profesores y un aula de clase. Cabe mencionar que, el auditorio se encuentra casi en el mismo nivel que el laboratorio, antes mencionado, de Microondas, pero del lado opuesto. La orografía de Cuernavaca, Morelos, permite una distribución poco homogénea en cuanto a niveles de construcción en un espacio relativamente pequeño, provocando distribuciones arquitectónicas irregulares.

El objetivo de este trabajo es explicar la creación de antenas de reemplazo eficientes para construcciones de varios niveles. Además, las alternativas propuestas son de bajo costo, dado que ellas son implementadas en Flame Retardant-4 (FR-4), de doble cara —material ampliamente usado en la fabricación de circuitos impresos.

El contenido de este trabajo se organiza como sigue: en la sección 2, se proporciona una introducción sobre las antenas de parche, y los arreglos basados en ellas útiles para esta aplicación; en la sección 3, se presentan las bases de diseño de antenas rectangulares individuales; en la sección 4, se muestra el diseño del arreglo de antenas. En la sección 5 se muestra el proceso de fabricación de los prototipos; mientras que en la sección 6, se presentan los resultados experimentales y prácticos, para éstos últimos, se utilizó tanto de un ruteador como de un teléfono inalámbrico.; finalmente, en la sección 7 se presentan las conclusiones de este trabajo.

2 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, hay una tendencia de desarrollo en sistemas de comunicación inalámbrica que exige el uso de antenas capaces de acceder a servicios en diversas bandas de frecuencia [2], en ocasiones, con el uso de una sola antena [3]. Especialmente, existe un interés considerable en el desarrollo de antenas de microtira duales, las cuales son útiles para operar en dos frecuencias distintas, que se encuentran demasiado separadas para una sola antena [4]. El diseño de las dos

antenas se ha realizado teniendo en cuenta diferentes técnicas como: el simple apilamiento de dos parches circulares y una pila de dos anillos anulares [5]. En la mayoría de las aplicaciones se requiere que el patrón de radiación, la polarización y la impedancia sean similares pero no idénticos en las bandas de frecuencia de operación. Un diseño de una antena plana dual con una antena dipolo para aplicaciones en WLAN se presenta en [6].

La alimentación del arreglo se analiza en [7], mostrándolo como uno de sus aspectos más complejos, ya que ocupa de un espacio considerable, radia señales espurias y consume potencia a partir de pérdidas óhmicas. Por acoplamiento parasítico, acoplando varios parches a un parche manejador, se menciona que es posible transferir algunas de las tareas de división de potencia de la red de alimentación a los elementos radiantes.

En este trabajo, se desarrolla el diseño de la antena dual basada en un arreglo de parches rectangulares (RMSAs, por sus siglas en inglés) con acoplamiento directo. Las frecuencias de diseño seleccionadas son consideradas entre las principales para aplicaciones de LAN inalámbricas [8]. El prototipo está compuesto por una antena diseñada para operar a 2,4 GHz y dos parches parásitos diseñados para operar a 5.8 GHz. Entre las ventajas de este arreglo se incluye bajo costo y fácil fabricación.

3 DISEÑO DE LAS ANTENAS INDIVIDUALES

Los parámetros a considerar para el diseño de una antena de parche rectangular son: frecuencia de operación (f_0); constante dieléctrica del substrato (ϵ_r), y altura, h (o grosor, t) del substrato. Con estos parámetros, las dimensiones del parche pueden ser calculadas usando las siguientes ecuaciones [9-10]. Para el ancho de la antena (W):

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

donde: c es la constante de la velocidad de la luz en el vacío, ϵ_r es la constante dieléctrica del substrato, f_0 la frecuencia de operación y W el ancho del parche. La constante dieléctrica efectiva se calcula usando:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 2 \frac{h}{W} \right)^{-1/2} \quad \text{si} \quad \frac{W}{h} > 1 \quad (2)$$

El largo efectivo es calculado con:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3)$$

Los dos incrementos del largo, los cuales son generados por los campos laterales, generan un largo eléctrico ligeramente más extenso que el largo físico del parche:

$$\Delta L = 0.412h \left(\left(\epsilon_{reff} + 0.3 \right) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right) \right) / \left(\left(\epsilon_{reff} - 0.258 \right) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right) \right) \quad (4)$$

El largo del parche es proporcionado por:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (5)$$

El largo y ancho del plano de tierra (y del substrato), L_g y W_g , es [9]:

$$L_g = 6h + L \quad \text{y} \quad W_g = 6h + W \quad (6)$$

En la figura 2 se muestra el diseño de la antena de parche rectangular. Las características básicas del diseño son: Frecuencia de operación, material: FR-4. con un grosor de 1.6 mm, permitividad dieléctrica igual a 4 y pérdidas tangenciales de 0.015.

La profundidad de los cortes en las esquinas es de 1/8 de la longitud de onda de grupo. Se utiliza alimentación: coaxial y polarización lineal.

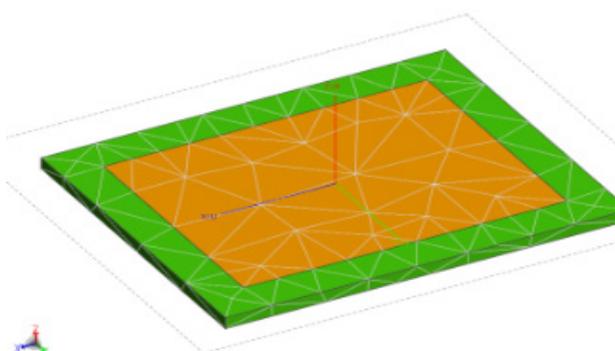


Figura 2. Antena de parche rectangular

Al diseño del parche rectangular, se le realizan algunos cambios en la geometría para mejorar su desempeño, en particular el valor de la ganancia, implementando pequeños cortes en sus 4 esquinas. El diseño con esta modificación se muestra en la figura

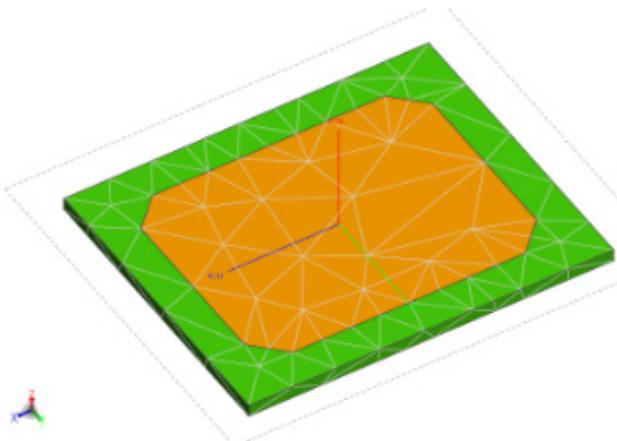


Figura 3. Antena de parche rectangular con cortes en las esquinas

3. Cada uno de los diseños de las antenas, con y sin cortes, se ajustó para obtener su frecuencia de operación, lo más cercanos a las frecuencias de operación ya establecidas.

4 DISEÑO DEL ARREGLO DE ANTENAS

Con el diseño de los parches individuales con cortes se intenta el arreglo de antenas de parche, el cual fue simulado en FEKO (figura 4). El área total del arreglo de antenas de parche es: $3.96 \times 8.3 \text{ cm}^2$. Usando 2.4 GHz y 5.8 GHz, como las frecuencias de operación y 1.6 mm como el ancho de las placas de FR-4. Se utilizó un ancho de microtira de 0.003 m, la longitud de onda de grupo dividida en 16 fue tomada como profundidad de corte. El punto de alimentación en la antena de 2.4 GHz fue ubicado en 0,-0.004 m y los puntos de corto circuito en las antenas de 5.8 GHz en -0.03038096,-0.004 m y 0.03038096,-0.004 m.

La ganancia del arreglo en las frecuencias de operación se muestra en la figura 5, mientras que las pérdidas de retorno del arreglo, se muestran en la figura 6.

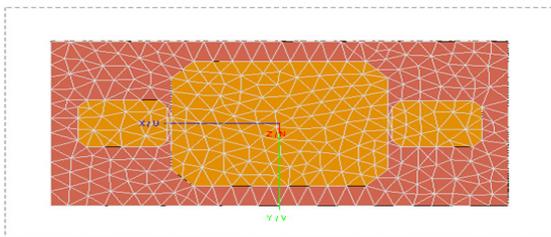


Figura 4. Arreglo de antenas rectangulares con cortes y con cortocircuitos en los parches secundarios

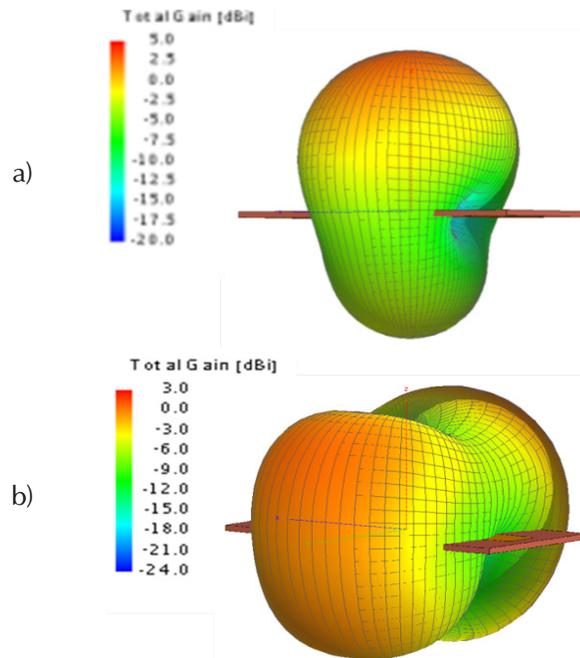


Figura 5. Ganancia
a) 2.36 GHz
b) 4.66 GHz

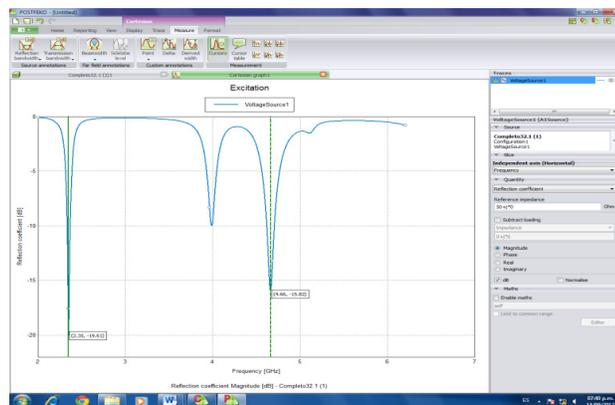


Figura 6. Pérdidas de retorno
a) 2.36 GHz (-19.61 dB)
b) 4.66 GHz (-15.82 dB)

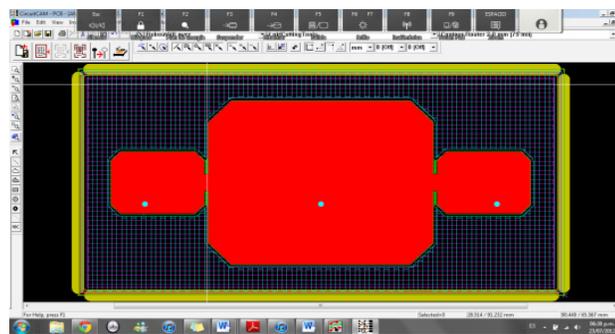


Figura 7. Antena generada en Circuit CAM

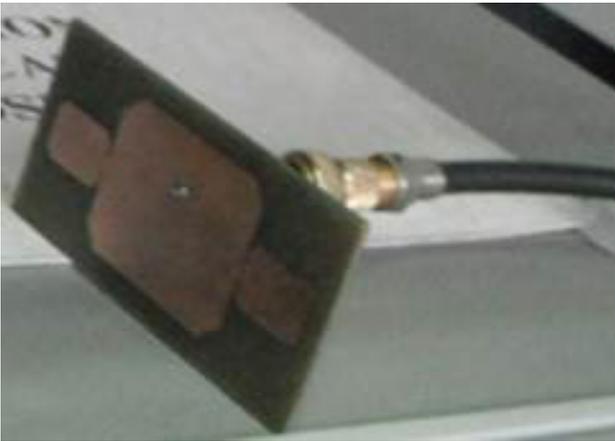


Figura 8. Prototipo del arreglo de parches con cortes y cortocircuitos en los parches secundarios

5 FABRICACIÓN DE LOS ARREGLOS DE ANTENAS

La fabricación de los prototipos se realizó con la ayuda de la máquina para fabricar prototipos de PCB (Placas de circuito impreso), ProtoMat S42. Además de utilizar un horno de inducción y una cámara de vacío para el proceso de realización de cortocircuitos. La geometría de la antena generada en Circuit CAM y uno de los prototipos fabricados se muestran en las figuras 7 y 8, respectivamente.

6 RESULTADOS

6.1 Pruebas experimentales

Para realizar las pruebas, se utilizó un generador de señales y un analizador de espectros (Agilent) y analizador de redes (Wiltron). Los resultados de las pruebas de los parámetros S11 y S21 se muestran en las figuras 9-11.

De las figuras 9 y 10 puede observarse que la respuesta en frecuencia coincide con los datos de la simulación, mostrando aún un pico muy cercano a 4.9 GHz, una frecuencia de amplia utilizada en aplicaciones inalámbricas de alta seguridad. De acuerdo a la figura 10, es posible obtener niveles de potencia aceptables a 5.8 GHz.

En la figura 11 se muestra que intercambiando la antena emisora y receptora, la respuesta es sumamente similar.

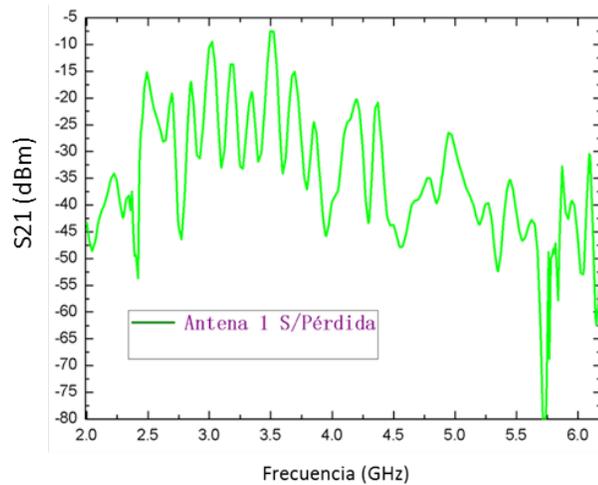


Figura 9. Parámetro S11 (Obtenido con el analizador de redes)

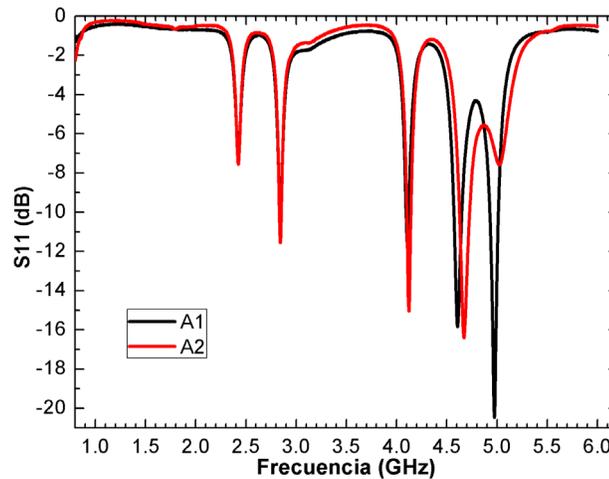


Figura 10. Parámetro S21 (obtenido con el generador de señales y el analizador de espectros)

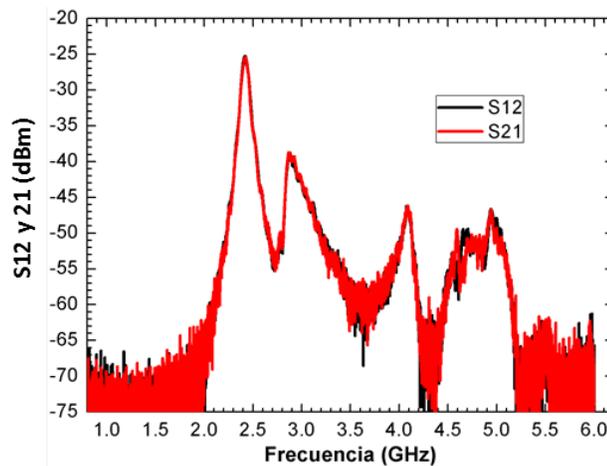


Figura 11. Parámetro S12 y S21 (obtenido con el analizador de redes)

6.2 Pruebas prácticas

Las pruebas prácticas se realizaron en el edificio principal del CIICAp, colocando el ruteador en la parte central del primer piso (con el fin de cubrir la mayor área posible).

En primer caso se utilizó al ruteador con sus antenas originales (figura 12), para obtener los datos de referencia. Posteriormente se sustituyeron las antenas originales por los prototipos fabricados (figura 13). Para este caso donde se pretendía observar la influencia de la forma del patrón de radiación, las antenas se montaron de tres maneras diferentes.

En la Tabla 1 se presenta la intensidad de la señal recibida con una laptop VAIO I5, en diferentes ubicaciones del edificio del CIICAp en las tres posiciones de los prototipos. Dado que la información proporcionada por las barras de intensidad obtenida directamente en el estado de la conexión en red, es que se utiliza el software Vistumbler V10.3 mediante el cual se observa tanto el estado de la señal como el porcentaje de recepción, entre otros datos de interés.

Tabla 1. Comparación en la intensidad de recepción entre los arreglos y la antena comercial

POSICIÓN	LUGAR	ANTENA PARCHE	ANTENA DIPOLO
1	Frente al router	100%	100%
	Aula 1	40%	50%
	Recepción	66%	68%
2	Frente al router	100%	100%
	Aula 1	42%	36%
	Recepción	62%	64%
3	Frente al router	100%	100%
	Aula 1	26%	34%
	Recepción	60%	54%

Como puede observarse en la tabla 1, los niveles de recepción son similares en algunos casos, mientras que en otros la intensidad de recepción es mayor con la antena original. Cabe señalar que, con nuestros prototipos, se obtuvo mayor estabilidad de la señal en todos los casos, así puede apreciarse en los casos mostrados en la figura 14.



Figura 12. Ruteador con sus antenas originales

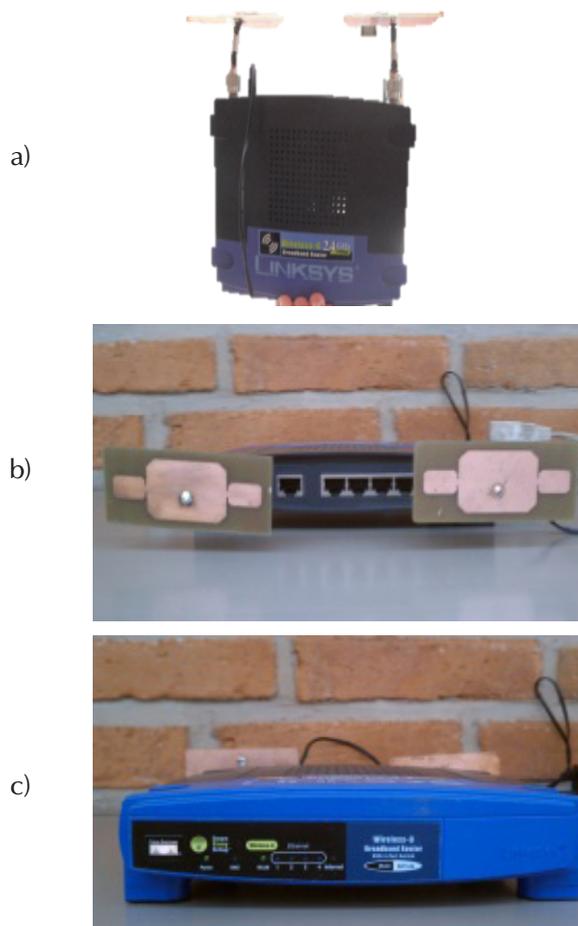


Figura 13. Ruteador con los prototipos de arreglos de antenas en posición: a) 1, b) 2, c) 3



Figura 14. Intensidad de recepción. Lobby posición 2
 a) antena de parche
 b) antena dipolo original

Además, como antena de reemplazo para un teléfono inalámbrico que opera a 5.8 GHz, se obtuvo un alcance de hasta 70 m en línea de mira con su aparato emisor y utilizando la antena de parche (figuras 15 a y b), mientras que con su antena original el alcance bajo las mismas condiciones fue de 62 m. En el estacionamiento de CIICAp se obtuvo una lectura de señal en 63 m, mientras que con la antena original fue de 53 m (figura 15 c y d). Además, esto bajo lluvia ligera. Cabe mencionar que la cantidad de árboles y zonas construidas es mayor.

El emisor estuvo siempre colocado en el laboratorio de Microondas, ubicado a un par de metros atrás desde el punto en que fue tomada la fotografía mostrada en la figura 16, donde puede apreciarse el señalamiento de Biotecnología de UNAM.

7 CONCLUSIONES

Las pruebas experimentales mostraron que se obtienen dos bandas de operación justo como se esperaba; a pesar de que la segunda frecuencia de operación no es tan cercana como se deseaba a 5.8 GHz, en la práctica se logró la recepción de señal a esta frecuencia, con una intensidad mayor a la lograda con la antena original del teléfono con el que se probaron. En el caso de 2.4 GHz, no se obtuvo la mayor intensidad de la señal en todos los casos, pero sí la más estable, de acuerdo a lo mostrado por Vistumbler V. 10.3.

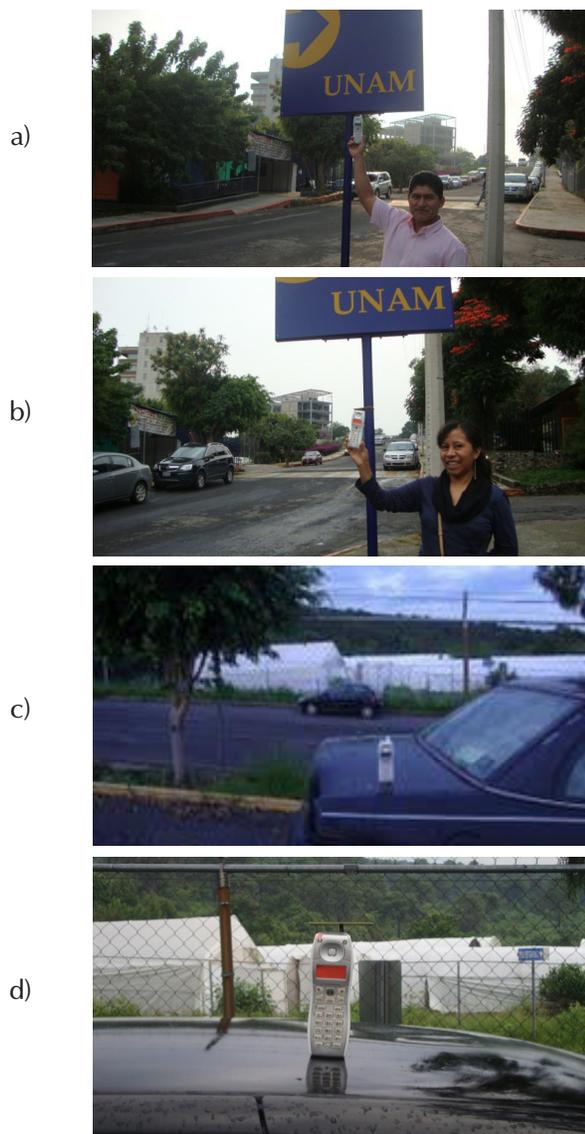


Figura 15. Recepción fuera de CIICAp, en el señalamiento de Biotecnología de la UNAM
 a) con antena original
 b) con el arreglo de antenas. Recepción en el área más alejada del estacionamiento
 c) antena original
 d) con el arreglo de antenas

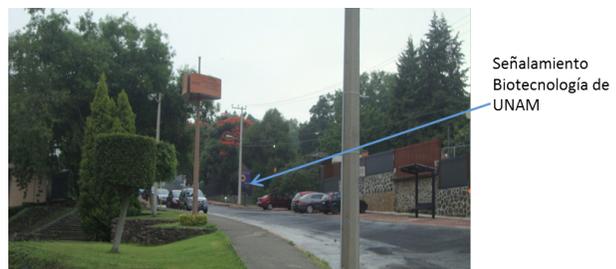


Figura 16. Señalamiento de referencia de medición

Por ello, se sugiere generar un nuevo diseño en base a este arreglo para lograr establecer la segunda frecuencia de operación de una manera más precisa.

Es deseable que los prototipos cuenten con una carcasa protectora para protegerlos del deterioro provocado por el medio ambiente (humedad principalmente).

Los ligeros corrimientos en frecuencia con respecto a los resultados simulados son causados principalmente por los efectos de acoplamiento de impedancia y por las tolerancias de manufactura.

El bajo costo del arreglo de antenas y su tamaño, hacen de ésta una buena opción para implementar una antena dual a estas dos frecuencias de uso común.

AGRADECIMIENTOS

J. G. Vera-Dimas y J. A. Damián Morales agradecen el apoyo de Conacyt por la beca para realizar estudios de doctorado 270210/ 219230 y 336781/235572, respectivamente.

REFERENCIAS

1. M. Tecpoyotl-Torres, J. G. Vera-Dimas, S. V. Kosheva. (2008) "Prototype patch antenna for Wi-Fi Communications". *Proceedings of Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, CERMA 08*. Cuernavaca, Mor. Octubre, pp. 20-23. ISBN-13: 978-0-7695-3320. IEEE Computer Society.
2. B. R. Piper and M. E. Bialkowski. (2004) "Electromagnetic Modeling of conformal wideband and multi-band patch antennas by bridging a solid-object modeler with MoM software", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. Vol. 46, No. 5, pp. 42-52. October.
3. Ansoft. (2009) Webinar: Antenna Design and Platform Integration Analyses Using HFSS. <http://www.ansoft.com/news/mailler/090813/index.html?src=mailler090813>. October.
4. P.J.B. Clarricoats, Y. Rahmat-Samii and J. R. Wait. (1989) *Handbook of microstrip antennas*. Vol. 1. Edited by J. R. James & P. S. Hall. Peter Peregrinus Ltd.
5. J. S. Dahele, K. F. Lee, and D. P. Wong. (1987) "Dual frequency stacked annular-ring microstrip antenna". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. Vol. 35, No. 11, pp. 1281-1285, November.
6. Chang won Jung and F. De Flaviis. (2004) "A dual-band antenna for WLAN applications by double rectangular patch with 4-bridges", *Antennas and Propagation Society International Symposium*. IEEE.
7. David M. Pozar and Daniel H- Shcaubert. (1995) *Microstrip antennas. The analysis and design of microstrip antennas and arrays*. IEEE Press. Chapter 6, pp. 269-273.
8. Kekun Chang, Guan-Yu Chen, Jwo-Shiun Sun, and Y. D. Chen. (2009) "WLAN and Bluetooth Antenna Design", *PIERS Proceedings*. Beijing, China, March 23-27.
9. Ramers H. Garg, *Microstrip* (2001) *Antenna Design Handbook*. Artech House, Norwood, MA.
10. Constantine A. Balanis, (2005) *Antenna Theory*. Wiley-Interscience, New Jersey.

Acerca de los autores



Margarita Tecpoyotl Torres recibió el grado de Licenciatura en Matemáticas (1991) y se graduó en la licenciatura en Electrónica (1994) por parte de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), México. La Maestría y el Doctorado en Electrónica los obtuvo por parte del INAOE, México, en 1997 y 1999, respectivamente. La Dra. Tecpoyotl trabaja, desde 1999, en CIICAp, de la UAEM donde es actualmente profesor titular. Sus líneas de investigación incluyen: MEMS, diseño de antenas, y dispositivos de microondas. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) desde 1999



José Gerardo Vera Dimas es ingeniero electrónico graduado del Tecnológico de Morelia. Miembro SPIE desde Agosto del 2010. Recibió el reconocimiento "EGRETEC 2009" por parte de la Asociación de Egresados del Instituto Tecnológico de Morelia. Recibió el grado de M.I.C.A. en Electrónica por la UAEM con mención honorífica. Actualmente estudia el Doctorado en el CIICAp de la UAEM. Además, de tener en revisión dos patentes.



Jorge A. Damián-Morales es originario de Villa Benito Juárez, Macuspana, Tabasco. Cursó la licenciatura en ingeniería Eléctrica y Electrónica por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (2008). Obtuvo la maestría en Ingeniería y Ciencias Aplicadas con opción terminal en Tecnología Eléctrica en la UAEM (2011). Actualmente es estudiante de doctorado en el CIICAp de la UAEM. Sus áreas de interés son diseño, simulación y fabricación de antenas de microtira.



César L. Ordoñez Romero es Ingeniero en Telecomunicaciones por la UNAM. Obtuvo sus posgrados en la Universidad de Colorado, Estados Unidos. Actualmente trabaja como Investigador Asociado en el Instituto de Física de la UNAM. Sus líneas de investigación son: Dinámica de magnetización lineal y no lineal, Fotónica de Microondas, y Materiales Luminiscentes y Espectrometría.