


## Antena doble Biquad con reflector parabólico para la banda de 2.4 GHz

### *Double Biquad Antenna with Parabolic Reflector for 2.4 GHz Band*

 <https://doi.org/10.52948/mare.v4i2.638>

DANIEL EDUARDO RIVERO JIMÉNEZ

 <http://orcid.org/0000-0003-0509-992X>


Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), Cuba  
drjimenez@uclv.cu

DAVID BELTRÁN CASANOVA

 <http://orcid.org/0000-0002-1479-3051>

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), Cuba  
dbeltranc@uclv.cu

TUAN CORDOVÍ RODRÍGUEZ

 <http://orcid.org/0000-0002-4213-5945>

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), Cuba  
tuan@antenasvc.co.cu

#### **Artículo de investigación**

**Recepción:** 31 de marzo de 2022

**Aceptación:** 10 de octubre de 2022

#### **Cómo citar este artículo**

D. Rivero Jiménez, D. Beltrán Casanova, y T. Cordoví Rodríguez, “Antena doble Biquad con reflector parabólico para la banda de 2.4 GHz”, mare, vol. 4, n.º 2, sep. 2022.

**Resumen:**

Las antenas con reflectores parabólicos se utilizan extensamente en sistemas de radiocomunicaciones a partir de los 800 MHz y los altos valores de ganancia que poseen las hacen muy populares en las bandas de microondas. El presente trabajo expone el diseño y la evaluación de una antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico para operar en la banda de 2.4 GHz, con el objetivo de dar respuesta a la solicitud realizada por especialistas de la Empresa de Antenas de Villa Clara, en el marco del convenio de colaboración existente entre esta empresa y la Facultad de Ingeniería Eléctrica (FIE) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV); reflejo del vínculo universidad-empresas al que ha llamado la dirección del país. Por esta razón ha sido estudiada, diseñada y simulada, con el software CST Microwave Studio 2018 y la antena Biquad, evaluando el efecto que produce en los parámetros de la antena el empleo de reflectores. Los resultados obtenidos de las simulaciones fueron validados a partir de la construcción de prototipos en los talleres de la Empresa de Antenas de Villa Clara y la medición de los principales parámetros con el equipamiento disponible en la empresa alcanzando efectos satisfactorios en cuanto a los parámetros fundamentales que caracterizan a esta antena: pérdidas por retorno (-35 dB), Razón de Onda Estacionaria (1.03), ganancia (13.65 dB) y patrón de radiación. Se destacaron las antenas por su fidelidad en el trabajo en la banda wifi de 2.4 GHz, para la que fue diseñada.

**Palabras clave:** antenas; Biquad; parabólico; wifi; parámetros; software.

**Abstract:**

Necessity for effective connections and stable radio links are goals to be achieved today. Work with antennas that allow the

dissemination of information among users is one of the main lines. The production of antennas is expensive and does not meet current demand. The manufacture of them by the Villa Clara Antenna Company contributes to meeting this demand, this is a recurring theme in the Faculty of Electrical Engineering (FIE) of the Central University "Marta Abreu" of Las Villas (UCLV). The "double biquad with cylindrical parabolic reflector" antenna has proved to be of interest as a contribution to telecommunications in general. For this reason, it has studied, designed, and simulated, with the CST Microwave Studio 2018 software. This research validates the results obtained, it also built prototypes with gratifying terms of the fundamental parameters that characterize this antenna: Return Loss, Standing Wave Ratio and Gain. The antennas noted for their fidelity working in the 2.4 GHz Wi-Fi band, for which it designed.

**Keywords:** antennas; Biquad; parabolic; Wi-Fi; parameters; software.

**Introducción**

En la Cuba de hoy se realizan esfuerzos por mejorar los sistemas de redes inalámbricas; se fortalece el proceso de extensión del servicio de conectividad a la población a través de las redes inalámbricas o wifi. Esto hace evidente la necesidad de hacer inversiones en dispositivos, los que llegan a ser muy costosos y en los cuales se encuentra un elemento común e indispensable: la antena [1].

En la categoría de antena se encuentran disímiles elementos. Una de las reconocidas es la parabólica, por su amplia difusión, aplicabilidad y elevada ganancia. Estas se utilizan principalmente en radioenlaces de microondas [2]. Los alimentadores más comúnmente utilizados en estas antenas son los de tipo bocina electromagnética, pero este puede no ser el más óptimo

para recibir la señal, bajo determinadas circunstancias [3]. Por este motivo se investigará sobre el uso de antenas Biquad como propuestas de alimentadores de antenas parabólicas para redes wifi, modelando y simulando con la ayuda del software CST Microwave Studio Suite 2018.

La antena Biquad tiene como característica fundamental su gran ancho de banda para diversas aplicaciones y en wifi puede cubrir todos los canales manteniendo sus características radioeléctricas con gran estabilidad [4]. Su operación es similar al dipolo plegado [5]; se genera el mismo diagrama de radiación, como un dipolo con más directividad y ancho de banda. Se pueden considerar como una forma modificada de una antena de dipolo plegado; específicamente, sus elementos pertenecen a la categoría de pequeñas antenas de bucle de una sola vuelta [6].

## Metodología

### A. Fundamentos teóricos

#### 1. Antenas parabólicas:

Una antena parabólica está compuesta por dos partes principales: el reflector parabólico y el elemento activo llamado alimentador. En esencia, el alimentador irradia ondas electromagnéticas hacia el reflector. Este último es un dispositivo pasivo que solo refleja la energía irradiada por el alimentador en una emisión concentrada altamente direccional donde las ondas individuales están todas en fase entre sí [7].

En coordenadas cartesianas la ecuación de la parábola es:

$$(1) \quad x^2 = 4f(f+z)$$

En coordenadas esféricas con el origen de coordenadas coincidente con el foco  $f$ :

$$(2) \quad \rho = \frac{f}{\cos^2(\psi/2)}$$

Donde  $\rho$  es la distancia del foco al punto de reflexión sobre la superficie parabólica y  $f$  la distancia del vértice al foco o distancia focal.

Según la distancia focal, las antenas pueden clasificarse como foco largo: el foco está fuera del reflector, en cuyo caso  $f > D/4$  y  $2\theta_{\text{máx}} < \pi$ ; así como foco corto: ahora está dentro del reflector de modo que  $f < D/4$  y  $2\theta_{\text{máx}} > \pi$ .

Además de saber el lugar geométrico de la curva, se necesita conocer su profundidad:

$$(3) \quad d = D^2/16f$$

La mitad del ángulo máximo, en donde las ondas provenientes del alimentador son captadas por el reflector parabólico, depende directamente de la relación de distancias entre el foco y el diámetro del reflector:

$$(4) \quad \psi_0 = 2 \cdot \tan^{-1}[1/(4 \cdot (f/D))]$$

Con estos parámetros quedan totalmente definidas las características geométricas de cualquier reflector parabólico. Si no se conocen las características geométricas de la estructura, no se podrán realizar sus propiedades electromagnéticas [8].

#### 2. Antena cúbica o quads

Compuesta por dos o más bucles cuadrados de hilo, soportados cada uno de ellos por una estructura en forma de cruz o cuadro que puede ser de cualquier material aislante. Los bucles o cuadros tienen un cuarto de longitud de onda por lado (una longitud de onda en total). Un bucle está excitado y el otro actúa como elemento parásito (generalmente un reflector) [9]. Por último, su longitud total es de una longitud de onda.

#### 3. Antena Biquad

Una Biquad no es más que dos antenas de bucle único (*quad*) que a su vez forman una matriz en donde cada una de ellas es un componente excitado. En general la antena Biquad es fácil de construir y ofrece buena directividad y ganancia para las comunicaciones punto a punto. Consiste en dos cuadrados iguales de

una longitud de onda como elemento de radiación y un plato metálico o malla como reflector. Esta antena tiene un ancho del haz de aproximadamente 70 grados y una ganancia en el orden de 10-12 dBi.

#### 4. Antena doble Biquad

La antena doble Biquad se identifica por tener un elemento radiante compuesto por dos Biquad, uno a continuación del otro, cada Biquad trabaja como elemento independiente y en su conjunto, el doble Biquad demuestra tener una ganancia superior a la Biquad simple [10]. El elemento radiante es generalmente de cobre, y el reflector puede ser de prácticamente cualquier material conductor. Esta antena tiene una mayor direccionalidad, haciéndola muy efectiva en conexiones de mayor alcance. Esto, sumado a su característica ganancia de 12 dB a 13 dB y su fácil construcción, la hacen una antena preferida para establecer conexiones de buena calidad [11].

### Resultados y discusión

#### A. Diseño teórico, simulación y análisis de resultados obtenidos a través de software

##### 1. Propuesta para el diseño de un reflector parabólico cilíndrico

Para llevar a cabo este proyecto se diseñó un reflector parabólico cilíndrico. Este tiene la forma de un semicilindro que, tras varios barridos paramétricos, fue optimizado y tuvo 78.3 mm de radio y 130 mm de largo y cumple con (3), analizada en el capítulo anterior. Aquí  $D$  es el diámetro o distancia entre los extremos lineales (156.6 mm) y  $p$  es la profundidad desde la recta que une los extremos hasta la superficie central interior (78,3 mm). Para este caso, la distancia de la superficie central al punto focal  $f$  es de 26 mm.

De otro lado, se debe lograr un compromiso en el que la relación  $f/D$  se encuentre

entre 0,25 y 0,5; recomendaciones para una mejor eficiencia del paraboloide y la antena como tal. En este caso se logró una relación  $f/D = 0,16$ . Dicho valor se debe a que la antena en cuestión tiene un reflector de foco corto y se simuló como una lámina de aluminio de 0,5 mm de espesor.

#### 2. Diseño del alimentador doble Biquad para la banda de 2.4 GHz

##### 2.1. Cálculo del radiador y distancia al reflector

- Frecuencia de operación:  $f_0 = 2.440$  GHz
- Longitud de onda ( $\lambda$ ) a la frecuencia de operación:  $\lambda = 0,1229$  m
- Calcular longitud de cada segmento del *quad* (radiador):

$$(5) \quad dx = \frac{1}{4} \lambda = 0.1229/4 = 30.75 \text{ mm}$$

- Radio del conductor  $W_f \leq 2.5$  mm.
- Longitud *quad*:

$$(6) \quad dw = dx * \sqrt{2} = 43.35 \text{ mm}$$

- Longitud horizontal:

$$(7) \quad dl = dw * 2 + 4 * W_f = 90.71 \text{ mm.}$$

Esta longitud es de 180 mm como mínimo en doble Biquad.

- Altura del reflector (como mínimo):

$$(8) \quad W_{ref} = \lambda + 2 * W_f = 126 \text{ mm.}$$

- Largo del reflector (como mínimo):

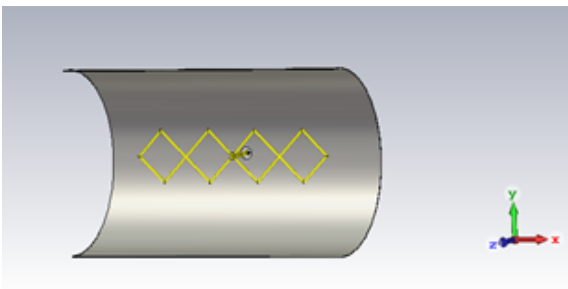
$$(9) \quad L_{ref} = 3 * dw + 4 * W_f = 134 \text{ mm.}$$

Esta longitud es de 280 mm como mínimo en doble Biquad.

- Largo del conductor  $L_c = 500$  mm.
- Verificar que los dobleces estén exactamente a la longitud calculada y con un ángulo de 90°.

- Tener en cuenta que la longitud total de cada quad es aproximadamente igual a la longitud de onda y la longitud de una Biquad sería dos veces la longitud de onda. La longitud más recomendada del quad será obtenida a partir de varias iteraciones de este parámetro en la simulación de la antena.

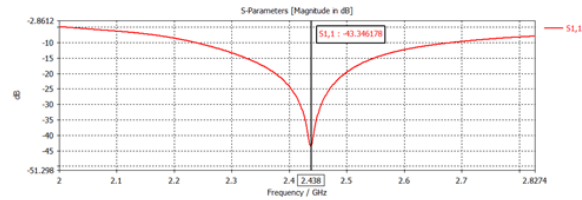
La estructura de la antena Biquad y el reflector parabólico cilíndrico se muestra en la Fig. 1. La vista conseguida es la del software CST Microwave Studio Suite 2018, producto del diseño en el mismo lugar de analizadas, calculadas las dimensiones y realizadas varias iteraciones con el objetivo de escoger el resultado más adecuado.



**Fig. 1.** Antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico.

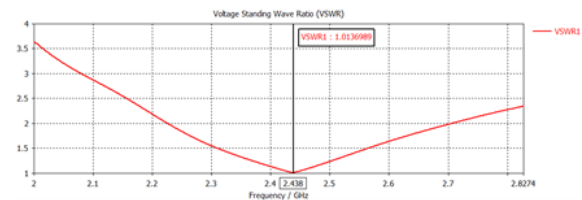
### B. Simulación de la antena diseñada en el software

A continuación, se realiza un análisis de las principales características de la antena en cuestión y de sus parámetros más importantes. Los criterios de impedancia de la antena alcanzaron un valor por debajo de los -43 dB, ratificando la capacidad que tiene esta antena de radiar la potencia en lugar de reflejarla hacia el generador (t 2).



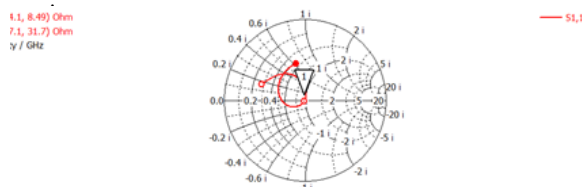
**Fig. 2.** Parámetros de impedancia de la antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico.

Para los parámetros de impedancia contra frecuencia expuestos anteriormente, la Razón de Onda Estacionaria (ROE) alcanzó el valor más cercano a la unidad. Mostró valores de 1.131 en la frecuencia 2.4 GHz, 1.013 en el centro de la banda, que es 2.44 GHz y 1.15 en 2.48 GHz, representando pérdidas por reflexión muy bajas en la antena y un buen rendimiento de manera general a lo largo de toda la banda wifi (Fig. 3).



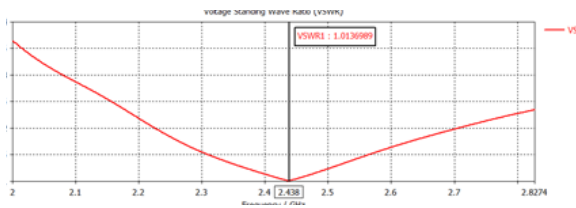
**Fig. 3.** ROE de la antena doble Biquad con reflector parabólico.

La resistencia de entrada ( $R_{in}$ ) = 49.2 *ohm* y la reactancia de entrada ( $X_{in}$ ) = 0.02 *ohm* confirman que el elemento radiante en forma de dipolo doblado que se diseñó puede adaptar la antena a la línea de transmisión con acople de 50 Ohm. Otra herramienta que ha sido utilizada para mostrar los parámetros de impedancia es la Carta de Smith. El diagrama gráfico de esta antena en dicha Carta se muestra en la Fig. 4



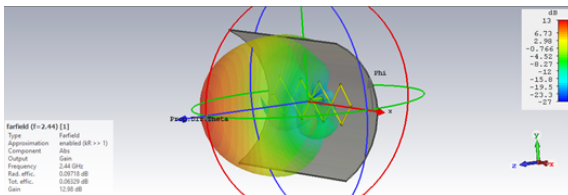
**Fig. 4.** Diagrama de los parámetros de impedancia en la Carta de Smith.

Para los parámetros de impedancia contra frecuencia expuestos anteriormente, la ROE alcanzó el valor más cercano a la unidad. Mostró valores de 1131 en la frecuencia 2.4 GHz, 1.013 en el centro de la banda, que es 2.44 GHz y 1.15 en 2.48 GHz. Representa pérdidas por reflexión muy bajas en la antena y un buen rendimiento de manera general a lo largo de toda la banda wifi (Fig. 5).

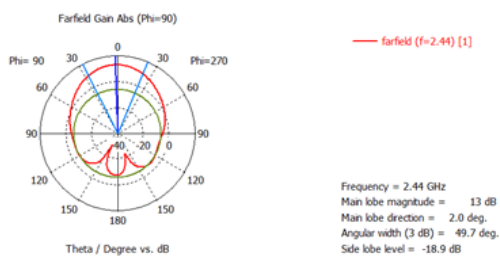


**Fig. 5.** ROE de la antena doble Biquad con reflector parabólico.

El patrón de radiación de campo lejano en tres dimensiones resalta el valor de la ganancia con colores diferentes los cuales son especificados en una barra que, a modo de leyenda, asigna un valor numérico a cada uno de ellos.



**Fig. 6.** Patrón de radiación tridimensional de la antena doble Biquad con reflector parabólico.



**Fig. 7.** Patrón de radiación de la antena doble Biquad con reflector parabólico, coordenadas polares.

### C. Mediciones prácticas de los prototipos

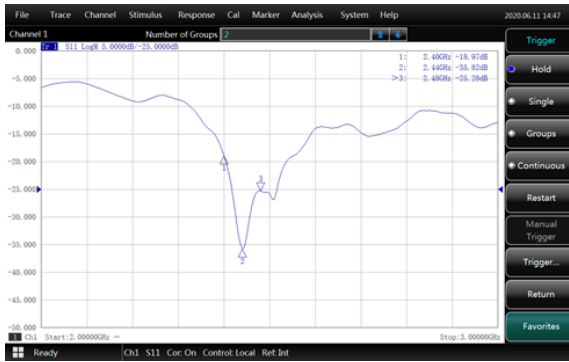
La antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico fue confeccionada con los materiales siguientes: alambre de cobre de 1 mm de diámetro; lámina de aluminio de 0.5 mm de espesor y conector N hembra. La Fig. 8 muestra prototipo de la antena una vez terminada.



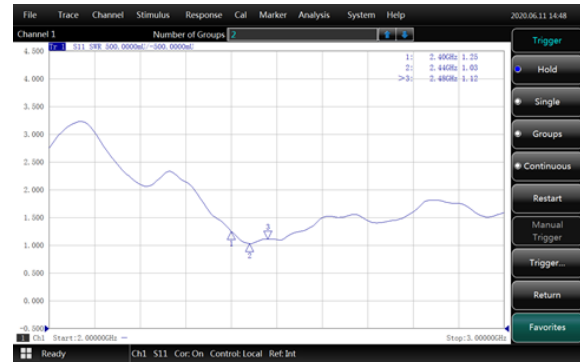
**Fig. 8.** Prototipo de la antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico.

Las mediciones de los parámetros de pérdidas por retorno, ROE e impedancia en el punto de alimentación fueron llevadas a cabo en el analizador vectorial de redes Ceyear 3672A en la Empresa de Antenas de Villa Clara. Mientras que las mediciones de los parámetros: patrón de radiación, ganancia y razón front-to-back fueron llevadas a cabo en el analizador de espectro DEVISER DSA-8853T en la misma empresa.

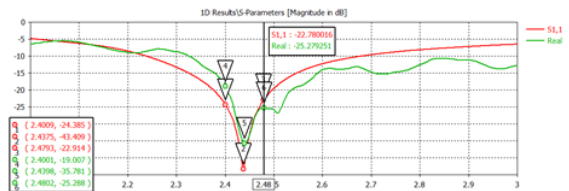
El valor de -35 dB para la frecuencia central de la banda (2.44 GHz) denota unas pérdidas por reflexión muy atenuadas. También en los otros puntos de interés, al inicio y final de la banda, los valores son de -19 dB para 2.4 GHz y -25 dB para 2.48 GHz.



**Fig. 9.** Parámetros de impedancia o pérdidas por reflexión de la antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico según el analizador vectorial de redes 3672A.

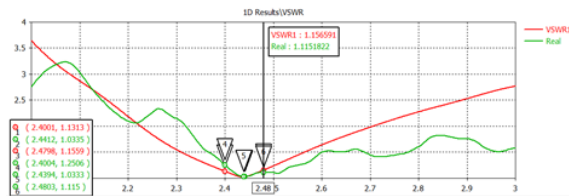


**Fig. 12.** ROE de la antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico según el analizador vectorial de redes 3672A.

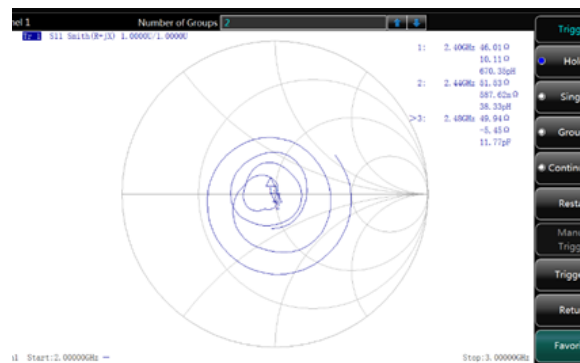


**Fig. 10.** Parámetros de impedancia o pérdidas por reflexión de la antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico según el software CST Microwave Studio 2018.

El parámetro ROE se observa en las Fig. 11 y 12. Se puede apreciar que la antena prácticamente posee el mismo comportamiento de antenas profesionales (ROE < 1.5), al cumplir que ROE < 1.25 en toda la banda.



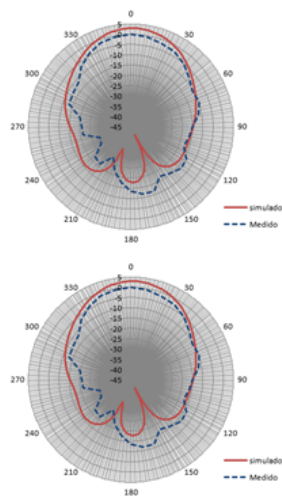
**Fig. 11.** ROE de la antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico según el software CST Microwave Studio 2018.



**Fig. 13.** Carta de Smith de la antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico según el analizador vectorial de redes 3672A.

Se aprecia un mejor desempeño del prototipo real con respecto a los resultados simulados en los parámetros de mayor importancia medidos. Las mediciones de los patrones de radiación y ganancia fueron realizadas con una separación de dos metros entre la antena transmisora y la receptora, cumpliendo con la distancia requerida para el campo lejano  $F_f$  (farfield) =  $(2 \cdot D^2) / \lambda$  [m] [12], donde  $D = 0.23$  m, y es la longitud mayor de las tres antenas utilizadas para el cálculo de la ganancia. Tanto la ganancia como el patrón de radiación se midieron con una antena transmisora y una receptora bajo prueba soportadas en un mástil de tres metros sobre una base giratoria con escala graduada y resolución de diez grados, haciendo uso del método de medición de las dos antenas.

Mediante el generador de señales Ceyear 1435B se generó una señal de 0 dBm por el puerto RF out hacia la antena transmisora. A su vez, por el puerto de entrada del analizador de espectro se midió la señal recibida proveniente de la antena receptora bajo prueba. Las mediciones de los niveles de potencia recibidos cada diez grados por la antena receptora bajo prueba son normalizados y luego graficados en el software Microsoft Excel para la conformación del patrón de radiación. La Fig. 14 muestra el patrón de radiación vertical y horizontal simulado y medido para la antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico para la frecuencia central de la banda (2.44 GHz).



**Fig. 14.** Patrones de radiación medido vs patrón de radiación simulado de la antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico. a) Plano E y b) Plano H.

#### **D. Cálculo de la ganancia real de las antenas**

Los cables que conectan las antenas (del tipo LMR-400) tienen una longitud de diez metros, desde del analizador de espectro hasta la antena, con pérdidas de 8.53 dB en transmisión y cinco metros con pérdidas de 3.75 dB del analizador de espectro a la antena en calidad de receptora con conectores tipo N. La ganancia de las antenas se puede determinar mediante

diferentes alternativas que emplean dos, tres o cuatro antenas [13]. El método escogido para la realización de este proyecto fue el de las tres antenas, por lo que se realizaron tres mediciones. La primera medición se elaboró entre la antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico y la antena doble Biquad con reflector plano. La segunda entre la antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico y la antena parche; finalmente, la tercera medición entre antena doble Biquad con reflector plano y la parche. Al tener tres mediciones y tres incógnitas ( $G_1$ ,  $G_2$  y  $G_3$ ), se plantea un sistema de tres ecuaciones simultáneas al aplicar la ecuación de Friss:

(10)

$$P_{i(\text{dB})} - P_{j(\text{dB})} = 32.45 + 20 \log f_{(\text{MHz})} + 20 \log d_{(\text{Km})} - G_{i(\text{dB})} - G_{j(\text{dB})} + L_{(\text{dB})}$$

Los datos medidos, y con los que se cuenta para la resolución de estas ecuaciones con el fin de determinar las ganancias, fueron analizados de prototipos de la antena en cuestión, una de parche y una doble Biquad con reflector plano, diseñadas para la frecuencia de trabajo 2.4 GHz: potencia de transmisión siempre de 0 dBm; pérdidas por cables y conectores  $L=12.58$  dB; potencia medida con Tx doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico y Rx doble Biquad con uno plano igual a  $-32.8$  dBm; potencia medida con Tx doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico y Rx parche =  $-36.2$  dBm; potencia medida con Tx doble Biquad con reflector plano y Rx parche =  $-37.5$  dBm; distancia entre las antenas de dos metros y frecuencia de medición de 2.44 GHz.

Al darle solución al sistema de ecuaciones con los datos medidos se obtuvo una ganancia real de la antena doble Biquad con reflector parabólico cilíndrico de 13.65 dB. La comparación entre los valores simulados y reales se muestra en la tabla 1. La similitud entre estos denota la validación de los resultados obtenidos a través de las simulaciones



y la construcción correcta de los prototipos de antena construidos para la frecuencia central de la banda wifi (2.44 GHz).

**Tabla 1.**

Comparación entre la ganancia simulada y real de la antena.

Ganancia Simulada	Ganancia Real
12.98 dB	13.65 dB

## Conclusiones

Los prototipos fueron realizados con éxito. Los resultados arrojados por las mediciones reales de la antena estaban principalmente caracterizados por un gran parecido con aquellos obtenidos en las simulaciones, manifestando un comportamiento típico de antenas profesionales ante señales de la banda de 2.4 GHz. El software CST Microwave Studio 2018 resultó ser una poderosa herramienta de procesamiento y simulación, permitiendo hacer las variaciones y estimaciones necesarias para la edición de la antena diseñada y dejando ver unos resultados fieles a los simulados cuando estas fueron construidas en la práctica. Por último, las antenas diseñadas tienen como característica común que resultan ser de fácil construcción y, de manera general, son materiales reciclables los que requieren en sus estructuras.

## Referencias

- [1] J. Solar, *Novel Multifrequency and Small Monopole Antenna Techniques for Wireless and Mobile Applications*, tesis PhD, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), España, 2005.
- [2] R. C. Johnson y H. Jasik, eds., *Antenna Engineering Handbook*, 3a ed., McGraw-Hill, 1993.
- [3] W. V. T. Rusch y P. D. Potter, *Analysis of reflector antennas*, Cambridge, EE. UU: Academic Press, 2013.
- [4] T. Marshall. (2001). "BiQuad 802.11 b antenna." [Internet]. Disponible en <http://trevormarshall.com/bi-quad.htm>
- [5] S. Ahmed y W. Menzel, "A novel planar four-quad antenna", en *2012 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, Praga, República Checa: IEEE, may. 2012, pp. 1946–1949.
- [6] K. Kalinovska y P. Z. Petkov, "Omnidirectional Biquad Omni-Antenna for 2.4 GHz Wireless Link Application", en *Conference ICEST*, Ohrid, Macedonia, jun. 2016.
- [7] C. P. Vega, "Antenas con reflector parabólico", documento no publicado, Dep. Ing. Comun. Univ. Cantabria Santander, 2008.
- [8] Y. Z. Umul, "Scattering of a line source by a cylindrical parabolic impedance surface", *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 25, n.o 7, pp. 1652–1659, 2008.
- [9] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 2a ed., Nueva York, EE. UU: John Willey & Sons Inc, 1997.
- [10] A. Z. Arguelles, "Super high frequency reflective biquad antenna", en *2017 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, San Diego, EE. UU: IEEE, jul. 2017, pp. 2205-2206.
- [11] K. Kalinovska y P. Z. Petkov, "Omnidirectional Double Biquad Omni-Antenna for 2.4 GHz Wireless Link Application", en *Conference ICEST*, jun. 2016, Ohrid, Macedonia.
- [12] C. A. Balanis, *Modern Antenna Handbook*, Nueva York, EE. UU: John Wiley & Sons, 2008.
- [13] J. L. Medina-Monroy, E. Díaz-Tapia, J. L. Olvera-Cervantes, R. A. Chávez-Pérez y A. Velázquez-Ventura, "Análisis y comparación de metodologías para determinar experimen-

talmente la ganancia de antenas de rf y microondas”, en *Simposio de Metrología Queretaro*. México: CENAM, oct. 2008, pp. 22–24.