

Diseño de dos antenas planas direccionales para aplicaciones wifi en las bandas de 2.4 y 5 GHZ

Design of two directional flat antennas for WiFi applications in the 2.4 and 5 GHZ bands

MSc. Pilar Prado Guillot^{1*}, Dr.C.T. Noslen Rojas Ramírez², Ing. Carlos A. Martínez Luis³, MSc. Pedro Manuel Perera Miniet⁴, Ing. Jorge Luis Reyes Furet⁵

Recibido: 11/2021 | Aceptado: 01/2022

Palabras clave

Antenas
WiFi
Parches rectangulares

Resumen

Se expone un procedimiento de diseño de un sistema discreto de antenas para aplicaciones WiFi. Los diseños se realizaron en dos bandas de frecuencias: una de 2400 a 2500 MHz y otra de 5150 a 5850 MHz. Ambos se diseñaron sobre la base de la misma tecnología, con una geometría rectangular compuesta por 4x4 radiadores de parche metálico con dieléctrico aire. El sistema de alimentación fue concebido sobre una línea de transmisión coaxial rectangular con dieléctrico aire para reducir las pérdidas de inserción y mejorar la eficiencia de las antenas. Para la modelación computacional de las antenas se empleó el CST Microwave Studio. Para la fabricación de las partes de las antenas fue empleado una fresadora CNC y las antenas construidas fueron medidas en una cámara anecoica, donde se comprobó la razón de onda estacionaria, la ganancia y la forma de la característica direccional, existiendo una buena correspondencia con los resultados de la simulación en el CST Microwave Studio. Finalmente, se realizaron las pruebas de campo de las dos antenas acopladas a los *access point*, arrojando buenos resultados.

Keywords

Antennas
WiFi
Rectangular patches

Abstract

In this work, a design procedure for a discrete antenna system for WiFi applications was carried out. The designs were made in two frequency bands: one from 2400 to 2500 MHz and the other from 5150 to 5850 MHz. Both systems were designed based on the same technology, with a rectangular geometry made up of

1* Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS", Cuba cid3@reduim.cu

2 Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS", Cuba cid3@reduim.cu

3 Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS", Cuba cid3@reduim.cu

4 División Comercial TVS COPEXTEL, Cuba pedro@tvs.copextel.com.cu

5 División Comercial TVS COPEXTEL, Cuba jorgelr@tvs.copextel.com.cu

4x4 metal patch radiators with air dielectric. The feeding system was built on a rectangular coaxial transmission line with air dielectric to reduce insertion losses and improve efficiency of the antennas. For the computational modeling of the antennas, the CST Microwave Studio was used. The manufacture of all the parts of the antennas was carried out with the use of a CNC milling machine and the manufactured antennas were measured in an anechoic chamber, where the standing wave ratio, gain and shape of the directional characteristic were compared, proving a good correspondence with the simulation results in the CST Microwave Studio. Finally, the field tests of the two antennas coupled to an access points were carried out, yielding good results.

Introducción

Las tecnologías de comunicaciones inalámbricas han crecido rápidamente en los últimos años, fundamentalmente con la creciente aceptación y uso de los productos inalámbricos como son los *routers*, teléfonos celulares y laptops. En COPEXTEL, la División Comercial TVS (Telecomunicaciones, Videos y Sistemas) tiene entre sus líneas fundamentales de trabajo las aplicaciones con tecnología WiFi. La importación de *Access Point* (AP) para exteriores es costosa por lo que es necesario buscar variantes para disminuir los precios de adquisición de estos equipos y con ello aumentar la masividad de su empleo en el país. Una variante para la sustitución de importaciones es la reparación de equipos inalámbricos de exteriores, haciendo el diagnóstico y sustitución de las tarjetas electrónicas averiadas. En una segunda etapa se prevé adquirir las tarjetas y fabricar los AP, para ello es necesario realizar el diseño de las antenas y chasis para lograr su fabricación en Cuba.

Las antenas que se emplean en las tecnologías WiFi pueden ser, en función del servicio, omnidireccionales, sectoriales o direccionales (Chen, 2016), ((Mehmood & Yun, 2013)). Este trabajo tiene como objetivo el diseño y fabricación de dos antenas direccionales con tecnología propia para las dos bandas de frecuencias WiFi usadas en Cuba.

Generalmente, para las antenas direccionales WiFi se emplean antenas de reflector parabólico o sistemas discretos de antenas (antenas planas). En esta investigación se escogieron los sistemas discretos de antenas debido a que presentan menor perfil que las parabólicas y, por ende, es más fácil su integración en el sistema.

Los sistemas discretos de antenas (conocidos igualmente como arreglos de antenas) consisten en un conjunto de elementos radiantes (o antenas) cuyos campos se superponen de forma coherente en la zona lejana. Los radiadores, unidos a su propia red de alimentación, constituyen los principales elementos que componen los sistemas discretos de antenas. Sus características son determinadas por la posición geométrica de los radiadores y la amplitud y fase de su excitación (Balanis, 2016; Mailloux, 2005; Lo & Lee, 1993; Márkov & Sazónov, 1978).

Materiales y métodos

Las especificaciones de diseño de un sistema discreto de antenas, generalmente están determinadas por las características generales del sistema de radio que la empleará, ya sea un radar, satélite, sistema de comunicaciones, entre otros.

El análisis detallado de las exigencias eléctricas conduce a la elección de los principales componentes que forman el sistema discreto de antenas, tratando siempre de garantizar la mejor relación entre el costo y la obtención de las características deseadas. En este caso las exigencias eléctricas son:

Banda de frecuencias: 5150 a 5850 MHz.

ROE (Razón de Onda Estacionaria): por debajo de 1.8 en toda la banda de frecuencias.

Ganancia: 18 dB.

Ángulo de radiación en el plano horizontal: menor de 23°.

Ángulo de radiación en el plano vertical: menor de 23°.

Polarización lineal (horizontal y vertical).

Impedancia de entrada de 50 Ω .

Elección y diseño de la geometría de la antena

Una cuestión muy importante en el diseño de los sistemas discretos de antenas es la elección de la geometría, que determina la disposición de los elementos en la abertura. A partir de las exigencias eléctricas, teniendo en cuenta que el ángulo de radiación es el mismo en ambos planos y que el nivel de ganancia deseado se obtiene con pocos elementos, se decidió realizar un sistema discreto de antenas bidimensional con una geometría rectangular con la misma cantidad de elementos y separación.

Como no hay exigencias de nivel de lóbulos laterales, se escogió una distribución de amplitud y fase uniforme, que garantizan la obtención de una mayor ganancia y la dirección de máxima radiación perpendicular al eje de la antena respectivamente (Márkov & Sazónov, 1978).

A partir de la geometría escogida (abertura rectangular) se determina la cantidad de elementos (N) que debe presentar en cada plano y su separación eléctrica. Para ello es necesario tener en cuenta el ángulo de radiación en los dos planos fundamentales o la ganancia y determinar el área efectiva (Balanis, 2016) de la antena (A_{ef}) según las expresiones:

$$\begin{aligned} GdB &= 10 * \log\left(\frac{4\pi A_{ef}}{\lambda^2}\right) \\ GdB &= 10 * \log\left(\frac{4\pi A_{ef}}{\lambda^2}\right) \quad (1) \\ A_{ef} &= 10^{\frac{GdB}{10}} * \frac{\lambda^2}{4\pi} A_{ef} = 10^{\frac{GdB}{10}} * \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (2) \end{aligned}$$

Para una ganancia de 18 dB se necesita un A_{ef} de 14922 mm². Como el sistema discreto es el mismo en ambos planos, la longitud física (L) se determina mediante la ecuación 3, obteniéndose una $L=122.15$ mm, que según la ecuación 4, para la frecuencia central $f_c f_r=5500$ MHz, corresponde a una longitud eléctrica ($L_\lambda L_\lambda$) de 2.24.

$$\begin{aligned} A_{ef} &= L_E * L_H = L^2 \quad A_{ef} = L_E * L_H = L^2 \\ (3) \quad L_\lambda &= \frac{L}{\lambda} L_\lambda = \frac{L}{\lambda} \quad (4) \end{aligned}$$

De acuerdo con la longitud eléctrica mínima que debe tener el sistema discreto se determina la cantidad de elementos y su separación, mediante la ecuación 5. Mientras mayor es el valor de N, menor es la separación para una misma longitud, pero

aumenta el acoplamiento electromagnético entre radiadores. Para reducir la influencia del acoplamiento electromagnético entre radiadores del sistema se recomienda aumentar su separación $d_\lambda d_\lambda$ (Chen, 2016). La selección de $d_\lambda d_\lambda$ debe cumplir el criterio de unicidad del lóbulo principal que se plantea en la ecuación 6. Por otra parte, a medida que aumenta N se complejiza el sistema; no obstante, es recomendable en las distribuciones de amplitud y fase uniforme, el empleo de una N potencia de dos, pues facilita el diseño del distribuidor de potencias (Rojas, 2008).

$$\begin{aligned} L_\lambda &= N * d_\lambda L_\lambda = N * d_\lambda \quad (5) \\ d_\lambda &\leq \frac{N-1}{N} d_\lambda \leq \frac{N-1}{N} \quad (6) \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta lo anterior, se escogió una $N=4$ y una $d_\lambda d_\lambda=0.6$.

Con la $L_\lambda L_\lambda$ obtenida anteriormente se determina el ángulo de radiación a partir de la ecuación 7 y se comprueba que presenta un valor menor o igual al de las exigencias iniciales.

$$\Delta\theta_r = \frac{51^\circ}{L_\lambda} \Delta\theta_r = \frac{51^\circ}{L_\lambda} \quad (7)$$

Para una $L_\lambda L_\lambda=2.24$ el ángulo de radiación es de 22.7°, inferior a los 23° exigidos.

Los análisis anteriores forman parte del diseño grueso del sistema discreto de antenas. En el diseño fino se realiza el análisis electromagnético en el programa profesional CST Microwave Studio, donde la separación entre elementos y, por tanto, la longitud total del sistema, se ajustan siempre que el valor sea mayor que el calculado para que la ganancia del sistema no sea menor de 18 dB.

Elección y diseño del elemento radiador

En principio toda antena, simple o compleja, pequeña o grande, puede formar parte de un sistema discreto. Sin embargo, en la práctica, se emplean con mayor frecuencia las siguientes (Rojas, 2008; Balanis, 1996; Hansen, 2009; Pérez, 2001):

- Dipolos
- Yagi
- Guías de ondas abiertas en un extremo
- Ranuras

Radiadores impresos (ranuras, dipolos y diferentes tipos de parches, etc.)

Para la elección del tipo de radiador se deben tener en cuenta un grupo de factores dentro de los cuales los más importantes son (Lo & Lee, 1993), (Rojas, 2008):

- Diagrama direccional
- Directividad o ganancia
- Impedancia de entrada
- Polarización
- Ancho de banda
- Acoplamiento electromagnético
- Eficiencia de radiación
- Tamaño
- Sencillez constructiva y facilidad de reproducción
- Robustez mecánica
- Costo

Para las frecuencias WiFi es común el empleo de antenas con tecnología impresa, pero se necesitarían sustratos de bajas pérdidas para garantizar una alta eficiencia, lo que encarecería la solución. Teniendo en cuenta los aspectos anteriores se seleccionó como radiador el parche metálico con dieléctrico aire, el cual presenta pequeño peso, bajo perfil, fácil reproducibilidad, bajo costo de producción y se logra una estructura compacta y fuerte. Como el ancho de banda relativo es pequeño puede cubrirlo con facilidad, sin necesidad de técnicas para aumentarlo. Además, presenta una polarización lineal (horizontal o vertical en función de su orientación).

El parche metálico, como elemento radiador del sistema discreto de antenas, presenta como variables fundamentales:

- W: Ancho del parche cuadrado.
- H: Altura entre el parche y el reflector.
- Lr: Dimensión del reflector en el plano vertical.
- Wr: Dimensión del reflector en el plano horizontal.

Las variables anteriores forman parte del diseño del parche metálico. El diseño inicial parte de la determinación del ancho del parche a partir de la longitud de onda para la frecuencia central mediante el criterio $W \approx 0.46\lambda$ (Chen, 2016). Este valor puede sufrir ligeros cambios en el diseño final optimizado donde se emplea el CST Microwave Studio. La altura entre el parche y el reflector se utiliza como variable de ajuste para la obtención del ancho de banda deseado. Esta variable es un elemento determinante en el proceso tecnológico, ya que puede complejizar la fabricación del parche.

Para ajustar el diseño a la tecnología disponible, se emplean valores de H que correspondan al largo de separadores estándares que garantizan la sujeción mecánica del parche y el reflector. Estos separadores se ubican cercanos al centro del parche, donde su corriente es prácticamente cero, para que no afecte el acoplamiento electromagnético en el radiador; no obstante, se incluyen en el análisis electromagnético del diseño final optimizado y se emplea también como variable de ajuste las dimensiones del parche. Las dimensiones del reflector se seleccionaron iguales a la separación entre radiadores para lograr una estructura única del arreglo.

A partir del análisis electromagnético realizado se obtuvieron los siguientes valores de las variables del parche metálico:

- W=22 mm
- H=4 mm
- Lr=32 mm
- Wr=32 mm

En la figura 1 se muestra el parche metálico diseñado en el CST Microwave Studio.

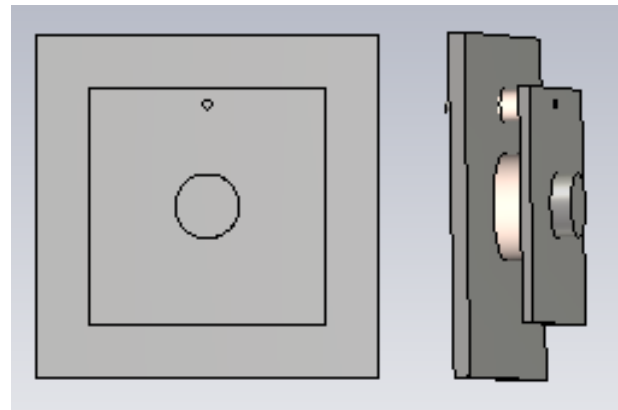


Figura. 1. Parche metálico diseñado en CST Microwave Studio

Diseño del sistema de alimentación

Para el diseño del sistema de alimentación se empleó una línea de transmisión de tipo coaxial rectangular con dieléctrico aire de 6 mm de altura y un espesor de la cinta de 1 mm. Como divisores se utilizaron uniones T y para garantizar la altura de la cinta se emplearon piezas de teflón. Una de las caras de la tierra del distribuidor de potencias coincide con el reflector del sistema de radiación, obteniéndose una estructura más compacta y bajo perfil.

En la figura 2 se puede observar el diseño del distribuidor de potencias de 1 en 16.

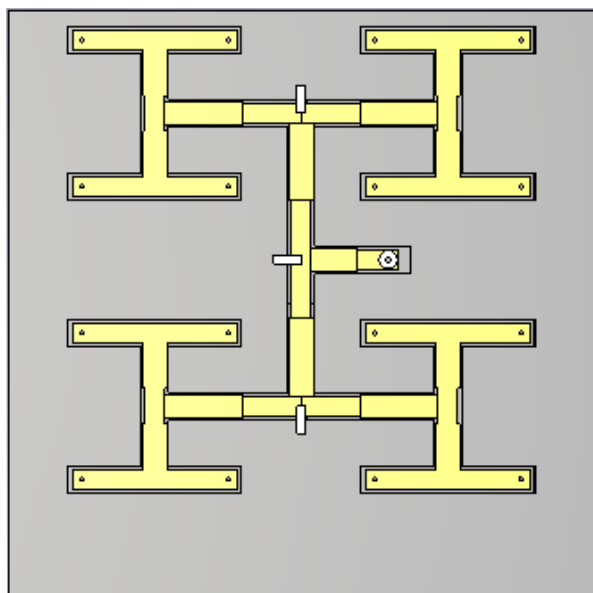


Figura. 2. Distribuidor de potencias

Resultados y discusión

Diseñado los sistemas de radiación y alimentación se realiza el análisis electromagnético en el CST Microwave Studio del sistema discreto de antenas de 4x4 elementos que se muestra en la figura 3.

En la figura 4 se muestra la curva de la ROE — Razón de Onda Estacionaria— simulada del sistema discreto de antenas (distribuidor de potencias y radiadores), obteniéndose un valor por debajo de 1.8 en toda la banda de frecuencias como indican las exigencias iniciales.

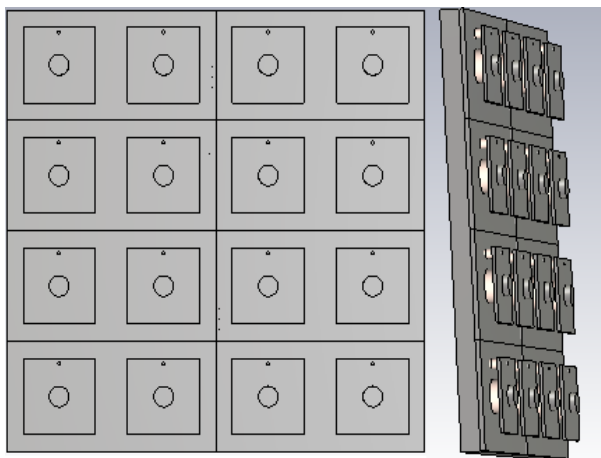


Figura. 3. Vista frontal del sistema

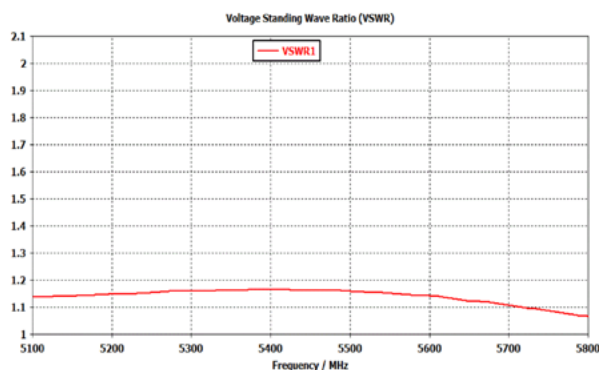


Figura. 4. Razón de onda estacionaria simulada del sistema discreto de antenas de 5 GHz

En la figura 5 se muestran las características de ganancia, en coordenadas rectangulares, simulados para la frecuencia central y los extremos de la banda de trabajo en ambos planos de polarización. En los tres casos se obtienen ángulos de radiación menores de 23° e iguales en ambos planos de polarización para la misma frecuencia con ganancias superiores a 18 dB.

Diseño del sistema de 2.4 GHz

Después de comprobado el procedimiento realizado para el diseño del sistema discreto en la banda de 5150 a 5850 MHz, se realiza de igual manera el diseño de un sistema discreto de antenas con características similares para la banda de 2.4 GHz, que presenta las siguientes exigencias:

Banda de frecuencia: 2400 a 2500 MHz.

Razón de Onda Estacionaria (ROE): por debajo de 1.5 en toda la banda de frecuencias.

Ganancia: 16 dB.

Ángulo de radiación en el plano horizontal: menor de 23°.

Ángulo de radiación en el plano vertical: menor de 23°.

Polarización lineal (horizontal y vertical).

Impedancia de entrada de 50 Ω.

Como las características eléctricas de esta antena son similares a las de 5 GHz, se emplea la misma geometría rectangular con 4 elementos en cada plano. Se determinan la $L_\lambda L_\lambda$ y la $d_\lambda d_\lambda$ de la misma forma que en el diseño anterior. Para garantizar la ganancia mayor de 16 dB se necesita una $d_\lambda d_\lambda = 0.6$, lo que conlleva a una $L_\lambda L_\lambda = 2.4$ que corresponde a una longitud física de 217 mm.

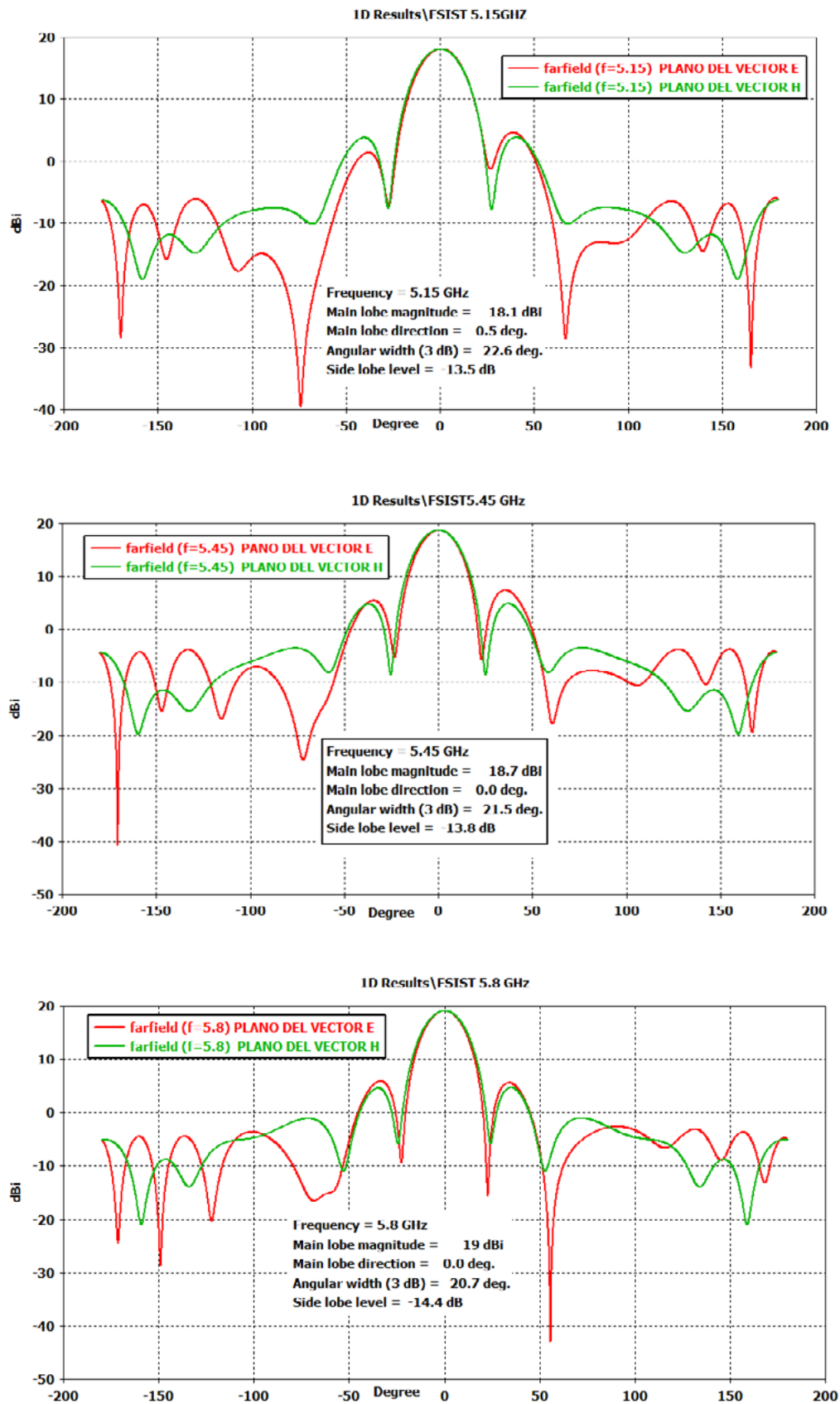


Figura. 5. Característica de ganancia en los planos del vector E (color rojo) y del vector H (color verde) para las frecuencias fundamentales

Figura 6. ROE simulada del sistema discreto de 4x4 de 2.4 GHZ

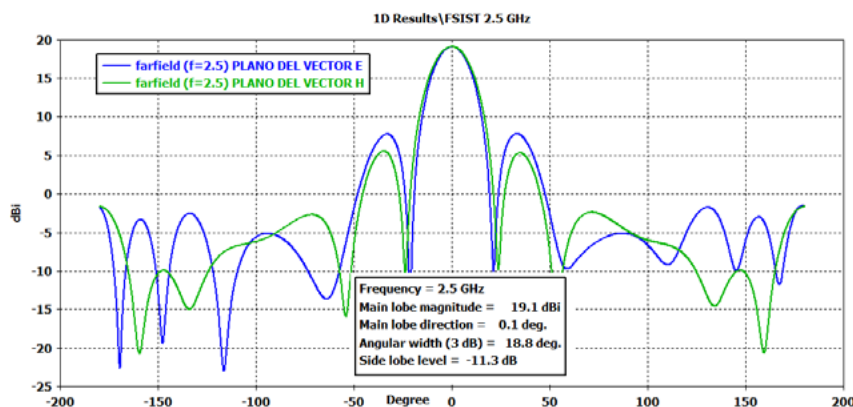
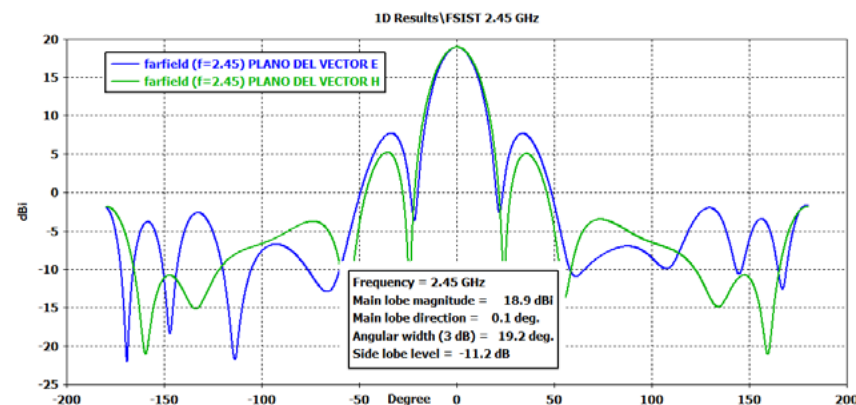
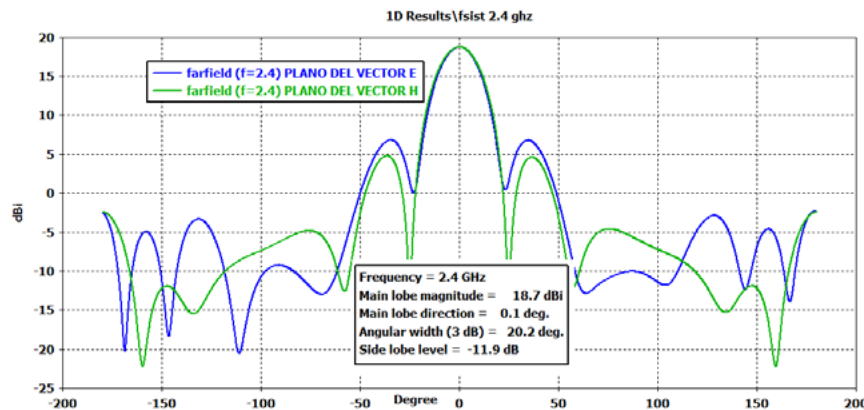
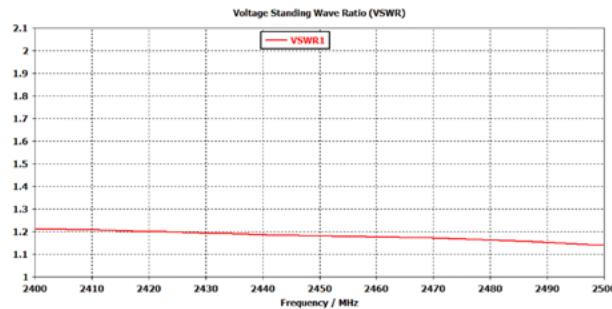


Figura. 7. Característica de ganancia en los planos del vector E (color azul) y del vector H (color verde) para las frecuencias fundamentales

El radiador también es el mismo, calculándose las dimensiones del parche rectangular de igual forma, donde se obtiene:

$$W=51.83 \text{ mm}$$

$$H=9.5 \text{ mm}$$

$$Lr=75.39 \text{ mm}$$

$$Wr=75.39 \text{ mm}$$

Como era de esperar, las dimensiones son mayores que las de la banda de 5 GHz debido a que la longitud de onda es mayor.

En el diseño del sistema de alimentación se emplea también una línea de transmisión coaxial rectangular con $H=6 \text{ mm}$, pero con un espesor de la cinta de 0.5 mm .

En la figura 6 se muestra la curva de la ROE simulada del sistema discreto de antenas (distribuidor de potencias y radiadores), obteniéndose un valor por debajo de 1.5 en toda la banda de frecuencias como indican las exigencias iniciales.

En la figura 7 se muestran las características de ganancia, en coordenadas rectangulares, simulados para la frecuencia central y los extremos de la banda de trabajo en ambos planos de polarización. El ángulo de radiación es menor de 20° e igual en ambos planos de polarización para la misma frecuencia y ganancia superior a 18 dB.

Fabricación de los sistemas de antenas y mediciones

Para la fabricación de las antenas se empleó una fresadora CNC y se le incorporó un radomo de PVC para su protección



Figura. 8. Sistemas de antenas construidos

(Figura 8). Los parámetros eléctricos de las antenas se midieron en una cámara anecoica (Figura 9).

Los resultados de las mediciones en la cámara anecoica se muestran en las figuras de la 10 a la 13. En las figuras 10 y 11 se muestra la ROE en las bandas de 5 y 2.4 GHz respectivamente, cumpliendo con los valores de ROE exigidos en cada caso. En los diagramas direccionales mostrados en las figuras 12 y 13 (para las bandas 5 y 2.4 GHz respectivamente) se observa una elevada correspondencia entre los diagramas medidos y calculados.



Figura. 9. Medición de los parámetros eléctricos de las antenas en la cámara anecoica

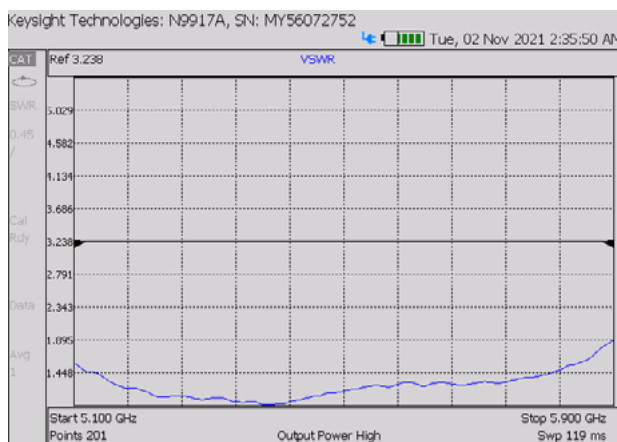


Figura. 10. ROE medido del sistema de 5 GHz

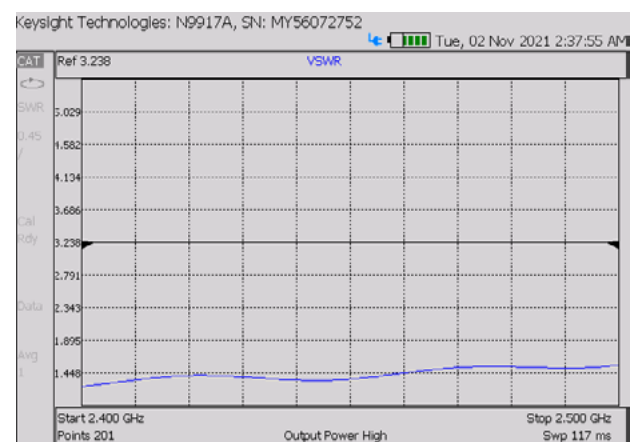


Figura. 11. ROE medido del sistema de 2.4 GHz

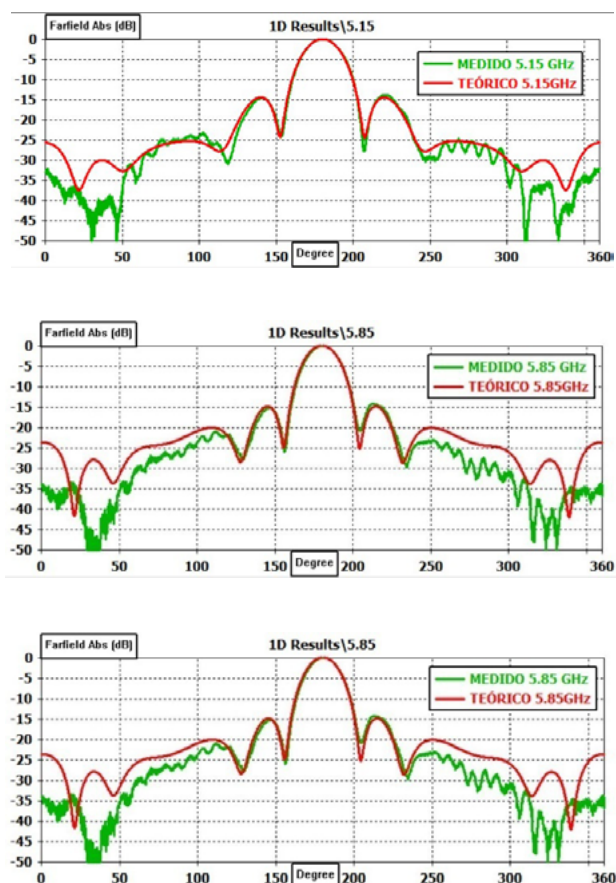


Figura. 12. Diagrama direccional del sistema de 5 GHz obtenido en la cámara anecoica. Valor teórico (rojo) y experimental (verde) para las frecuencias fundamentales en el plano del vector E

Tomando como referencia estos resultados se realizaron las pruebas de campo donde se acoplaron las antenas a sus respectivos AP, las cuales cumplieron con los objetivos planteados para las dos bandas de frecuencia.

Conclusiones

El objetivo principal de este trabajo fue cumplido, al realizarse el diseño y fabricación de dos antenas di-

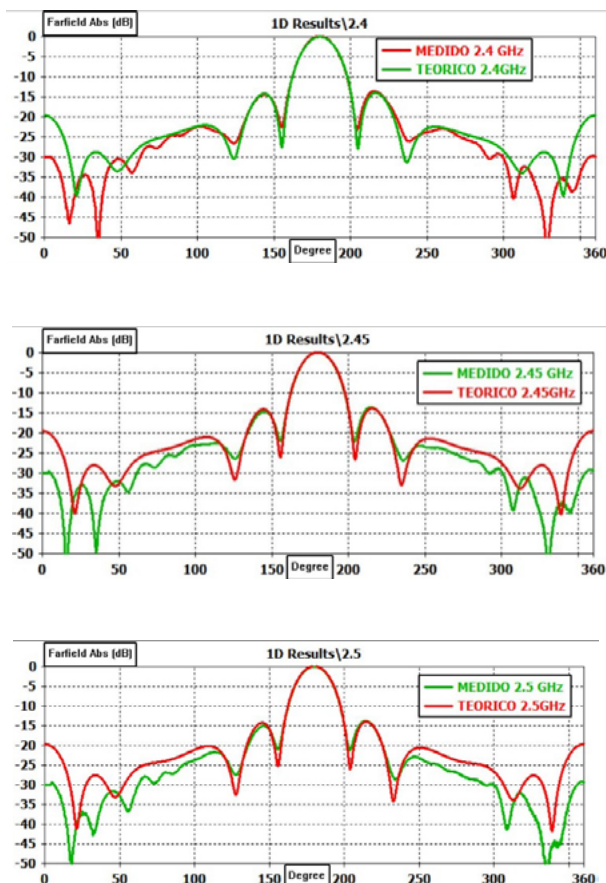


Figura. 13. Diagrama direccional del sistema de 2.4 GHz obtenido en la cámara anecoica. Valor teórico (rojo) y experimental (verde) para las frecuencias fundamentales en el plano del vector E

reccionales con tecnología propia para las dos bandas de frecuencias WiFi usadas en Cuba. Lo anterior se pudo comprobar a través de las mediciones eléctricas realizadas a ambas antenas y las pruebas de campo con su acoplamiento a los AP. Se considera que los resultados contribuyen a la sustitución de importaciones para la tecnología WiFi y será la base de futuras investigaciones orientadas a otros sistemas.

Referencias bibliográficas

- Balanis, C. A. (2016). Antenna theory analysis and design. John Wiley & Sons, Inc.
- Balanis, C. A., (1996). Antenna Theory: Analysis and Design. John Wiley & Sons, Inc.
- Chen, Z. N. (2016). Handbook of Antenna Technologies. Springer Science+Business Media, Singapore.
- Hansen, R. C. (2001). Phased Array Antenna. John Wiley & Sons, Inc.
- Lo, Y. T., & Lee, S. W. (1993). Antenna Handbook Volumen III. Van Nostrand Reinhold.

Mailloux, R. J. (2005). Phased Array Antenna Handbook. Artech House.

Márkov, G.T., & Sazónov, D.M. (1978). Antenas. MIR Moscú.

Mehmood T., & Y. Yun, (2013). Design of a Novel Flat Array Antenna for Radio Communications. Blekinge Institute of Technology.

Pérez Stincer, E. (2001). Antena. Teoría General.

Rojas Ramírez, N. (2008). Obtención de las bases tecnológicas para el diseño y fabricación de sistemas discretos de antenas con bajo nivel de lóbulos laterales y múltiples haces. [Tesis doctoral ITM “José Martí”, La Habana]. Cuba.

