



PROPUESTA DE ANTENA PARA REDES INALÁMBRICAS Wi-Fi

ANTENNA PROPOSAL FOR WIRELESS NETWORKS Wi-Fi

David Beltrán Casanova¹, Tuan Ernesto Cordoví Rodríguez²

¹Fac. de Ing. Eléctrica, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), Santa Clara, V.C, Cuba

²Antenas VC, Cuba, Carretera Central No. 536-A Esquina a Tirso Díaz, Santa Clara, Villa Clara, Cuba

¹dbeltranc@uclv.edu.cu

²tuan@antenasvc.co.cu

RESUMEN

El presente trabajo está encaminado al diseño de un prototipo de antena para aplicaciones en redes inalámbricas Wi-Fi, sobre el estándar IEEE 802.11 b/g que permite el enlace inalámbrico en la banda de 2.4 GHz. Debido a los nuevos cambios tecnológicos en los que se encuentra inmersa la empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) plantea la necesidad de sustitución de importaciones con el desarrollo de las mismas por parte de la Empresa de Antenas de Villa Clara. La fabricación de antenas para aplicaciones Wi-Fi constituye algo novedoso dentro del objeto social de la empresa, ya que las mismas no habían sido valoradas o fabricadas anteriormente. Para dar cumplimiento al propósito de este trabajo se analizaron varios documentos con los que se pudieron estudiar las características de las antenas para un posterior diseño con la ayuda del software profesional *CST MICROWAVE STUDIO 2015*. Luego de las simulaciones y la obtención de los parámetros típicos dentro de la banda de frecuencia de operación, fueron construidos algunos prototipos y realizadas las mediciones experimentales. Los resultados obtenidos en las mediciones para las pérdidas por retorno, razón de onda estacionaria (ROE) mostraron características propias de antenas profesionales de fabricantes reconocidos.

PALABRAS CLAVES: Bi-cuadro, analizador vectorial de redes, razón de onda estacionaria, ganancia, patrón de radiación.

ABSTRACT

The present work is directed to the design of an antenna type for Wi-Fi wireless network applications in Cuba, on the IEEE 802.11 b/g standard that allows the wireless link in the 2.4 GHz band. Due to the new technological changes in which the company of Telecommunications of Cuba (ETECSA) is immersed, it raises the necessity of import substitution with the development of the same ones by the Company of Antennas of Villa Clara. Also the manufacture of antennas for Wi-Fi applications constitutes something new within the corporate purpose of the company, since they had not been valued or manufactured before. In order to fulfill the purpose of this work several documents were analyzed with which it was possible to study the characteristics of the antennas for a later design with the help of the professional software *CST MICROWAVE STUDIO 2015*. After the simulations and the obtaining of the typical parameters inside Of the frequency band of operation, some prototypes were constructed and the experimental measurements were made. The results obtained in the measurements for return losses, standing wave ratio (SWR) showed characteristics of professional antennas of recognized manufacturers.

KEY WORDS: *Biquad*, vector network analyzer, standing wave ratio, gain, radiation pattern

1. INTRODUCCIÓN

En las redes WLAN también conocidas como Wi-Fi, las antenas permiten que se establezca la conexión. Debido a que en muchas ocasiones, teniendo en cuenta el terreno, la distancia o quizás la disponibilidad económica para llevar a cabo una red cableada es necesario buscar soluciones por la vía inalámbrica donde juegan un papel importante los medios para este tipo de comunicaciones.

En estos momentos en el país, la empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) se encuentra en un proceso de extensión de sus servicios a la población a través de las redes inalámbricas o Wi-Fi. Lo que hace evidente la necesidad de hacer inversiones en dispositivos, los que llegan a ser muy costosos y en los se encuentra un elemento común e indispensable: la antena [1].

Como el costo de estas antenas con tecnología de punta siempre ha sido alto, el saber cómo construir antenas con igual o mejor desempeño a las de fabricación comercial con recursos materiales nacionales a un menor precio podría servir como medio de solución. Precisamente, la fabricación de antenas para medios de transmisión de datos constituye también un objetivo de la Empresa de Antenas de Villa Clara donde por primera vez se llevó a cabo la realización de algunos prototipos y posteriormente la integración de estos a la cantera de proyectos.

2. PROPUESTA DE ANTENA BI-CUADRO PARA LA BANDA ISM DE 2.4 GHz

Antena cúbica o *Quad*

Este tipo de antena fue desarrollada por Clarence Moore en 1942 quien trabajó como ingeniero para la emisora HCIB en Quito, Ecuador. La misma constituye uno de los arreglos de antenas en ocasiones efectivos, denominada antena cuadrangular cúbica o simplemente *Quad* (Fig. 1). Consiste de dos o más bucles cuadrados de hilo, soportados cada uno de ellos por una estructura que puede ser de fibra de vidrio, o cualquier material aislante permisible para las frecuencias en el orden de las microondas. Los lazos o cuadros tienen un cuarto de longitud de onda por lado por lo que su longitud total es de una longitud de onda [1].

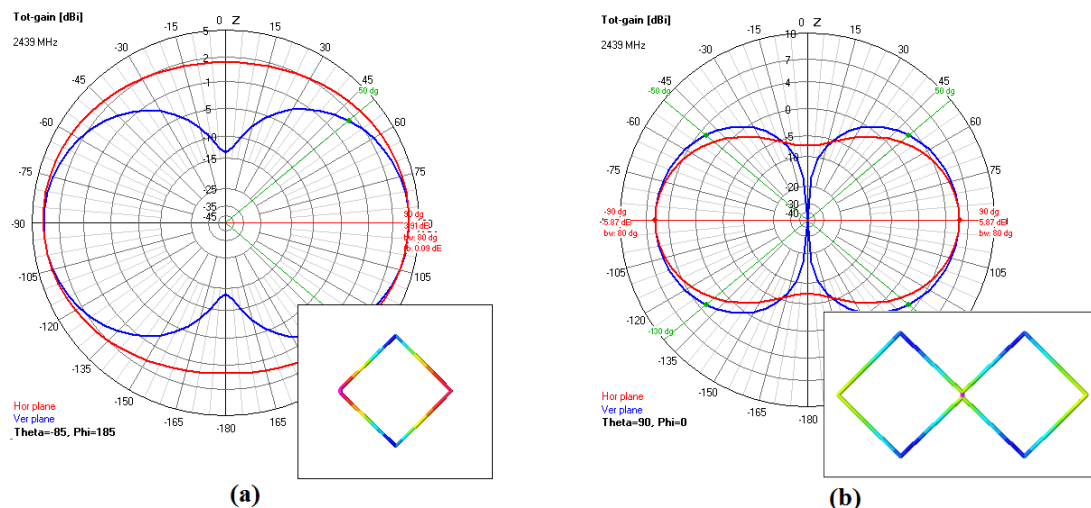


Figura 1: Antenas de cuadro con su patrón de radiación: (a) simple (*Quad*) y (b) doble (*Biquad*)

Cuando el perímetro del lazo, cuadro o *Quad* se aproxima a la longitud de onda, la máxima radiación (directividad) se produce en las direcciones perpendiculares al plano del lazo en ambos lados [2]. Por lo tanto, el perímetro del lazo se elige por lo general para que sea aproximadamente igual a la longitud de onda de operación.

Antena Bi-cuadro (*Biquad*)

Una de las antenas más usadas por aficionados en internet es la antena bi-cuadro más conocida como *Biquad*. Esta antena tiene la característica fundamental que posee un buen ancho de banda para diversas aplicaciones y en Wi-Fi puede cubrir todos los canales manteniendo sus características radioeléctricas [3]. Una antena *Biquad* no es nada más que dos antenas de bucle único (*Quad*) que a su vez forman una matriz donde cada una de ellas es un componente excitado.

La antena *Biquad* (Fig. 2) cumple el principio de dos lazos conductores cuadrados conectados en paralelo bajo la influencia de un plano reflector con el objetivo de mejorar las características de Relación Delante-Atrás o Front-to-Back (F/B) convirtiéndose en una antena direccional de aproximadamente 10 dBi de ganancia para 2.44 GHz [4].

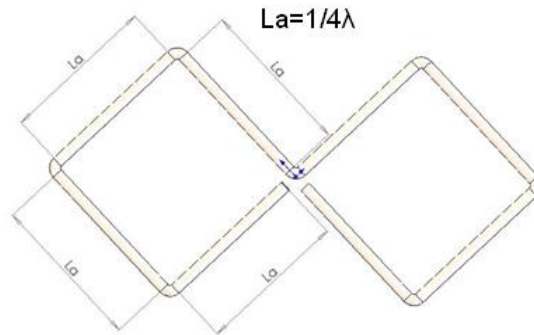


Figura 2: Secciones de la antena *Biquad*

3. DISEÑO DE LA ANTENA BIQUAD PARA LA BANDA DE 2.4 GHz

En cuanto a su método de diseño puede decirse que no existe uno realmente eficiente, en todos los segmentos de una banda de frecuencias específica, es por ello que se hacen pruebas mediante la simulación con herramientas virtuales para llegar a propuestas conforme a los intereses.

Cálculo del radiador y el reflector.

1. Frecuencia de operación ($f_o = 2.440$ GHz)
2. Cálculo de la longitud de onda (λ) a la frecuencia de operación:

$$\lambda = c/f_o$$

c : velocidad de la luz en el espacio libre.

λ : longitud de onda

3. Calcular longitud de cada segmento del *quad* (radiador):

$$ld = 1/4 \lambda$$

ld : longitud de los lados del radiador.

4. Distancia entre el *Biquad* y el reflector:

$$h = (1/8)\lambda$$

* Considerar que la ROE vs directividad, la distancia podría variar entre 15 mm y 20 mm.

5. Altura del plano reflector $A_R = 105$ mm. (Como mínimo)
6. Largo del plano reflector $L_R = 235.4$ mm.
7. Radio del conductor $R \leq 2.5$ mm.
8. Cerciorarse que los dobleces estén exactamente a la longitud calculada y con un ángulo de 90° .
9. Tener en cuenta que la longitud total de cada *Quad* es aproximadamente igual a una longitud de onda y la longitud de una *Biquad* sería dos veces la longitud de onda.

Para la realización de la antena se decidió emplear la tecnología de microcinta como solución para una futura producción en masa a escala industrial de este tipo de antena, en sustitución de los alambres de cobre tan usados



por los aficionados, lo que se traduce en: un menor tiempo de construcción y mano de obra, lo que equivale a un aumento de la producción y la obtención de mayores ingresos en menor tiempo. Demostrándose además, en el proceso de validación del prototipo que el comportamiento es el esperado en este tipo de antenas, sin afectaciones en su desempeño al emplear la tecnología de microcintas.

Diseño a través del software CST MICROWAVE STUDIO 2015

El diseño teórico de esta antena fue realizado a partir de la teoría para conductores cilíndricos. Se implementa el primer prototipo de simulación empleando el software CST MICROWAVE STUDIO 2015 (CST-MS) teniendo en cuenta sus potencialidades de cálculo ya que constituye un software muy recomendado para la simulación de antenas. En la Fig. 3 se muestra un modelo de antena simulado en CST-MS.

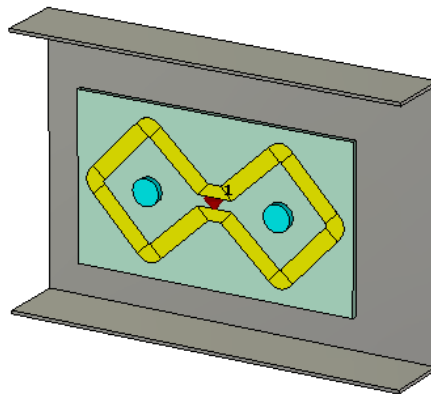


Figura 3: Modelo de Antena *Biquad* en CST-MS

En la Tabla 1 se muestran los parámetros utilizados en el CST-MS para la simulación inicial de la antena. Los valores correspondientes a las dimensiones de la antena se especifican en milímetros para lograr una idea más clara del tamaño real de la misma.

Tabla 1: Parámetros utilizados y calculados en el proceso de diseño.

Parámetro Utilizado	Abreviatura	Valor	Unidad
Velocidad de la luz	c	300 000 000	m/s
Frecuencia central de la banda ^{*1}	f_c	2.440	GHz
Calculado			
Longitud de onda ^{*2}	λ_c	0.1229	m
Ancho de la pista ^{*3}	A	4	mm
Grosor de la pista	G	0.0035	mm
Grosor del FR-4	gr	1.6465	mm
Largo del FR-4	X	110	mm
Altura del FR-4	Y	62	mm
Longitud del radiador	ld	30.7	mm

^{*1} Frecuencia central de la banda de trabajo calculada como $f_c = \frac{f_H + f_L}{2}$.

^{*2} La longitud de onda se calcula para la frecuencia central de la banda.

^{*3} El ancho de la pista se calculó tomando como referencia un conductor cilíndrico de radio 2 mm y un grosor de la pista aproximadamente cero (0.0035 mm) auxiliándose de una fórmula para convertir de un conductor cilíndrico a uno rectangular y viceversa $a_e = 0.25 * a$ [2].

Modelado y Simulación

Los parámetros: ganancia, razón de onda estacionaria (ROE), pérdidas por retorno, razón front-to-back e impedancia en el punto de alimentación de la antena se define mediante un barrido de frecuencias realizado con

CST MICROWAVE STUDIO 2015 de 2 GHz a 3 GHz. Específicamente, los resultados se centran en 2.441 GHz donde menor se hacen las pérdidas por retorno, en 2.441 GHz posee el valor más bajo de -44.8 dB. En la Fig. 4 se muestra el parámetro S11 en (dB) que representa las pérdidas por retorno.

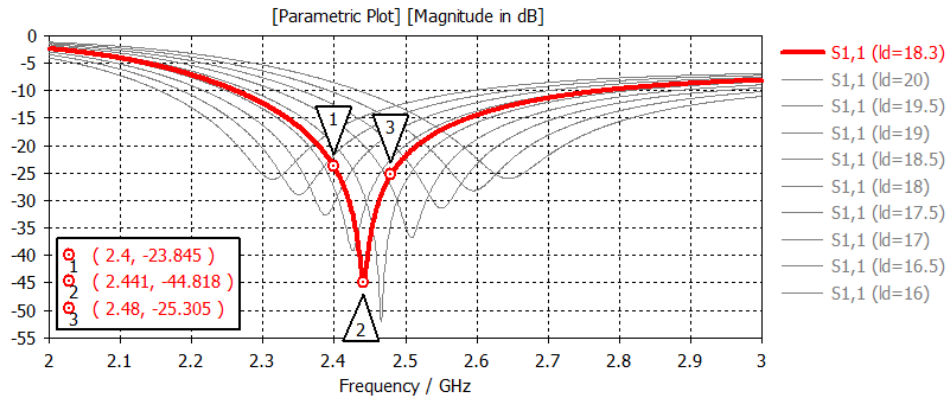


Figura 4: Pérdidas por retorno vs frecuencia

La Fig.5 representa la razón de onda estacionaria ROE ($VSWR$) con valores que comienzan aproximadamente en 1.14 para la frecuencia inicial de la banda disminuyendo hasta alcanzar la frecuencia central de trabajo con un valor de 1.01 y luego aumenta hasta llegar en 2.48 GHz a un valor 1.11. Esto pone de manifiesto una de las características más importante de esta antena y es que la misma puede cubrir toda la banda de frecuencia (2.400 GHz – 2.4835 GHz) con excelente desempeño y con valores de ROE ≤ 1.5 que se establece como criterio de diseño para antenas profesionales.

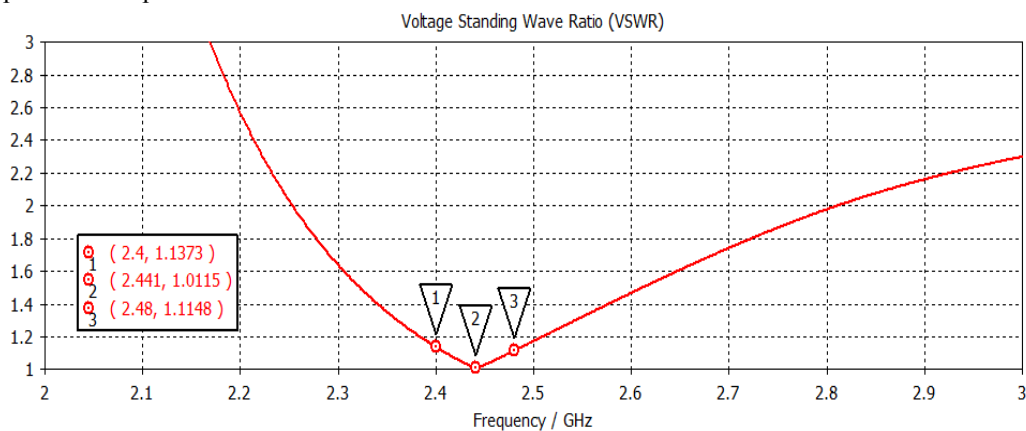


Figura 5: ROE vs frecuencia

En la Fig. 6 se muestra la máxima ganancia vs frecuencia en toda la banda, apreciándose en 2.4 GHz una ganancia de 8.3 dBi que continua aumentando hacia el centro de la banda (2.442 GHz) a un valor de 8.39 dBi aumentando conforme la frecuencia hasta alcanzar en los 2.48 GHz una ganancia de 8.49 dBi.

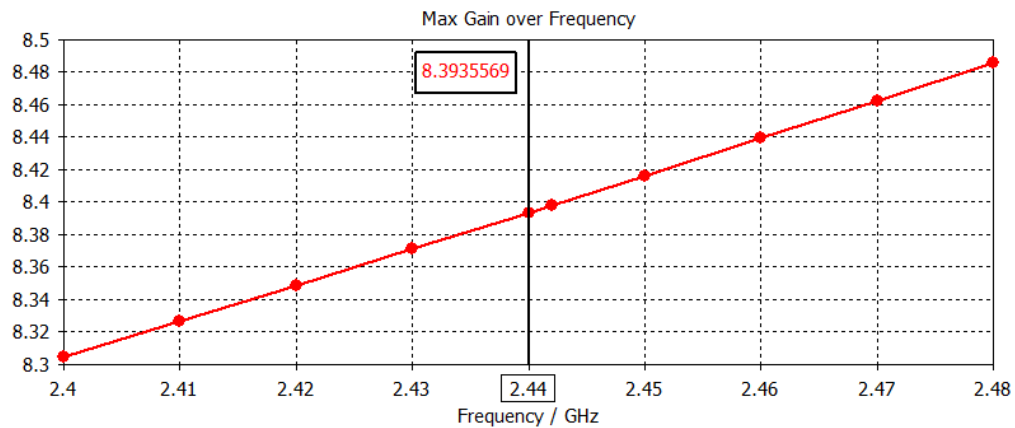


Figura 6: Ganancia vs frecuencia

En la Fig. 7 se muestra la razón *front-to-back* con un valor de 30 dB para 2.441 GHz. Se puede decir que la misma posee una buena razón *front-to-back* por lo cual tendrá menor cantidad de interferencias por ruido provenientes de señales que lleguen por la parte trasera de la antena.

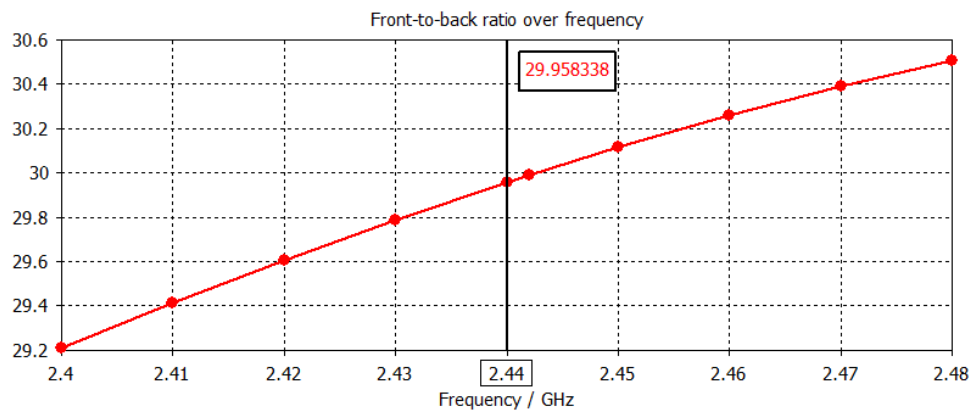
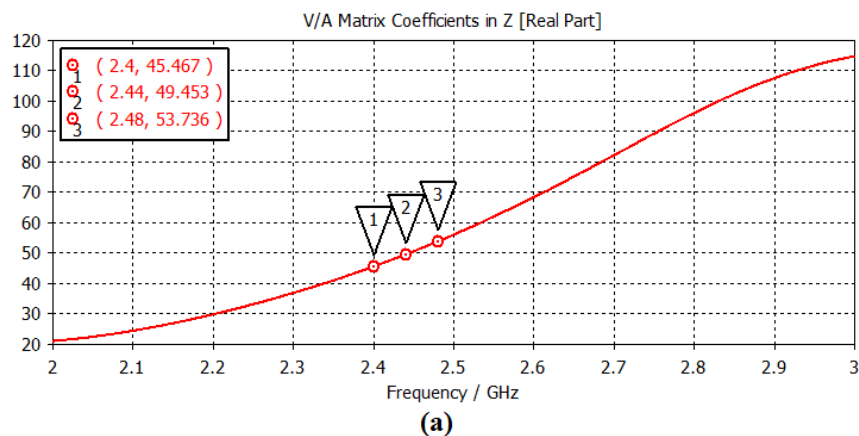


Figura 7: *Front-to-Back* vs frequency

La Fig. 8 representa el comportamiento de la impedancia de entrada en el punto de alimentación en parte real e imaginaria respectivamente. La impedancia de entrada en la frecuencia central de la banda está representada con una resistencia de 49.4 Ω y la reactancia de entrada es de 0.25 Ω aproximadamente.



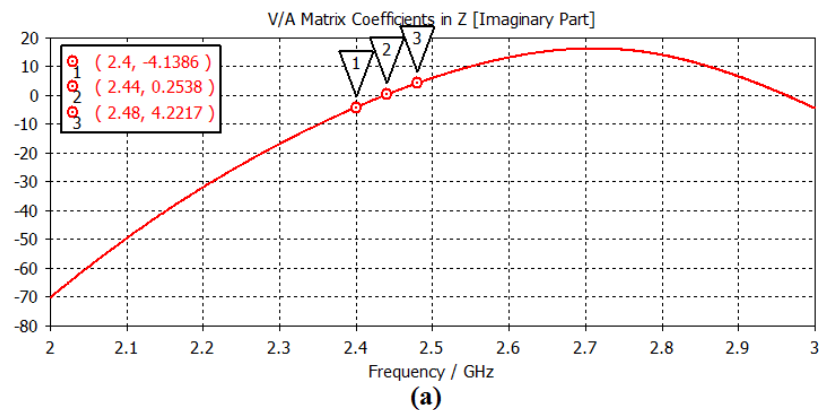


Figura 8: Impedancia de entrada vs frecuencia: (a) resistencia y (b) reactancia

En la Fig. 9 se muestra el patrón de radiación de potencia en tres dimensiones y en coordenadas polares, entre otras características.

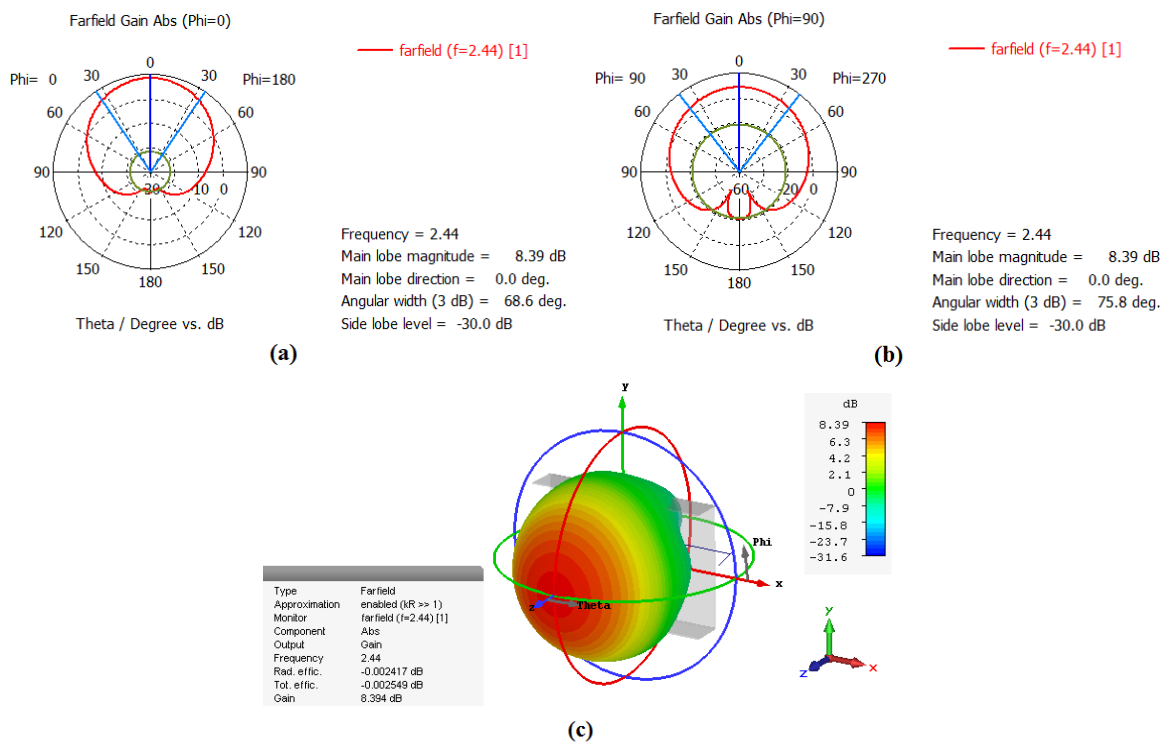


Figura 9: Patrón de radiación: (a) plano H, (b) plano E y (c) 3D

4. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EXPERIMENTALES

Las mediciones de los parámetros: pérdidas por retorno, razón de onda estacionaria e impedancia en el punto de alimentación fueron llevadas a cabo en el analizador vectorial de redes ZVB 20 que se encuentra en el Laboratorio de Investigación para Comunicaciones de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE). 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 perteneciente al Dpto. de I+D de la Empresa de Antenas de Villa Clara. En la Fig. 10 se muestran algunos prototipos de antena *Biquad* una vez terminada su fabricación.

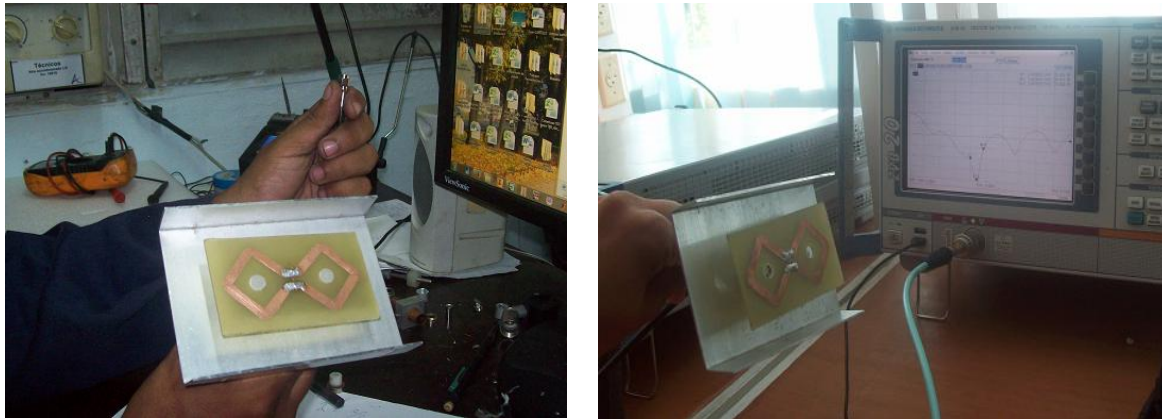


Figura 10: Prototipos de antenas *Biquad* para 2.4 GHz

Resultados obtenidos en las mediciones de pérdidas por retorno y ROE

Las pérdidas por retorno (S_{11}) en dB, la razón de onda estacionaria (VSWR), y la impedancia en el punto de alimentación fueron obtenidas a través del instrumento Analizador Vectorial de Redes ZVB 20. En las Fig. 11 se puede observar el resultado obtenido la medición del parámetro pérdidas por retorno. Se puede observar que las pérdidas por retorno están por debajo del alcanzado en la simulación en toda la banda de 2.4 GHz, con un valor de -32.83 dB para la frecuencia central.

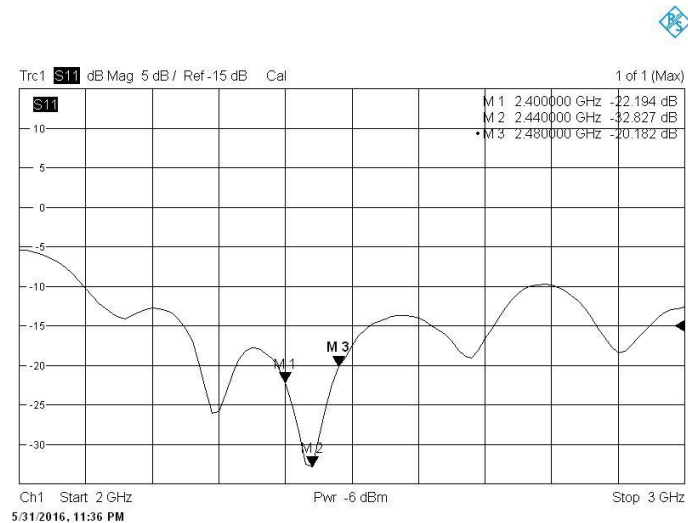


Figura 11: Pérdidas por retorno medida en la banda de 2.4 GHz

Las Fig. 12 se muestran los resultados alcanzados en las simulaciones y en las mediciones para la razón de onda estacionaria (VSWR). En la misma se evidencia el buen ancho de banda que este tipo de antena presenta, con valores de ROE < 1.5 en toda la banda, característico de antenas profesionales. Los valores de ROE para la antena medida son de aproximadamente 1.17 para 2.4 GHz, 1.05 para la frecuencia central de la banda 2.44 GHz y 1.22 para 2.48 GHz.

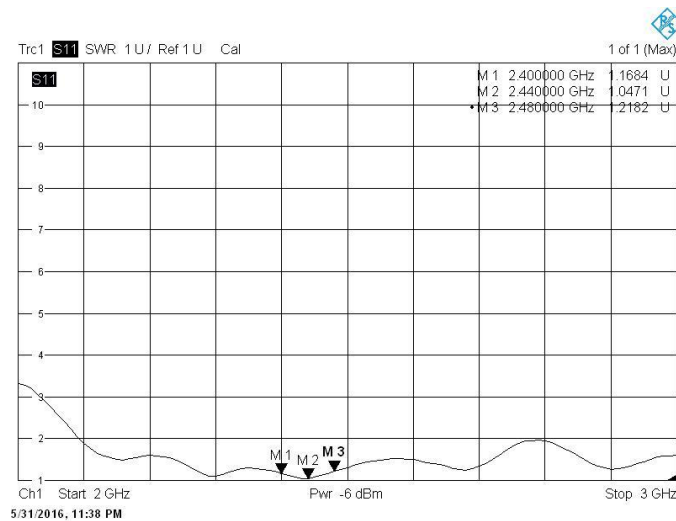


Figura 12: ROE en la banda de 2.4 GHz

La Fig. 13 muestra la impedancia de entrada para el punto de alimentación a través de la carta de Smith obtenida en el instrumento de medición ZVB 20.

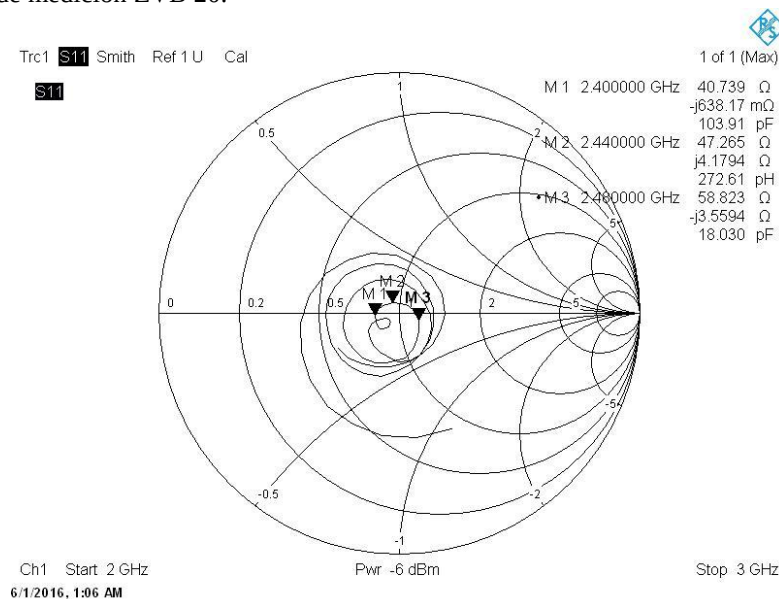


Figura 13. Impedancia de entrada a través de la Carta de Smith

Mediciones de los parámetros de radiación

Las mediciones de los patrones de radiación de potencia, ganancia de potencia y razón *front-to-back* fueron realizadas con una separación de trece metros entre la antena transmisora y la receptora, cumpliendo con la distancia requerida para el campo lejano F_f (*Far-field*), $F_f = 2(D)^2/\lambda$ [m] [2], donde $D = 0.9$ m, y es la longitud mayor de las tres antenas que se utilizaran en el proceso de medición. Tanto la ganancia como la razón *front-to-back* y el patrón de radiación se midieron con una antena transmisora y una receptora bajo prueba soportadas en un mástil de 3 metros sobre una base giratoria con escala graduada y resolución de 10 grados, haciendo uso del método de medición de las tres antenas.

Mediante un Analizador de Espectro *DEVISER DSA-8853T* se generó una señal de 0 dBm por el puerto *tracking* hacia la antena transmisora y por el puerto de entrada de otro analizador de espectro con igual característica se

midió la señal recibida proveniente de la antena receptora bajo prueba. La Fig. 14 muestra un ejemplo del escenario con los diferentes modelos utilizados en las mediciones.

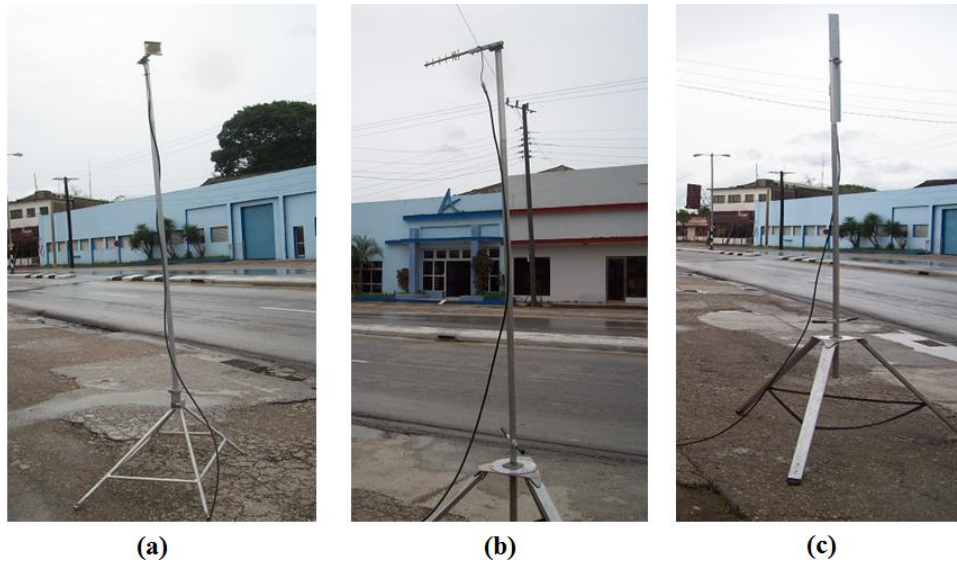


Figura 14: Ejemplo de escenario implementado en las mediciones: (a) Antena *Biquad*, (b) *Uda-Yagi* y (c) Sectorial

Medición de ganancia de potencia y *front-to-back*

La ganancia de las antenas se puede determinar mediante diferentes alternativas que emplean dos, tres o cuatro antenas (Fig. 15) [5].

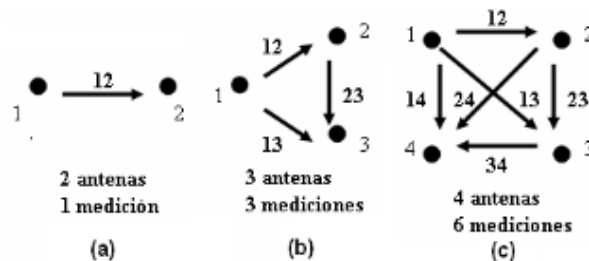


Figura 15: Métodos de mediciones de antenas.

En este caso como se había dicho anteriormente el método a utilizar es el de las 3 antenas (Figura 15 (b)).

Antena *Uda-Yagi* $\longrightarrow$ 1
 Antena *Biquad* $\longrightarrow$ 2
 Antena *Franklin* $\longrightarrow$ 3

Escenario (Tx. *Uda-Yagi* – Rx. *Biquad*)

$$(P_1)_{dB} - (P_2)_{dB} = 32.45 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log d(\text{Km}) - G_1(\text{dB}) - G_2(\text{dB}) + L(\text{dB})$$

Escenario (Tx. *Uda-Yagi* – Rx. *Franklin*)

$$(P_1)_{dB} - (P_3)_{dB} = 32.45 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log d(\text{Km}) - G_1(\text{dB}) - G_3(\text{dB}) + L(\text{dB})$$



Escenario (Tx. *Biquad* – Rx. *Franklin*)

$$(P_2)_{dB} - (P_3)_{dB} = 32.45 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log d(\text{Km}) - G_2(\text{dB}) - G_3(\text{dB}) + L(\text{dB})$$

L: Pérdidas por cables y conectores. L = 13 dB

La Tabla 2 muestra los valores de ganancia y razón *front-to-back* simulada y medida obtenida para la antena. El cálculo para la ganancia y la razón *front-to-back* reales fueron realizados haciendo uso del software MATLAB, obteniendo los siguientes resultados para la frecuencia central de la banda (2.44 GHz).

Tabla 2: Valores de ganancia y razón *front-to-back* para 2.44 GHz simulada y real de la antena bajo mediciones.

Antena	Ganancia		Razón front-to-back	
	Simulada	Real	Simulada	Real
<i>Biquad</i>	8.38 dBi	10.4883 dBi	29.7 dB	29 dB

Las variaciones de los valores medidos con respecto a los simulados son producto a diversos factores. Uno de ellos es la influencia de las señales multitrayecto que se suman con la señal directa proveniente de la antena transmisora y que se reflejan desde el suelo. Estas mediciones se recomienda realizarlas en una cámara anecoica con paredes absorbentes que simula las condiciones ideales de espacio libre.

Medición del patrón de radiación de potencia

En la medición del patrón de radiación se tuvo en cuenta el plano E y el plano H. Se realizó midiendo los niveles de potencia recibida cada 10 grados por la antena receptora bajo prueba, los cuales fueron normalizados y luego graficados para la conformación del patrón de radiación. La Fig. 16 muestra el patrón de radiación vertical y horizontal simulado en comparación con el medido en la antena *Biquad* para la frecuencia central de la banda (2.44 GHz).

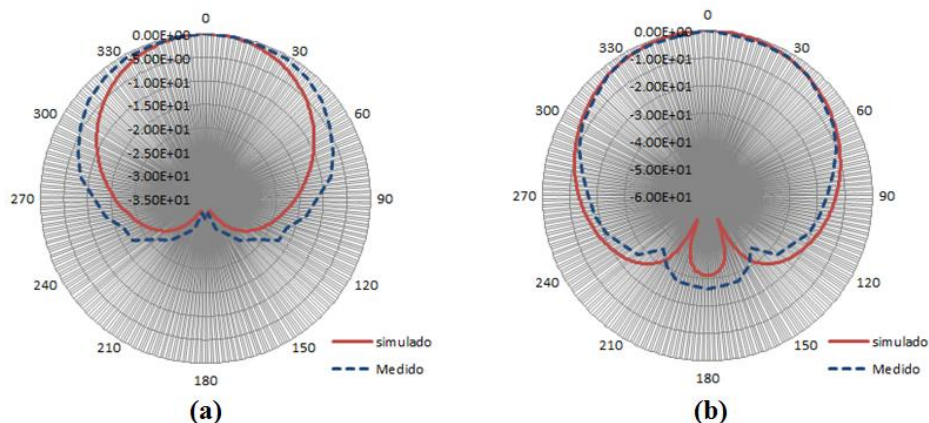


Figura. 16: Patrón de radiación: (a) plano E y (b) plano H

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

El costo económico luego de fabricar las antenas, se centra principalmente en el valor monetario de los conectores (RP-SMA invertido), el cable coaxial (LMR-200) ambos componentes de bajas pérdidas y la placa circuito impreso de material FR-4. Con valores de \$ 3.4 USD para los conectores, \$ 0.87 USD el metro para el cable de bajas pérdidas y \$ 2.2 USD para una placa de circuito impreso 12x18 cm de FR-4, si se tiene en cuenta que la antena puede ser construida en un área de 5x8 cm lo que equivaldría a menos del 20 % del área de una placa el precio de la misma en cuanto a placa de impreso se refiere estaría por los \$ 0.40 USD. Los demás materiales de la antena poseen un valor monetario aproximadamente de \$ 2.5 USD ya que son en, este caso, materiales existentes



en la actualidad en la Empresa de Antenas de Villa Clara. El costo total para la fabricación de antena *Biquad* ha de ser inferior a los \$ 7.00 USD.

6. CONCLUSIONES

Con los resultados alcanzados mediante la realización del presente trabajo se pudo demostrar que la antena tratada presenta características destacables para redes Wi-Fi. Al diseño no fue necesario realizarle cambios después de construido el prototipo por lo que se pudo comprobar la efectividad de los métodos de diseños teóricos en las simulaciones. Los resultados obtenidos en *CST MICROWAVE STUDIO 2015*, así como en las mediciones fundamentalmente los parámetros: razón de onda estacionaria (ROE) y pérdidas por retorno demostraron ser satisfactorios. En las mediciones se obtuvo un incremento en la ganancia de la antena *Biquad* con respecto a la simulada. La antena diseñada cumple con el diseño teórico-práctico llevado a cabo y puede ser fabricada industrialmente con un costo racional para la aplicación prevista destacando su comportamiento similar al de antenas profesionales disponibles actualmente en el mercado.

RECNOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los profesores del Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas de del Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría" (CUJAE) por los servicios y experiencias profesionales brindados para la realización de este trabajo

REFERENCIAS

1. FUNDORA, J. A. A. "Antena de Banda Ancha para la Recepción de Televisión", Facultad de Ingeniería Eléctrica, CUJAE, pp. 2 – 3, Ciudad de La Habana, 2013.
2. Balanis, C. A. *Antenna, Theory, Analysis and Design*. New Jersey: Editorial John Wiley & Sons, 2005. 231 pp.
3. Trevon Marchall, 2001. *Biquad 802.11b Antenna 11dBi wide band*. [ref. de 16 de abril 2016] Disponible en Web: <http://www.trevormarshall.com/biquad.htm>
4. Rodríguez, T. E. C. "Propuestas de Antenas de Transmisión de Datos y su Fabricación en Cuba", Facultad de ingeniería eléctrica, UCLV, pp. 2-3, Santa Clara, 2015.
5. Medina-Monroy J. L. et al. "Análisis y Comparación de Metodologías para Determinar Experimentalmente la Ganancia de Antenas de RF y Microondas." Simposio de Metrología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 2008, pp. 1-4.

SOBRE LOS AUTORES

David Beltrán Casanova. Graduado de Ingeniero Electrónico en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas en 1991, Máster en Electrónica Digital en 1996. Profesor de la Disciplina Sistemas de Radiocomunicaciones en Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones de la UCLV.

Tuan E. Cordoví Rodríguez. Profesor adjunto y consultante en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Master en Telemática. Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica en el año 2010 en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV). Se desempeña como Especialista Principal del Dpto. I+D de la Empresa de Antenas de Villa Clara, Correo: tcordovi@gmail.com, Teléfonos: 042 291364, +53 58497783