

Recibido: 4 de octubre del 2011 Aceptado: 25 de enero del 2012
Publicado en línea: 14 de junio del 2012

Comparación de Arreglos de Antenas de Parche para Wi-Fi con acoplamiento mixto como antenas de reemplazo

José Gerardo Vera Dimas[✉] y Margarita Tecpoyotl Torres*

Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, (CIICAp), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), 62209, Av. Universidad No. 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Mor., México
{gvera, tecpoyotl}@uaem.mx

Resumen. En este trabajo se diseñan e implementan dos arreglos de antenas con acoplamiento mixto (capacitivo y por microtira), en base a una antena rectangular con cortes en sus esquinas diseñada para 2.4 GHz. En uno de los arreglos se implementan cortocircuitos en los parches parásitos.

De los resultados de la simulación, se observa que en el arreglo con cortocircuitos se incrementa el valor de la ganancia, mientras que en la otra antena se tiene un patrón de radiación más disperso.

En las pruebas prácticas, se muestra claramente que la influencia de la distribución arquitectónica del edificio de CIICAp es determinante en la recepción de la señal de Wi-Fi, así como de la posición en la que se colocan las antenas. De estas pruebas puede concluirse que la antena con cortocircuitos muestra un desempeño ligeramente mayor.

Comparando el desempeño de los prototipos con respecto a la antena comercial del ruteador utilizado, se obtienen mejoras en la recepción en la mayoría de lugares analizados en el edificio de CIICAp utilizando a los arreglos de antenas con cortocircuitos.

Palabras clave: Arreglos de antenas, polarización lineal, corto circuitos, alimentación por cable coaxial.

Abstract. In this paper, two antenna arrays with mixed connection (capacitive and with microstrip lines) are designed and implemented, on the base of a rectangular antenna with cuts in its corners; designed at 2.4 GHz. In one of the arrays, there was also implemented a shorting pin in each parasitic patch.

From simulation results, it is observed that in the array with shorting pins the gain value is increased, while the other antenna shows a more disperse radiation pattern.

In the practical tests, it is clearly observed the influence of the architectonic distribution of the CIICAp building in the Wi-Fi signal reception, as well as the antennas location. From these tests, it can be concluded that the antenna array with shorting pins also shows a lightly better performance. The comparison among the antenna arrays and the commercial antennas of the router demonstrated improvements in the reception in almost all analyzed places in the CIICAp building when the prototypes with shorting pins are used.

Keywords: Antenna arrays, linear polarization, shorting pin, coaxial cable feeding.

1 Descripción del problema

Ante los problemas de recepción de la señal de Wi-Fi que enfrenta CIICAp, dadas sus características arquitectónicas, así como el hecho de que parte de sus laboratorios se encuentran en construcciones adyacentes al edificio principal, se diseñan arreglos de antenas con acoplamiento mixto para aplicaciones en interiores, con la finalidad de proveer de señal de Wi-Fi al edificio principal en base a una antena individual de bajo perfil, diseñada para los requerimientos del ruteador utilizado [1].

El edificio principal consta de 4 niveles (vea Figura 1), siendo el más bajo en el que se encuentra la biblioteca, seguido por el nivel en el que se encuentra el laboratorio de Microondas, posteriormente sigue el nivel en el que se encuentran los cubículos de profesores y algunas aulas de clase, en este mismo nivel se encuentra el ruteador. Finalmente en el último nivel se encuentran: la dirección, cubículos de profesores y un aula de clase. Al auditorio se encuentra casi en el mismo nivel que el laboratorio de Microondas, pero en lados opuestos. La orografía de Cuernavaca, Morelos, permite una distribución no homogénea en cuanto a niveles de construcción en un espacio relativamente pequeño, permitiendo distribuciones arquitectónicas irregulares.

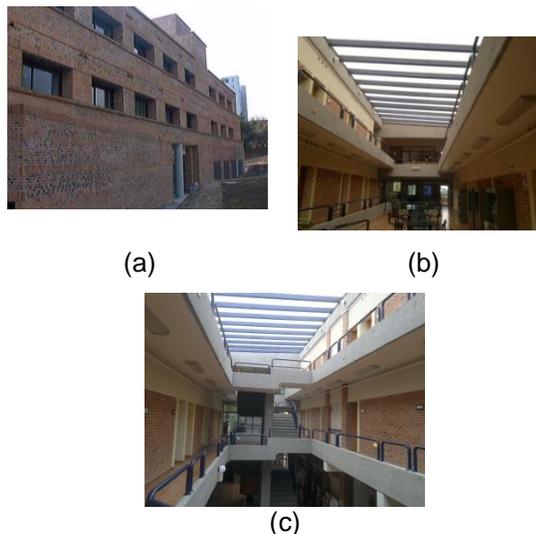


Fig. 1. CIICAp (a) fachada, (b) interior desde el extremo derecho y (c) desde el extremo izquierdo de la fachada, respectivamente.

El objetivo de este trabajo es proporcionar antenas de reemplazo eficientes para construcciones de varios niveles, por lo que no solamente se presentan las simulaciones correspondientes, sino además la fabricación y pruebas de las mismas. Además, las alternativas propuestas son de bajo costo, dado que ellas son implementadas en FR-4 (Flame Retardant-4), de doble cara, material ampliamente usado en la fabricación de circuitos impresos.

El contenido de este trabajo se organiza como sigue. Los trabajos previos se muestran en la sección 2, mientras que en la sección 3, se proporciona una introducción sobre las antenas de parche, y los arreglos basados en ellas útiles para esta aplicación. En la sección 4, se presentan las bases de

diseño de antenas rectangulares individuales; en la sección 5, se muestran los criterios considerados para el diseño de los arreglos presentados. En la sección 6 se presenta una comparación a nivel simulación de los arreglos diseñados, en la sección 7 se muestra el proceso de fabricación de los prototipos, mientras que en la sección 8, se presenta la comparación práctica de desempeño de los prototipos desarrollados. Finalmente, en la sección 9 se presentan las conclusiones de este trabajo.

2 Trabajos previos

El prototipo individual fue diseñado para operar en la banda de 2.4 GHz, la cual es considerada entre los principales rangos para aplicaciones LAN inalámbricas [2]. Información amplia sobre configuraciones de antenas de microtira de banda ancha usando resonadores acoplados (COMA, COupled Microstrip Antenna) puede encontrarse en [3]. Los resonadores en estas configuraciones se acoplan unos a otros y, usualmente, solamente el central se conecta a una línea de alimentación. Los dos mecanismos ampliamente utilizados para llevar a cabo los arreglos son básicamente mediante acoplamiento capacitivo a través de los espaciamientos entre las orillas cercanas, o bien, mediante el empleo de secciones cortas de líneas de microtira para proporcionar el acoplamiento necesario.

3 Introducción

Información detallada sobre los requerimientos de los sistemas Wi-Fi, pueden encontrarse en [4], mientras que en [5], se comenta la necesidad de desarrollar antenas de reemplazo, lo cual involucra de la formación de recursos humanos, así como de contar con infraestructura necesaria para llevar a cabo la simulación, fabricación y pruebas de las mismas.

La alimentación del arreglo se analiza en [6], 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 parte de parte de las tareas de división de potencia de la red de alimentación a los elementos radiantes

4 Diseño de la Antena Individual

Los parámetros a considerar para el diseño de una antena de parche rectangular, la cual se muestra en la Figura 2, son: frecuencia de operación (f_0), constante dieléctrica del sustrato (ϵ_r) y altura, h (o grosor, t) del sustrato.

Fig. 2. Dimensiones de una antena de parche rectangular.

Con estos parámetros, las dimensiones del parche pueden ser calculadas usando las siguientes ecuaciones [7-9]. 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:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-1/2} \quad \text{si } \frac{W}{h} > 1 \quad (2)$$

El largo efectivo es calculado usando:

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

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:

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

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 [7]:

José Gerardo Vera Dimas, Margarita Tecpoyotl Torres

$$L_g = 6h + L \quad \text{y} \quad W_g = 6h + W \quad (6 \text{ y } 7)$$

En la Figura 3 se muestra el diseño de la antena de parche rectangular.

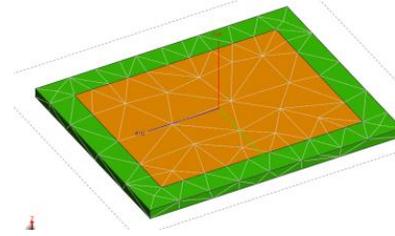


Fig. 3. Antena de parche rectangular.

Las características básicas del diseño son:

- Frecuencia de operación: 2.4 GHz.
- Material: FR-4, con un grosor de 1.5 mm, permitividad dieléctrica igual a 4 y pérdidas tangenciales de 0.015.
- Alimentación: coaxial.
- Dimensiones del parche: 3.01 x 3.88 cm².
- Polarización lineal.
- Profundidad del corte: 1/8 de la longitud de onda de grupo.

Al diseño del parche rectangular, se le realizan algunos cambios en la geometría para mejorar su desempeño, en particular, el valor de la ganancia. El cambio realizado fue implementar pequeños cortes en sus 4 esquinas. Los cortes se realizaron a razón de un octavo de longitud de onda de grupo de profundidad. El diseño con esta modificación se muestra en la Figura 4.

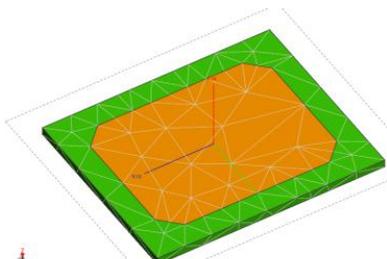


Fig. 4. Antena de parche rectangular con cortes en las esquinas.

Cada uno de los diseños de las antenas, con y sin cortes, se ajustó para obtener su frecuencia de operación en el rango de Wi-Fi. En la sección 6 se analiza el desempeño de estos dos diseños.

5 Diseño de los Arreglos de Antenas Rectangulares con Cortes

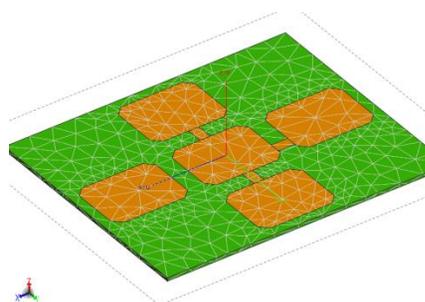
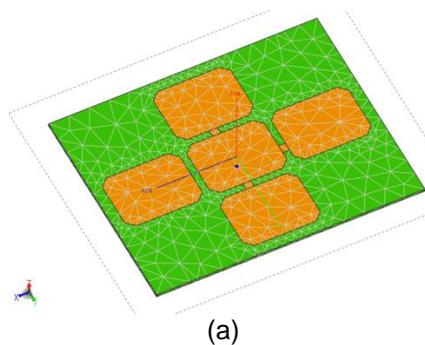
Con el diseño del parche individual con cortes se propone la realización de varios diseños de arreglos de antenas de parche. En la Tabla 1 se describen los 6 diseños, indicando el nombre con el que se van a referenciar y las características propias del diseño.

Tabla 1. Nombre de los arreglos rectangulares y su referencia.

Nombre del diseño basado en antena de parche rectangular con cortes	Referencia
Arreglo con longitud de microtiras de $\lambda_g/8$.	Arreglo Wi-Fi con cortes.
Arreglo con cortes en los parches	Arreglo Wi-Fi con cortes_cortos.

parasitos, y longitud de microtiras de $\lambda_g/8$.	
Arreglo con longitud de microtiras de $\lambda_g/8$ (buscando ganancia máxima).	Arreglo Wi-Fi con cortes_Ganancia.
Arreglo con longitud de microtiras de $\lambda_g/16$.	Arreglo Wi-Fi con cortes_V2.
Arreglo con cortes en los parches parasitos, y longitud de microtiras de $\lambda_g/16$.	Arreglo Wi-Fi con cortes_V2_cortos.
Arreglo con longitud de microtiras de $\lambda_g/16$ (buscando ganancia máxima).	Arreglo Wi-Fi con cortes_V2_Ganancia.

Los arreglos propuestos fueron implementados en el software CADFEKO. En la Figura 5 se muestran los diseños más representativos.



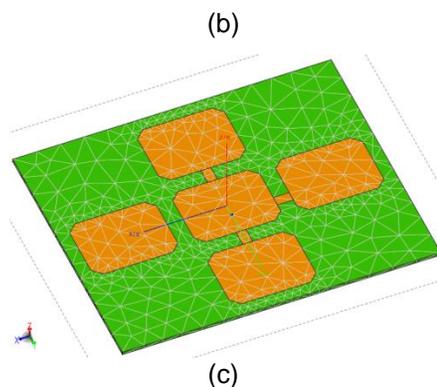


Fig. 5. (a) Arreglo con parches rectangulares con cortes, con una separación de $\lambda_g/16$; (b) arreglo con parches rectangulares con cortes, con una separación de $\lambda_g/8$; (c) arreglo con parches rectangulares con cortes, con una separación de $\lambda_g/8$, y cortocircuitos en los parches secundarios.

Con los diseños implementados en CADFEKO, se simuló su desempeño con RUNFEKO (parte de FEKO que se encarga de realizar el análisis matemático del modelo implementado en CADFEKO). En la siguiente sección, se realiza la comparación de los

datos arrojados por la simulación, y visualizado en POSTFEKO (aplicación con la cual se puede visualizar los datos obtenidos por RUNFEKO, tanto en 2D como en 3D).

6 Comparación a nivel simulación de los Arreglos y la Antena Individual

Una vez que se realizan los diseños tanto de las antenas individuales como de los arreglos de parches, lo siguiente es comparar su desempeño. Para lo cual se realizaron las simulaciones de cada uno de los diseños en el software FEKO.

En la Tabla 2, se presentan los diferentes diseños con sus picos en el campo eléctrico lejano y en el parámetro S11, el valor del pico en el parámetro S11 y el valor máximo de la ganancia.

Tabla 2. Parámetros de los diseños de las antenas individuales y los arreglos de parches.

Tipo	Picos en el Campo Eléctrico Lejano [GHz]	Picos en el parámetro S11 [GHz]	Valor del parámetro S11 [dB]*	Valor de la Ganancia [dB]*
Arreglo Wi-Fi con cortes	2.44 y 2.9	2.4 y 2.78	-26.1	-3.55
Arreglo Wi-Fi con cortes_cortos	2.17 y 2.47	2.14 y 2.43	-8.22	6.43
Arreglo Wi-Fi con cortes_Ganancia	2.35 y 2.6	2.25 y 2.55	-1.35	6.38
Arreglo Wi-Fi con cortes_V2	2.54 y 3	2.42 y 3	-20.2	-3.08
Arreglo Wi-Fi con cortes_V2_cortos	2.09 y 2.44	2.07 y 2.42	-5.81	6.21
Arreglo Wi-Fi con cortes_V2_Ganancia	2.14 y 2.47	2.07 y 2.43	-10.2	5.82

Antena Rectangular Wi-Fi con cortes	2.51	2.41	-24.7	3.36
Antena Rectangular Wi-Fi	2.54	2.41	-14.4	3.28

*(Rango Wi-Fi de 2.4 GHz a 2.47 GHz)

En la Tabla 2, se observa que la mayor ganancia se obtiene con el arreglo de nombre Arreglo Wi-Fi con cortes_cortes, con valor máximo de ganancia 6.43 dB, el cual es casi el doble de la antena rectangular individual (Antena Rectangular Wi-Fi, en la Tabla 2). Por lo que se procedió a observar su patrón de radiación en campo lejano (Figura 6).

Como se observa en la Figura 6, la ganancia máxima es de 6.43 dBi en su lóbulo principal (frontal), mientras que en su lóbulo secundario (posterior) es muy pequeña. Este arreglo cuenta con ancho de haz reducido, es decir, es directivo.

Por otro lado, el patrón de radiación del Arreglo Wi-Fi con cortes (Figura 7), permite observar un valor muy pequeño de ganancia, aunque con un valor del parámetro S11 adecuado para su operación en el rango de Wi-Fi.

En la Figura 7, se observa que el ancho de haz del arreglo es más amplio y no tiene un lóbulo principal de mayor ganancia que el secundario o secundarios. Por lo que, se trata de una antena no directiva.

Con ambos diseños se pretende distinguir de manera práctica al parámetro básico de diseño para esta aplicación: la ganancia o el

parámetro S11. Las pruebas que permiten tomar esta decisión se presentan en la sección 8.

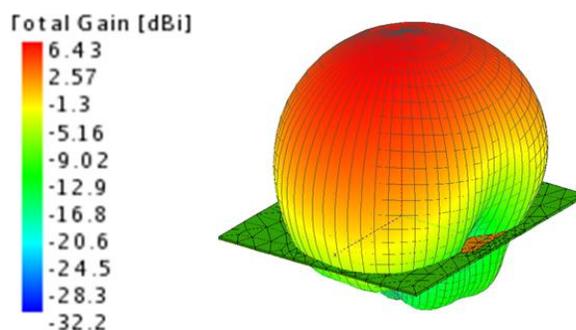


Fig. 6. Patrón de radiación de la ganancia (campo lejano) del Arreglo Wi-Fi con cortes_cortes.

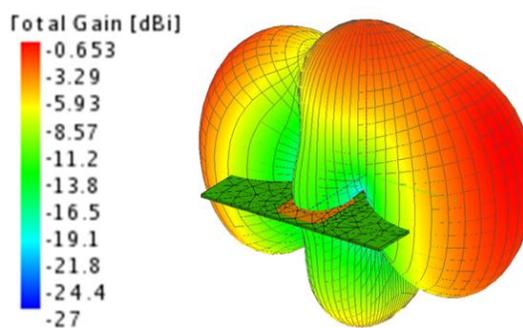


Fig. 7. Patrón de radiación de la ganancia (campo lejano) del Arreglo Wi-Fi con cortes.

7 Fabricación de los Arreglos

La fabricación de los prototipos se realizó con la ayuda de la máquina para fabricar prototipos de PCB (Placas de circuito impreso), ProtoMat S42 (Figura 8). Además

de utilizar un horno de inducción y una cámara de vacío para el proceso de realización de cortocircuitos (Figura 9).



Fig. 8.ProtoMat S42 del laboratorio de Microondas-CIICAp



(a)



(b)

Fig. 9. (a) Horno de inducción;
(b) mesa de vacío

Los prototipos fabricados se muestran en la Figuras 10.

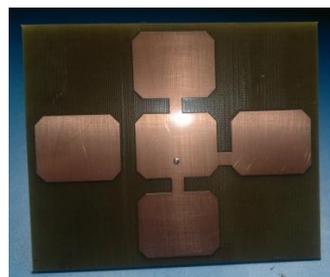


Fig. 9. Prototipo del arreglo de parches con cortes y cortocircuitos en los parches secundarios.

Los prototipos fueron realizados en FR-4, y posteriormente se les implementó a un conector tipo N invertido (Figura 11), para su utilización en el ruteador de Wi-Fi con el que se realizaron las pruebas.



(a)



(b)

Fig. 10. Prototipo del arreglo de parches con cortes, conector de tipo N invertido. Vista: (a) posterior y (b) frontal

Para la siguiente sección donde se presentan los resultados las antenas se referencian como

- Arreglo 1. Arreglo de parches rectangulares con cortes y con

cortocircuito en los parches secundarios.

- Arreglo 2. Arreglo de parches rectangulares con cortes.

8 Comparación práctica del desempeño de los arreglos como antenas de reemplazo

Las pruebas experimentales se realizaron en el edificio principal del CIICAp, colocando al ruteador en la parte central del primer piso (para tratar 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. Para este caso donde se pretendía observar la influencia de la forma del patrón de radiación, las antenas se montaron de dos maneras diferentes (como se muestra en la Figura 13).

En la Tabla 3 se presenta la intensidad de la señal recibida con una laptop HP Pavilion dv6, en diferentes ubicaciones del edificio del CIICAp en las dos posiciones de los prototipos (horizontal se referencia como posición 1, y vertical como posición 2).

Las ubicaciones consideradas son las siguientes:

- Laboratorios 1 y Microondas es en el centro de cómputo (nivel intermedio entre planta baja y primer piso).
- La dirección y salón 1 se encuentran en el segundo piso.
- Salón 2 y salón 3 se en el primer piso (nivel del ruteador).
- Por último, lobby y biblioteca se encuentran en planta baja



Fig. 11. Ruteador con sus antenas originales.

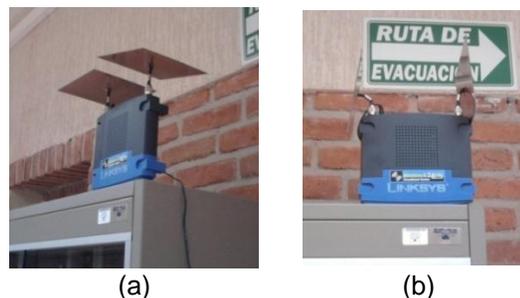


Fig. 12. Ruteador con los prototipos de arreglos. Posición: (a) horizontal y (b) vertical

Tabla 3. Comparación entre los arreglos y la antena comercial.

Ubicación	Arreglo 1*	Arreglo 2*	Comercial
Laboratorio 1	 (11)	 (21)	
	 (12)	 (22)	
Laboratorio Microondas	 (11)	 (21)	
	 (12)	 (22)	
Dirección	 (11)	 (21)	
	 (12)	 (22)	
Salón 1	 (11)	 (21)	
	 (12)	 (22)	
Salón 2	 (11)	 (21)	
	 (12)	 (22)	
Salón 3	 (11)	 (21)	
	 (12)	 (22)	
Lobby	 (11)	 (21)	
	 (12)	 (22)	
Biblioteca	 (11)	 (21)	
	 (12)	 (22)	

*(Arreglo, posición)

Se observa que las intensidades, tanto con la antena comercial como con los arreglos, son similares. Sin embargo, destaca una mayor intensidad de la señal en la mayoría de los casos con el arreglo 1 y la posición 2, es decir el arreglo de mayor ganancia diseñado. Se muestra además, que el comportamiento con el arreglo 2 es muy similar en ambas posiciones.

9 Conclusiones

La mejor respuesta para la antena individual y los arreglos de parches se logró con cortes de profundidad $\lambda g/8$. Para el arreglo con cortos, la longitud de las líneas de microtira también corresponde a ese valor. Aunque, la respuesta con longitudes de las microtiras de $\lambda g/16$ se comportan de manera similar con una ganancia ligeramente menor.

En la simulación se observa que el arreglo de antenas con cortos cuenta con un ancho de haz más angosto que el arreglo sin cortos. Lo que permite que en las pruebas experimentales se puedan direccionar para cubrir un área mayor o áreas con problemas de recepción de señal.

Las pruebas experimentales mostraron que el arreglo con cortos nos permite incrementar la intensidad de la señal en algunos casos donde la señal con la antena comercial es débil, dada su alta direccionalidad.

Además, la longitud del cable que une la antena con el conector puede ser incrementado. Lo cual permitiría separar más a los arreglos y cubrir un área mayor sin necesidad de mover el ruteador de su lugar. Pero, es necesario seleccionar el largo del cable adecuado para evitar pérdidas en el mismo.

Es deseable que los prototipos cuenten con una carcasa protectora para protegerlos

del deterioro provocado por el medio ambiente (humedad principalmente), con materiales que permitan mantener los costos de producción relativamente bajos, incrementando además, la posibilidad de direccionarlas de acuerdo a las necesidades del lugar.

Por último, tenemos que el arreglo con cortos mostró un buen desempeño dentro del edificio principal de CIICAp a un bajo costo de fabricación, lo que lo hace viable llevar a cabo para su comercialización.

10 Agradecimientos

J. G. Vera-Dimas agradece el apoyo de CONACYT por la beca para realizar estudios de doctorado 270210/ 219230.

11 Referencias

- [1] M. Tecpoyotl-Torres, J. G. Vera-Dimas, S. V. Koshevaya. Prototype patch antenna for Wi-Fi Communications. Proceedings of Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, CERMA 08. Cuernavaca, Mor. Octubre 2008. Pp. 20-23. ISBN-13: 978-0-7695-3320. IEEE Computer Society.
- [2] Kekun Chang, Guan-Yu Chen, Jwo-Shiun Sun, and Y. D. Chen. WLAN and Bluetooth Antenna Design. PIERS Proceedings, Beijing, China, March 23-27, 2009.
- [3] P. J. B. Clarricoats, Rahmat-Samií and J. R Wait. Handbook of microstrip antennas. Vol. 1. IEEE Electromagnetic Waves Series 28.1989.
- [4] J. G. Vera-Dimas, M. Tecpoyotl-Torres*, P. Vargas-Chable, J. A. Damián-Morales,

J. Escobedo-Alatorre and S. Koshevaya. Individual patch antenna and antenna patch array for Wi-Fi Communication. Programación Matemática y Software (2010) Volume 2, Número 1 /30 de Junio de 2010.

- [5] Dra. Margarita Tecpoyotl e Ing. José Gerardo Vera Dimas. Prototipos de antenas de parche para sistemas de comunicación inalámbrica. HYPATIA Revista seriada de Divulgación del Gobierno del Estado de Morelos. Número 33. Pag. 8-9. 2010.
- [6] David M. Pozar and Daniel H- Shcaubert. Microstrip antennas. The analysis and design of microstrip antennas and arrays. IEEE Press. 1995. Chapter 6. Pp. 269-273.
- [7] Ramers H. Garg, Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House, Norwood, MA, 2001.
- [8] Kai Chang, RF and Microwave Wireless Systems, John Wiley & Sons, New York, 2001.
- [9] Constantine A. Balanis, Antenna Theory, Wiley-Interscience, New Jersey 2005.



José Gerardo Vera Dimas

nació en Morelia, Michoacán, México, el 3 de Enero de 1984. Se graduó de Ingeniero Electrónico en el Instituto Tecnológico de Morelia, y de Maestro en Ingeniería y Ciencias Aplicadas con opción terminal en Tecnología Eléctrica en el Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Miembro IEEE y miembro del comité organizador de ROPEC en las ediciones VII y VIII. Recibió la condecoración "EGRETEC 2009" como Egresado Joven, por la Asociación de Egresados del Instituto Tecnológico de Morelia. Actualmente es estudiante de

doctorado en el CIICAp de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM).



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 Ciencias en Electrónica las obtuvo por parte del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica and Electrónica (INAOE), México, en 1997 y 1999, respectivamente. La Dra. Tecpoyotl trabaja desde 1999, en el Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp), de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), México, donde es actualmente profesor titular. Sus principales líneas de investigación incluyen MEMS, diseño de antenas, y dispositivos de microondas; además, de interesarse por el desarrollo de programas educativos. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores SNI, desde 1999.