

Antena omnidireccional tipo arreglo colineal usando la técnica de microcinta para la banda ISM de 2,4 GHz

Kenneth Marichal Leyva, Reinier Quiala Llorens, Ailén Pérez Molinet

RESUMEN / ABSTRACT

En la presente investigación se describe la obtención de una antena tipo arreglo colineal utilizando la técnica de microcinta. Para el cumplimiento de dicho objetivo fue necesario realizar un estudio sobre las antenas que se utilizan con mayor frecuencia en la banda ISM de 2,4 GHz; ampliamente empleadas para ofrecer servicio Wi-Fi. La motivación de la investigación se centra en el poco conocimiento que brindan las literaturas consultadas sobre antenas de fácil reproducción, ligeras pero a la vez robustas, y que además posean propiedades omnidireccionales en el plano azimut. Utilizando la técnica de microcinta fue posible lograr un prototipo de antena que supliera tales necesidades. Las distintas etapas del proceso de diseño, simulación, construcción y medición, desarrolladas durante la investigación son una muestra de que los resultados alcanzados fueron satisfactorios, siendo avalados por la obtención de la forma de radiación deseada y, según las mediciones realizadas, de un alto nivel de adaptación, demostrado en una Razón de Ondas Estacionarias (ROE) menor a 1,288 en la banda de trabajo; mientras que la impedancia mantiene su parte real cercana a 50 Ohm y la imaginaria próxima a cero.

Palabras claves: banda ISM, Wifi, arreglo colineal, microcinta.

In the present investigation, the obtaining of an antenna type collinear arrangement using the microstrip technique is described. To fulfill this objective, it was necessary to carry out a study on the antennas that are most frequently used in the 2,4 GHz ISM band; widely used to offer Wi-Fi service. The motivation of the research focuses on the little knowledge provided by the literature consulted on easy-to-reproduce antennas, light but at the same time robust, and that also have omnidirectional properties in the azimuth plane. Using the microstrip technique it was possible to achieve a prototype antenna that would meet such needs. The different stages of the design, simulation, construction and measurement process developed during the investigation are a sample of the results achieved were satisfactory, being guaranteed by obtaining the desired form of radiation and, according to the measurements made, of a high level of adaptation, demonstrated in a Stationary Wave Ratio (ROE) of less than 1,288 in the work band; while the impedance keeps its real part close to 50 Ohm and the imaginary close to zero.

Key words: ISM band, Wifi, collinear arrangement, microstrip.

Omnidirectional antenna type arrangement collinear using the microstrip technique for the band ISM 2,4 GHz.

1. -INTRODUCCIÓN

Las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial en las áreas industrial, científica y médica [1-3]. El uso de estas bandas de frecuencia está abierto a todo el mundo sin necesidad de licencia, siempre y cuando se respeten las regulaciones que limitan los niveles de potencia transmitida [4]. Las mismas han sido popularizadas y han cobrado gran importancia, debido a que en ellas se ofrecen servicios de Red Inalámbrica de Área Local (WLAN), tal es el caso de Wi-Fi, o de Red Inalámbrica de Área Personal (WPAN) como el ZigBee o el Bluetooth [4]. El servicio Wi-Fi, el cual opera en la banda ISM de los 2,4 GHz, utiliza los estándares IEEE 802,11b, IEEE 802,11g e IEEE 802,11n [5,6], usando para ello antenas específicas. Los tipos de antenas omnidireccionales más comunes en esta banda están concebidos para el servicio Wi-Fi. Las mismas son casi siempre poco resistentes, o muy difíciles de emplazar debido a su tamaño, precisan de un trabajo mecánico que hace su reproducción muy compleja de lograr satisfactoriamente, y con el riesgo de presentar una calidad no uniforme al ser comparadas luego de una producción en serie.

Un arreglo colineal, usando la técnica de microcinta, sería una solución factible en el diseño de una antena omnidireccional pequeña y de fácil reproducción. El diseño de dicha antena reafirmaría la tendencia actual: la miniaturización. Las antenas, dispositivos radiotécnicos destinados a la transformación eficiente de ondas guiadas por una línea de transmisión en ondas no guiadas [7], no escapan de este acelerado progreso, el cual ha demandado una nueva generación de antenas. En principio, las antenas de microcinta, o más bien, las antenas impresas pueden construirse sobre una estructura delgada, de poco peso, de bajo costo, fáciles de producir y que son adaptables a diferentes formas y superficies. La compatibilidad de las antenas impresas con la electrónica integrada es evidente. La aparición de la antena impresa como una opción en el campo de las antenas ha conllevado consecuentemente a que se fabriquen diferentes tipos de placas de circuitos impresos con nuevos sustratos dieléctricos compuestos de teflón, alúmina, cuarzo, etc. [8]. Las aplicaciones de las antenas de microcintas se han ampliado para uso comercial en la aplicación de la comunicación radio móvil y la comunicación inalámbrica, la transmisión de voz, datos, etc [9-12]. Como se sabe estas antenas además de poseer un bajo perfil, pueden conformarse a la superficie donde se sitúan, son mecánicamente robustas, y compatibles con la tecnología MMIC (circuitos integrados monolíticos de microondas) [8].

2.- DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA ANTENA

Se ha podido conocer que el arreglo propuesto está basado en la alimentación serie en línea (colineal) y posee una geometría de parches rectangulares. Teniendo en cuenta lo anterior se concluye que la polarización del mismo es lineal, y que para lograr que el patrón de radiación sea omnidireccional, a ambos lados del sustrato se colocan elementos radiantes de forma alternada, para que de esa forma se complete el diagrama omnidireccional en el plano azimutal cuando el sistema esté en funcionamiento.

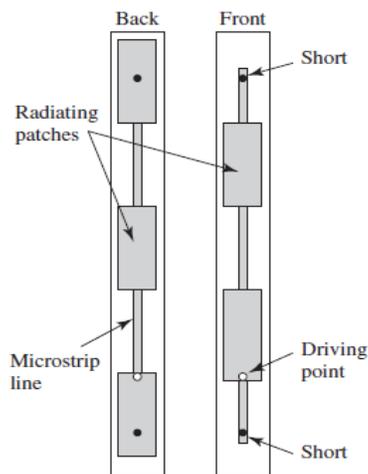


Figura 1: Vista frontal y trasera del diseño de la antena [13]

En la Fig. 1 se puede observar las vistas frontal y trasera del diseño de la antena, donde se reflejan las posiciones de los parches en cada cara del sustrato. Para el diseño del arreglo no existen ecuaciones, los resultados obtenidos se lograron mediante la optimización de todo el conjunto.

2.1.- DISEÑO DEL PARCHES RECTANGULAR

El parche rectangular es el elemento básico que se utilizará para la confección del arreglo, en la Fig. 2 se muestran las dimensiones del mismo. Este será analizado por los modelos de línea de transmisión. Para realizar el procedimiento de diseño del parche rectangular de microcinta es necesario conocer la permitividad dieléctrica del material donde se va a imprimir la antena (ϵ_r), la frecuencia de resonancia (f_r), y la altura del sustrato (h).

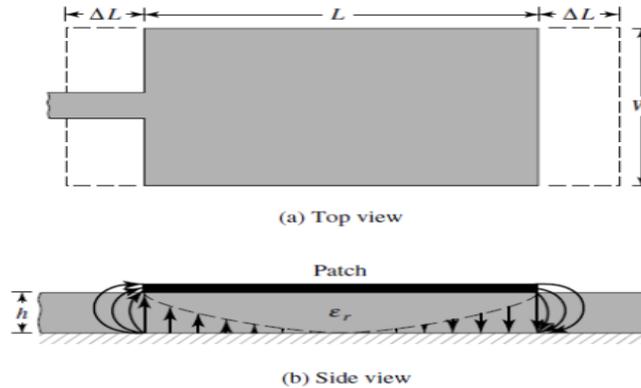


Figura 2: Dimensiones del diseño del parche [14]

El procedimiento para el diseño es el siguiente [13]:

Para obtener un radiador eficiente, el ancho w para obtener una buena eficiencia de radiación según la literatura consultada es la ecuación 1:

$$w = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

Donde:

v_0 es la velocidad de la luz.

μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío.

ϵ_0 es la permitividad dieléctrica del vacío.

En la ecuación 2 se determina el valor de la permitividad dieléctrica efectiva:

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \quad (2)$$

La relación aproximada para la extensión normalizada de la longitud, debido al efecto de desbordamiento viene dada en la ecuación 3 de forma práctica por:

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\epsilon_{ref} + 0,3) \left(\frac{w}{h} + 2,64 \right)}{(\epsilon_{ref} + 0,258) \left(\frac{w}{h} + 0,8 \right)} \quad (3)$$

En la ecuación 4 se determina la frecuencia de resonancia de la antena de microcinta para el modo dominante TM₀₁₀:

$$f_{ref(010)} = \frac{1}{2L_{ef} \sqrt{\epsilon_r} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \frac{1}{(L + 2\Delta L) \sqrt{\epsilon_r} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = q \frac{1}{2L \sqrt{\epsilon_r} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = q \frac{1}{2L \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

La longitud efectiva de la antena se obtiene a través de la ecuación 5, dada por:

$$L_{ef} = \frac{1}{2f_{res_{ef(010)}}\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (5)$$

Para dar una solución efectiva a la problemática primero se diseñará el elemento básico de la estructura de la antena, el parche rectangular. Se realizará este primer paso para lograr un acercamiento a la estructura definitiva haciendo uso del método sistémico.

Para este caso la problemática es la construcción de un parche rectangular usando sustrato FR-4 de constante dieléctrica aproximada 3,525, y $h = 1,6$ mm para resonar en la frecuencia de 2,45 GHz.

Solución: Usando (1), el ancho del parche es,

$$w = \frac{30}{2(2,45)}\sqrt{\frac{2}{3,525+1}}=4,07\text{cm}$$

La constante dieléctrica efectiva del parche se halla usando (2) es,

$$\epsilon_{ref} = \frac{3,525+1}{2} + \frac{3,525-1}{2} \left[1 + 12 \frac{0,16}{4,07} \right]^{-1/2} = 3,3032$$

La longitud incremental del parche, usando (3) es,

$$\Delta L = 0,16(0,412) \frac{(3,3032+0,3)\left(\frac{4,07}{0,16}+2,64\right)}{(3,3032+0,258)\left(\frac{4,07}{0,16}+0,8\right)} = 0,0835\text{cm}$$

La longitud del parche se halla usando (4) o,

$$L = \frac{\lambda}{2} - 2\Delta L = \frac{30}{2(2,45)\sqrt{3,3032}} - 2(0,0835) = 3,2017\text{cm}$$

Finalmente, la longitud efectiva es,

$$L_{ef} = L + 2\Delta L = \frac{\lambda}{2} = 3,3687\text{cm}$$

2.2.- ANÁLISIS Y DISEÑO DEL ARREGLO PROPUESTO

Teniendo como sustento las experiencias acumuladas durante el proceso de diseño y optimización de los parches y pequeños arreglos de prueba se procederá a diseñar, simular y optimizar el arreglo colineal en el programa CST 2014. Se considera que mejorarán las características de radiación omnidireccionales vistas hasta el momento, aumentará la ganancia de la antena, y se obtendrán valores más adecuados de ROE y ancho de banda; el cual se considerará está entre 2,4 y 2,5 GHz para cubrir ampliamente la banda ISM.

En la Fig. 3, la cual muestra la vista frontal de la antena simulada, en rojo se aprecian los parches de la cara trasera del arreglo. Todos los parches presentan las mismas medidas (22,01 mm de largo; y 14,70 mm de ancho), con excepción del que soporta el cable coaxial, que mide 24,01 mm de largo, como se aprecia en la Fig. 4 a) y b), las cuales muestran las medidas de los parches una vez que han sido optimizados.

En las Fig. 5 a la 13 se observan los resultados de la optimización. Como se podrá apreciar se diseñó teniendo en cuenta principalmente el parámetro S11, pero sin descuidar el resto de los valores. En casi todas las tareas de diseño de antenas se debe llegar a relaciones de compromiso, pues resulta prácticamente imposible obtener resultados óptimos en todos los parámetros a la vez. En este caso se intentó en primera instancia obtener el mejor valor para S11, y que no se afectaran en gran medida los otros parámetros de la antena.

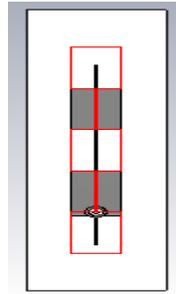


Figura 3: Vista frontal de la antena en el *CST Studio*

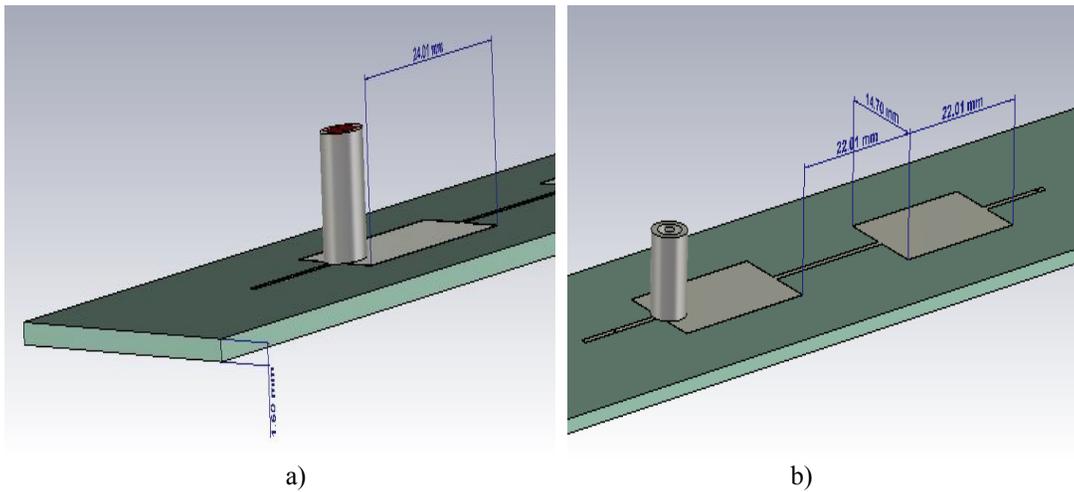


Figura 4 a) y b): Dimensiones optimizadas del parche inferior y superior, respectivamente

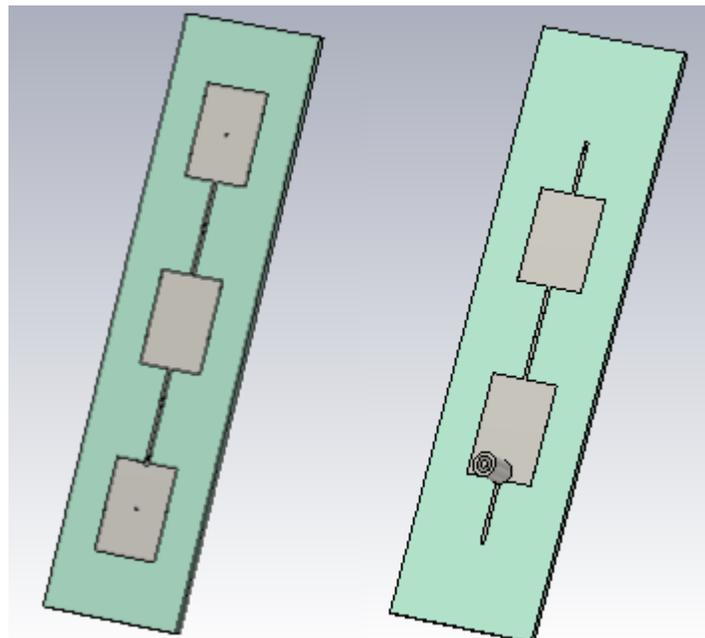


Figura 5: Imágenes de la antena en el software de simulación

La Fig. 6 muestra en un barrido amplio de frecuencias que la antena sólo resonará en la banda de trabajo y en las cercanías de 1,55 GHz. La resonancia fuera de banda no afecta significativamente al sistema empleado debido a que cualquier señal indeseada es eliminada en la etapa de filtrado del equipo transceptor que se utilice.

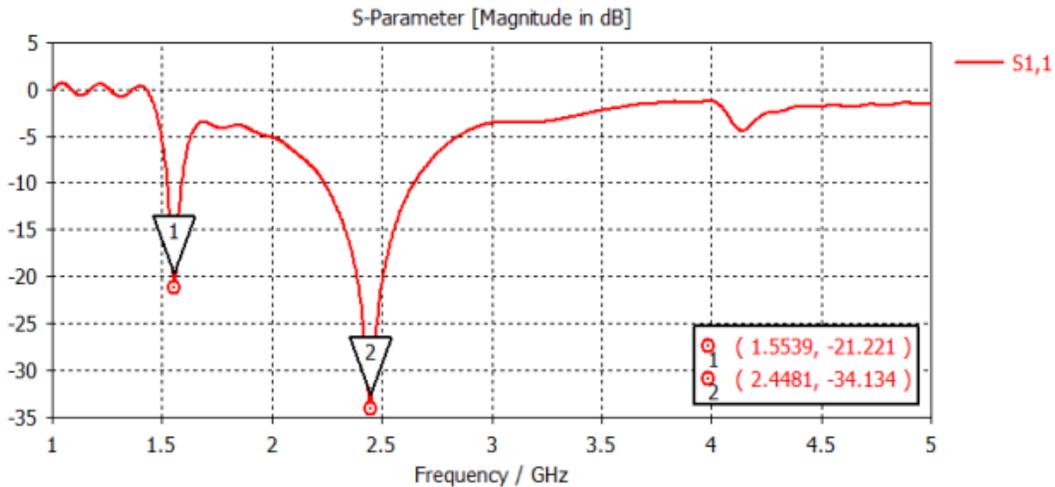


Figura 6 : Valores de S_{11} entre 1 y 5 GHz

En la Fig. 7 se observa en detalle el alto nivel de adaptación logrado con la optimización del diseño. Garantizando valores pequeños de S_{11} se asegura a su vez tener valores pequeños de ROE.

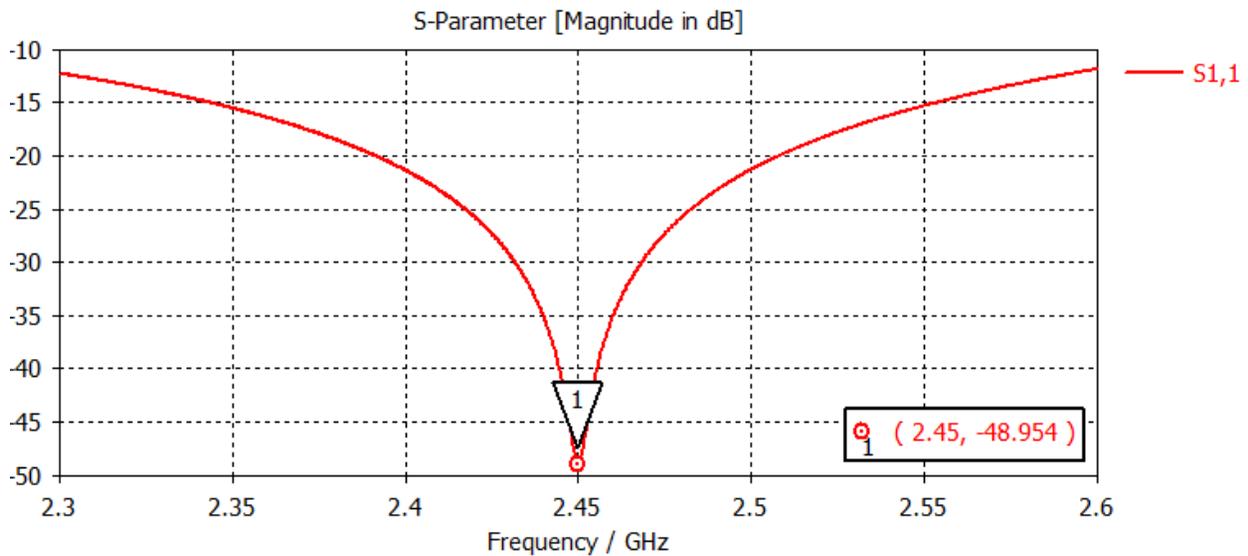


Figura 7: Valores de S_{11} en la banda de trabajo

La Fig. 8 muestra el rango de frecuencias donde la antena resuena. El extremo inferior se encuentra en 2,23 GHz, y el superior en 2,65 GHz aproximadamente; lo cual indica un ancho de banda real de poco más de 420 MHz.

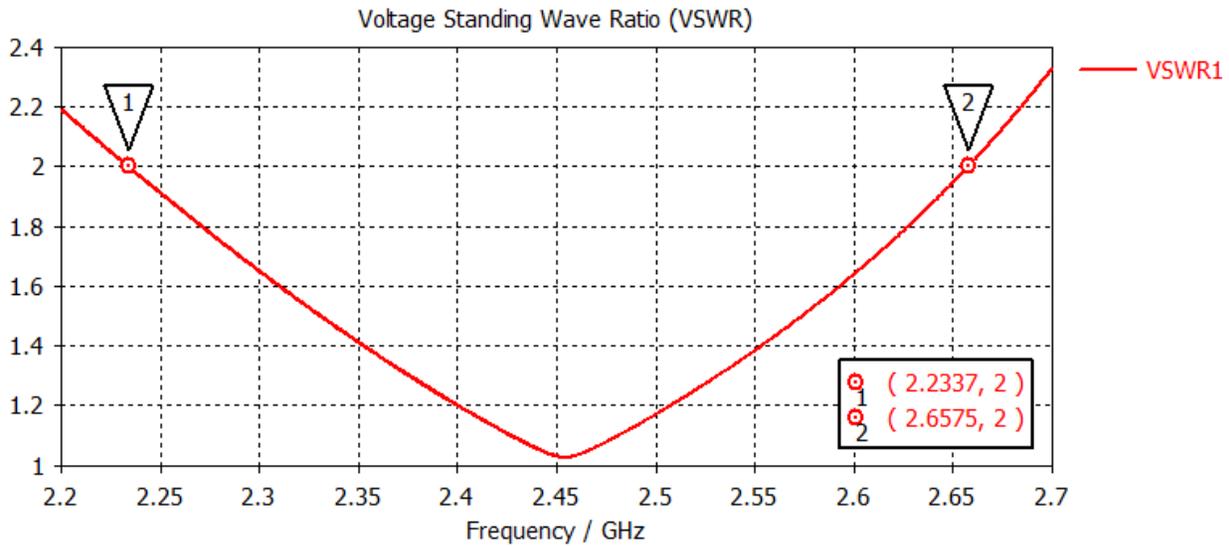


Figura 8: Rango de frecuencias donde la ROE es menor de 2

A continuación, en la Fig. 9, está la representación de la ROE en la banda de interés. Se midió en el punto del mínimo de la gráfica el valor de 1,0072; y en los extremos de la banda 1,18 aproximadamente.

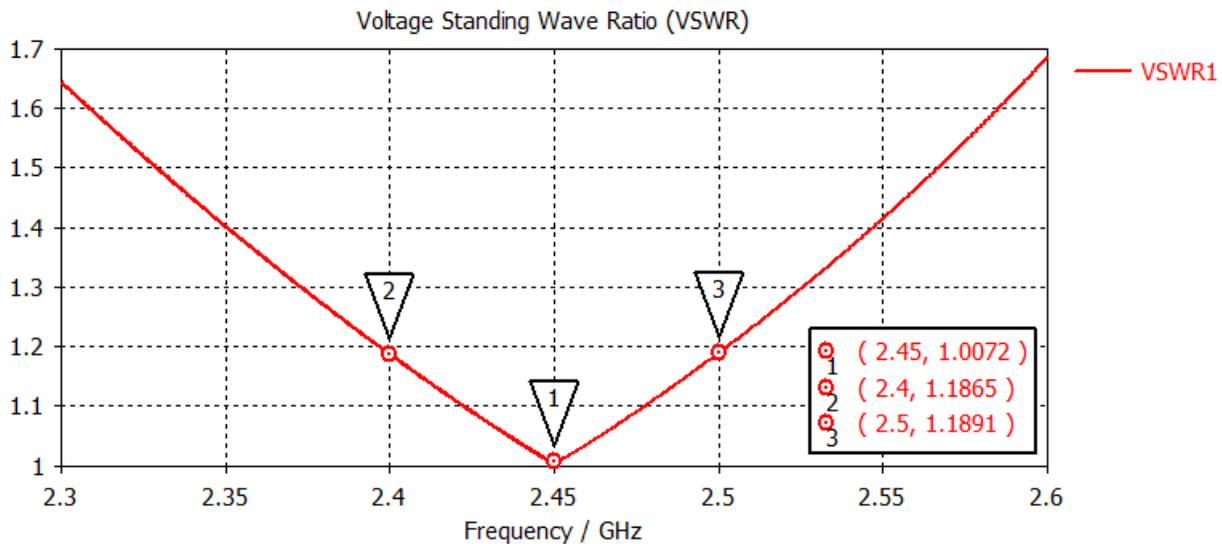


Figura 9: Detalles de la ROE en la banda de trabajo

En la Fig. 10e presenta el valor de la parte real de la impedancia. Este valor es muy difícil de mantener uniforme para todo el rango de interés. Se consideró para el diseño una antena de 50 Ohm de impedancia pues es la típica para el tipo de sistemas en el que se va a emplear. Este valor se alcanza alrededor de los 2,459 GHz, y varía entre los 52,57 Ohm del extremo inferior de la banda: 2,4 GHz, hasta los 45,5 Ohm en el superior: 2,5 GHz.

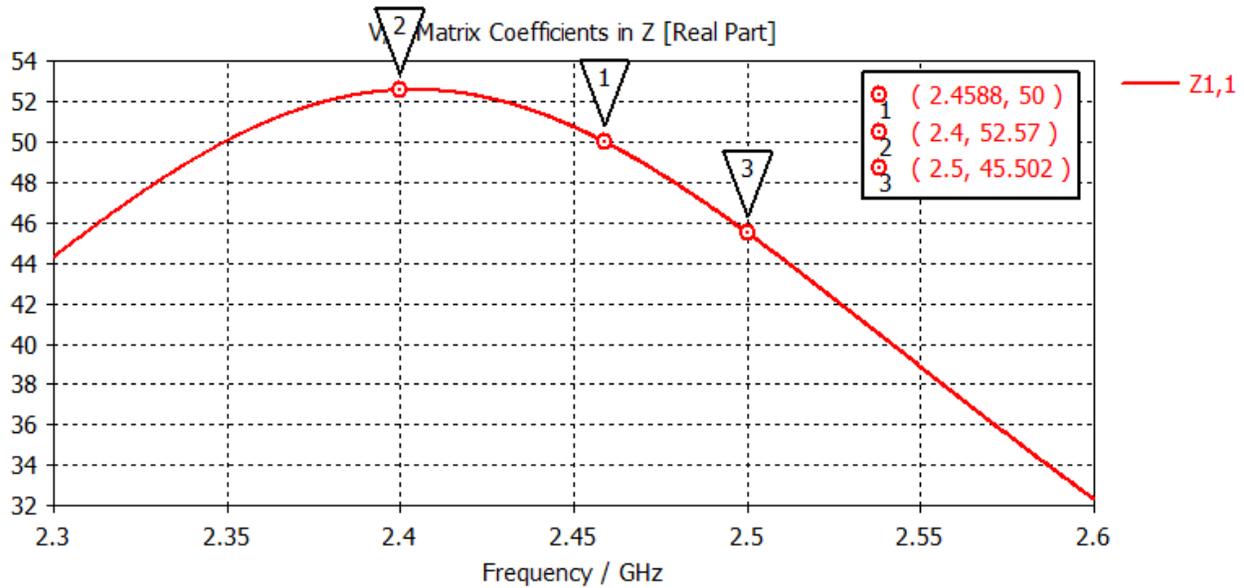


Figura 10: Imagen de la impedancia (parte real) de la antena en la banda de trabajo

Los valores de la parte imaginaria de la impedancia se pueden observar a continuación en la Fig. 11. Al igual que ocurre con la parte real, es muy difícil de mantener su cuantía uniforme en todo el rango de frecuencias. El dato fluctúa aproximadamente entre 8,5 Ohm para 2,4 GHz y -6,7 Ohm para 2,5 GHz; el cero se obtiene alrededor 2,45 GHz, el centro de la banda.

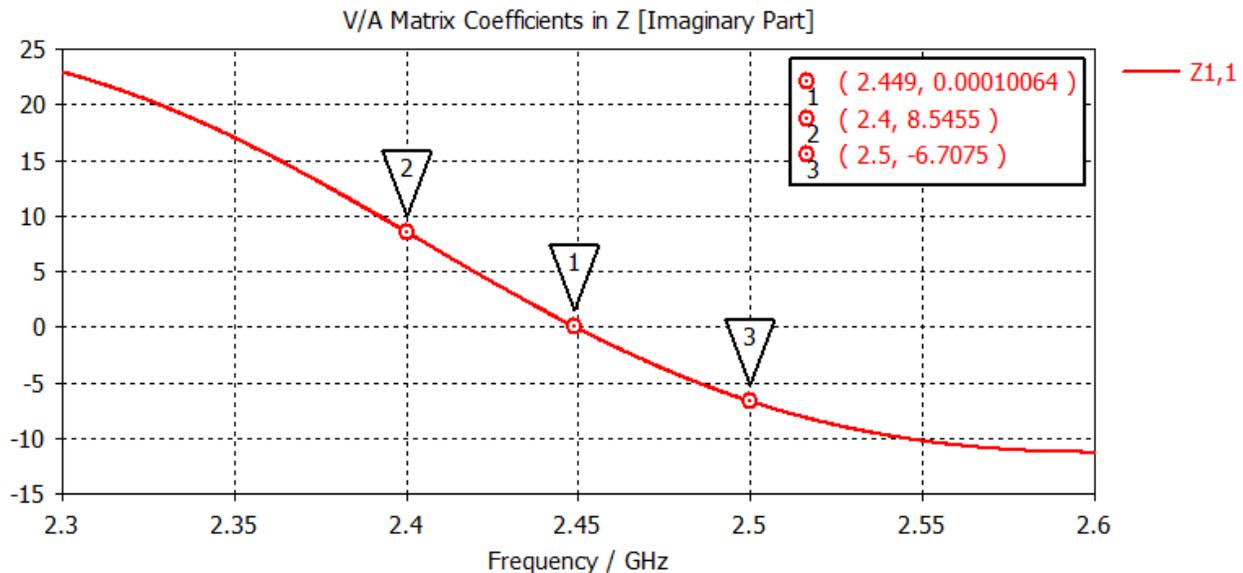


Figura 11: Imagen de la impedancia (parte imaginaria) de la antena en la banda de trabajo

A continuación en la Fig. 12 se observa el diagrama de radiación de la antena para la frecuencia de 2,45 GHz. Como se aprecia en el dibujo, y se pudo constatar en las simulaciones, el lóbulo queda dirigido hacia abajo en la banda de frecuencias de resonancia, lo cual garantiza cobertura en las zonas cercanas a su emplazamiento; constituyendo esto una propiedad que no poseen todas las antenas omnidireccionales, y necesaria en esta aplicación. Dicho fenómeno se produce debido a que la distribución de fase es lineal, por lo tanto el diagrama de radiación se dirige hacia donde está el elemento más atrasado en fase. Va a ocurrir siempre que la distribución de fase no sea π o 2π radianes.

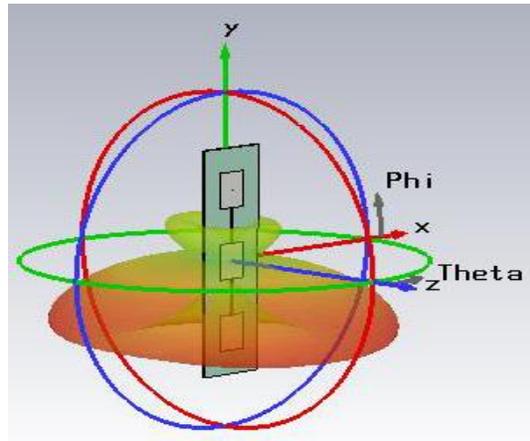


Figura 12: Diagrama de radiación de la antena para 2,45 GHz

La Fig. 13 muestra el diagrama de radiación de forma polar. En el mismo se pueden observar en detalle la dirección del lóbulo principal, el ancho del haz de media potencia, y el nivel en dB de los lóbulos laterales.

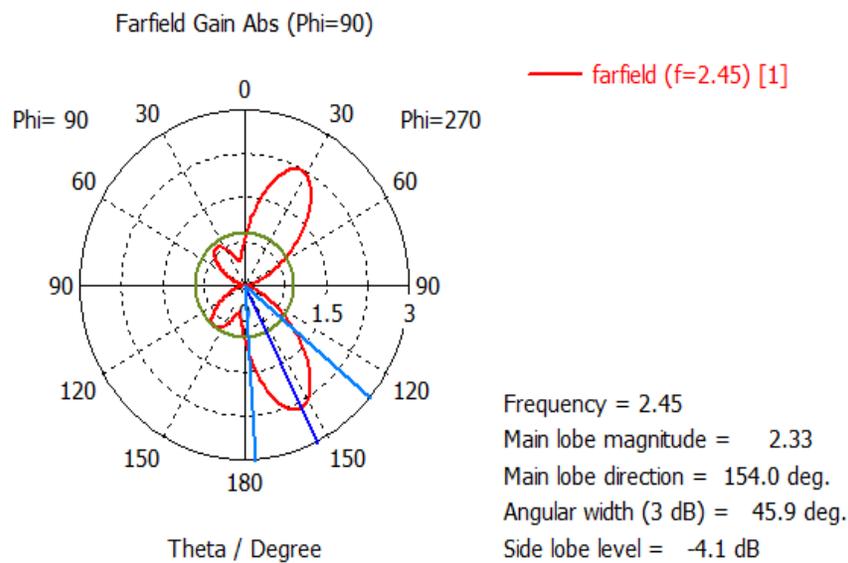


Figura 13: Diagrama de radiación en vista polar (rotado 90 grados) de la antena para 2,45 GHz

A modo de conclusión la Tabla 1 resume las principales características de la antena para la banda de trabajo. Estas mediciones se efectuaron usando monitores de campo (*field monitors*) en el simulador para las distintas frecuencias.

Tabla 1: Resumen para la banda de trabajo

FRECUENCIA (GHz)	GANANCIA (dBi)	EFICIENCIA DE RADIACIÓN (%)	EFICIENCIA TOTAL (%)
2,4	3,563	99,9	99,2

2,425	3,619	99,9	99,74
2,45	3,674	99,9	99,92
2,475	3,725	99,9	99,74
2,5	3,771	99,9	99,17

Se deben notar como elementos de interés que la ganancia siempre es superior a 3,5 dBi y la eficiencia mayor al 99 %.

3.- CONSTRUCCIÓN Y MEDICIÓN DE LA ANTENA

El primer paso para fabricar la antena es exportar el diseño logrado en el CST en un formato (extensión de archivo) adecuado para, utilizando otro software, imprimirlo mediante una impresora láser en las transparencias. En este caso se exportó al formato Gerber (.gbr), el cual es reconocido por el *software* de diseño de circuitos electrónicos y PCB *Atium Designer*. Luego de la impresión de ambas caras del diseño en las transparencias, y posterior ajuste de las mismas para evitar el corrimiento de una cara respecto a la otra, se procede a “imprimir” el arreglo utilizando luz ultra-violeta en una caja de insolación. Este proceso se le realiza a la placa virgen de FR-4 que servirá de base para la antena, la cual ha sido pre-sensibilizada con una sustancia fotosensible en el momento de su confección. Posterior a la insolación se procede al “revelado” del sustrato utilizando una sustancia de pH básico (de alto contenido de sodio) que puede ser revelador profesional, o sosa cáustica si no se tiene el primero. Después de este proceso se obtiene el dibujo visible del diseño de la antena en el PCB.

A continuación se introduce el PCB en una disolución de cloruro férrico para eliminar el cobre que ha quedado expuesto en el paso anterior, y que no forma parte de la futura antena. Como último paso del proceso se realiza el armado de las partes que componen la antena: el PCB, y el cable coaxial con el conector SMA (m) usando soldadura de estaño. También se colocan los “pases de cara”, los cuales no son más que alambres soldados en ambas caras del sustrato para lograr cortocircuito intencional. El conjunto fue soldado utilizando una estación de soldar. En la Fig. 14 se observa el resultado final obtenido.

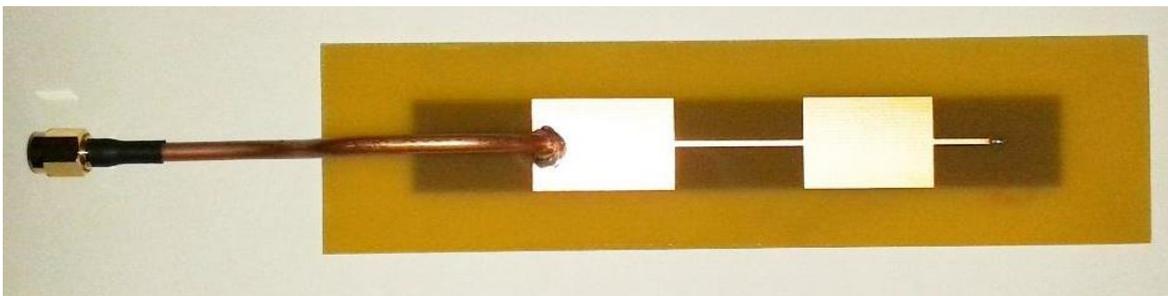


Figura 14: Vista superior del arreglo

Nótese que la necesidad de efectuar pocas soldaduras es también una de las ventajas de esta propuesta. El cable coaxial utilizado es el RG-402, se escogió debido a las bajas pérdidas por atenuación que posee en esta banda de trabajo. El mismo es del tipo semi-rígido, rasgo que facilita su manejo, y a la vez agrega rigidez al conjunto una vez finalizado. El conector es del tipo SMA (m) para este tipo de cable, su uso ofrece la posibilidad de realizar las mediciones en prácticamente cualquier equipo directamente o a través de transiciones, pues es un conector muy usado en radiofrecuencia. La antena finalizada tiene una apariencia robusta a pesar de su poco peso. Además, de ser necesario, se pudiera colocar dentro de un radomo para su protección contra los factores ambientales, la fauna y la vegetación.

Luego de la fabricación y ensamblaje del proyecto se procede a la medición de los parámetros S11, impedancia parte real e imaginaria, y ROE principalmente para conocer con certeza los resultados obtenidos. Dichas mediciones se realizarán utilizando el Analizador de Redes Rhode & Schwarz ZVL *Network Analyzer* 9 kHz to 3 GHz. Después de realizar la normalización estándar para ser utilizado con este propósito su grado de inexactitud para este tipo de comprobaciones es de menos de 1 dB.

El valor de la ROE obtenido durante la medición está comprendido en el rango de frecuencias entre 1 y 3 GHz. Al igual que en la simulación se observa resonancia alrededor de 1,45 GHz, como se muestra en la Fig. 15, Cualquier señal espuria será eliminada eficientemente por el sistema de filtrado del equipo que se utilice debido a que se encuentra casi 1 GHz fuera de la banda de trabajo, por lo tanto no se considera como un elemento negativo.

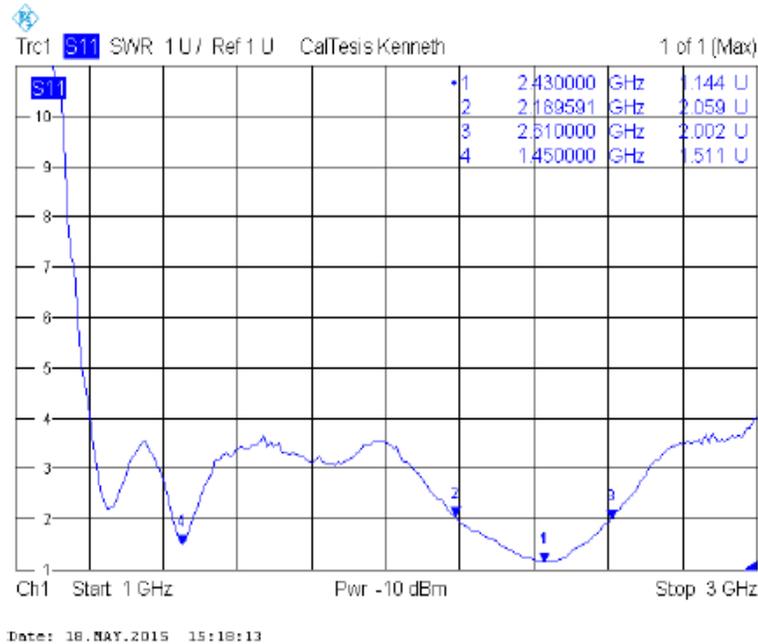


Figura 15: Comportamiento de la ROE de la antena de la antena entre 1 y 3 GHz.

El comportamiento de la ROE en la banda de trabajo, la impedancia (parte real y parte imaginaria) obtenidas en la medición fueron similares a los de la simulación y son mostradas en las Fig. de la 16 a la 18,

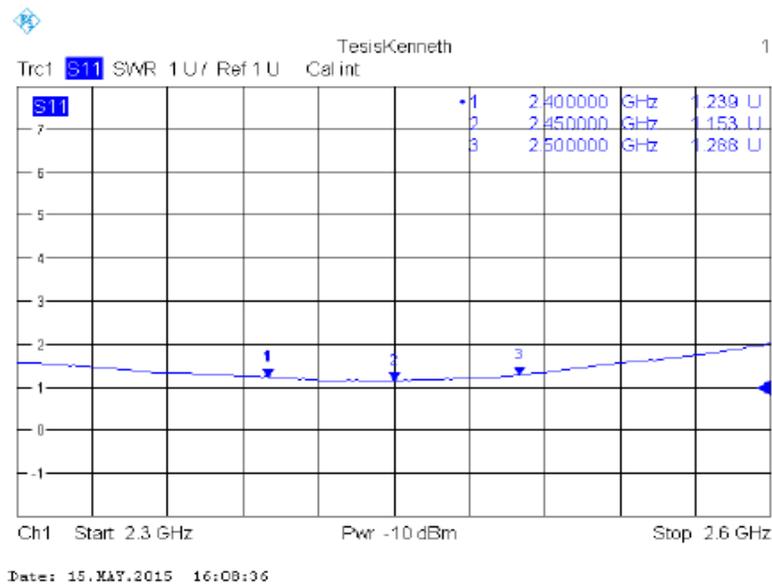


Figura 16: Valor de la ROE en 2,4, 2,45 y 2,5 GHz

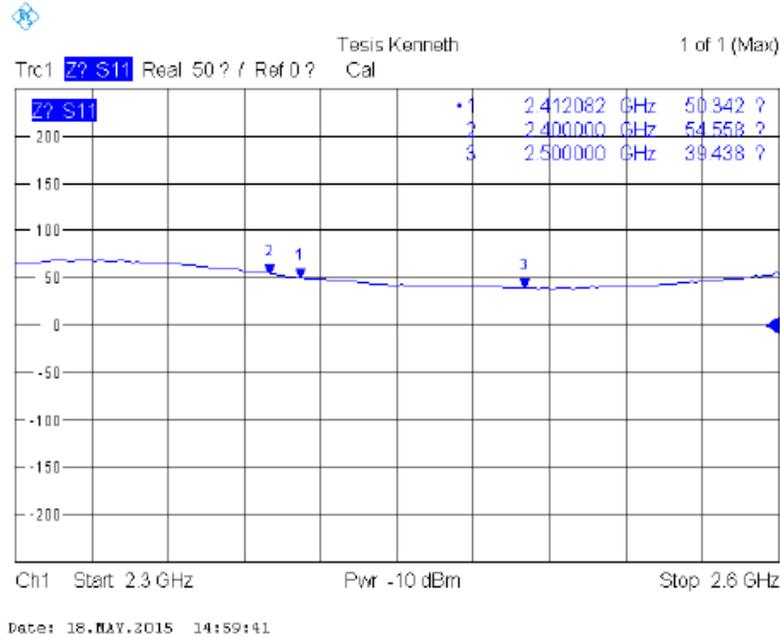


Figura 17: Impedancia, parte real

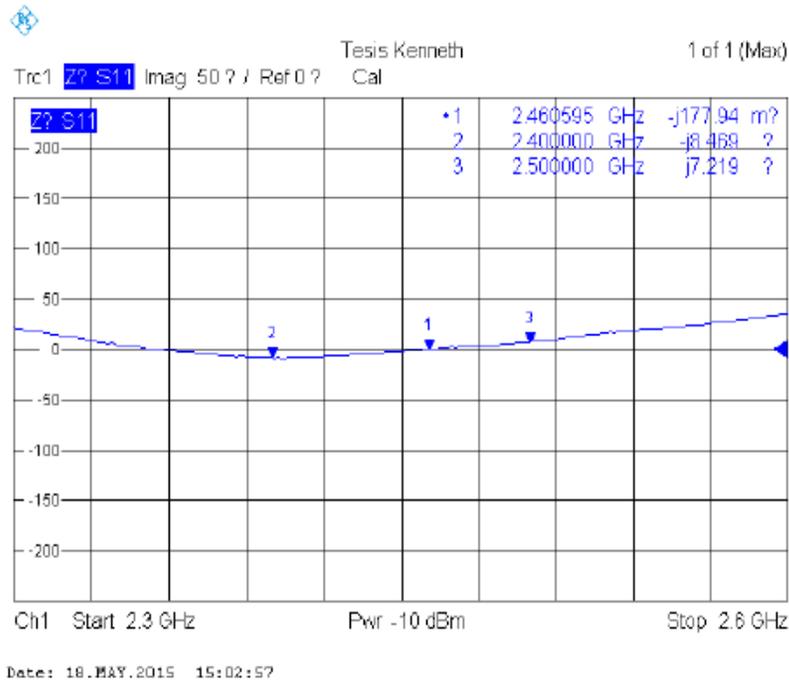


Figura 18: Impedancia, parte imaginaria

También se realizó una medición del diagrama de radiación, como se muestra en la Fig. 19, Debido a la imposibilidad de realizar las comprobaciones en las condiciones ideales se optó por realizarlas en la azotea de un edificio, lo más alejado posible de cualquier superficie que pudiera reflejar las ondas, y de la presencia de señales indeseables que pudieran causar interferencias. Las imperfecciones obtenidas en el diagrama se deben a las imperfecciones en las condiciones del terreno, y de sujeción al rotor de antenas, las cuales modifican las características de radiación del arreglo. Además debe considerarse la influencia del cable de alimentación en este plano. Pero a pesar de todo lo comentado, la antena muestra similitudes con las características previstas en la simulación por lo que se consideran estas mediciones como exitosas.

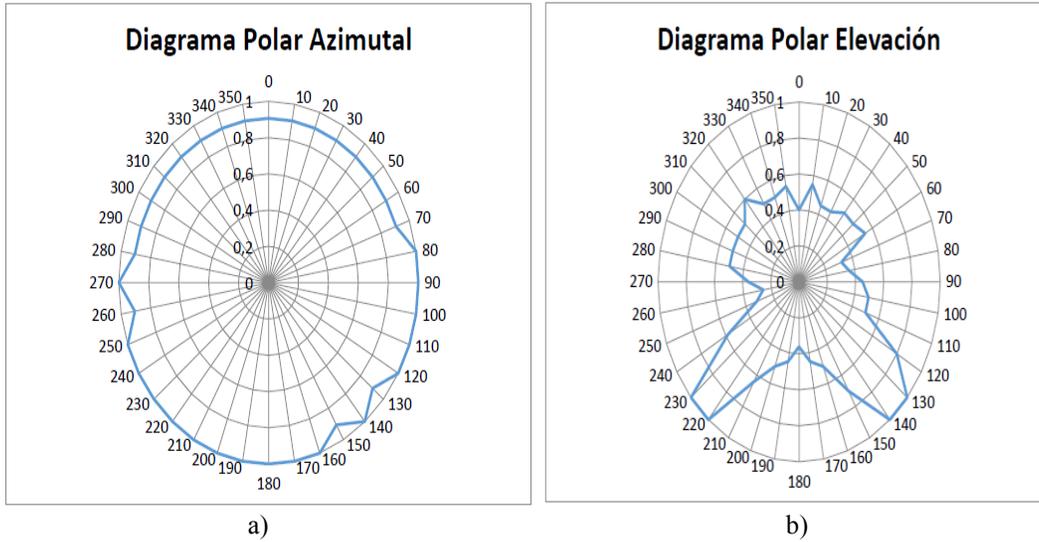


Figura 19: a) Diagrama polar azimutal de la antena construida b) Diagrama polar elevación de la antena construida

4.- ANÁLISIS ECONÓMICO E IMPACTO AMBIENTAL

Seguidamente se listan los recursos mínimos necesarios de consumo para realizar el proyecto.

Tabla 2: Recursos mínimos necesarios para la realización del proyecto

Ítem	U/M	Cantidad	Costo (CUC)	Imagen
Tóner para impresora láser	U	1	25	
Transparencias (tamaño A4)	paq. 10	1	9,09	
PCB de FR-4 doble cara (440 x 305 mm)	U	1	39,84	
Conector SMA (M) p/ RG-402	U	1	3,59	
Cable coaxial RG-402	m	1	19,76	
Develador (hace 5 l de disolución)	l	1	29,9	
Cloruro férrico (hace 5 l de disolución)	bolsa de 2,5 kg	1	28,19	
Espagueti térmico (diámetro 9,5 mm)	tira de 1,2 m	1	2,94	
Estaño sin plomo (diámetro 1,2 mm)	rollo	1	20,06	
		TOTAL	178,37	

Las cantidades que se consideraron son suficientes para la construcción de hasta 22 antenas si se optimiza el PCB, que constituye el elemento crítico en este caso, a un costo total aproximado de 179 CUC. Cada antena tendría un costo muy bajo, cercano a 8 CUC.

En los costos se ha de considerar el conocimiento (*know-how*) necesario para realizar esta actividad, y las horas empleadas por el capital humano que ejecute tales labores. Debido a que contar con personal capacitado es fundamental para el logro de un buen diseño en principio, y de una correcta y satisfactoria materialización de la idea posteriormente.

También es importante conocer que los productos químicos que se utilizan para la fabricación de la antena son nocivos para el medio ambiente si son desechados de forma incorrecta. Por tal motivo se debe contar con los medios adecuados para disponer de los mismos cuando su vida útil haya terminado.

5.- CONCLUSIONES

Se desarrollaron una serie de acciones consideradas como exitosas debido a los buenos resultados obtenidos en el proceso implementación en comparación con los encontrados en el estado del arte. Esto fue posible gracias a la simulación y optimización, anterior a su materialización, del diseño que por etapas se fue logrando en el CST 2014, Mediante las comprobaciones realizadas se verificó que el proyecto posee características semejantes a las previstas, siendo este otro aspecto relevante. El mismo presenta igualmente el valor añadido de haberse logrado sin que en la bibliografía consultada se adquirieran ecuaciones para obtener directamente el arreglo colineal desarrollado. Se obtuvo además una antena de microcinta de considerable ancho de banda, siendo éste uno de los conocidos aspectos polémicos de este tipo de antenas, pues se caracterizan por ser de ancho de banda estrecho.

REFERENCIAS

1. Henao JC, López JA. Diseño y desarrollo de un goniómetro basado en sensores cinemáticos con comunicación inalámbrica en tiempo real. Universidad Pontificia Bolivariana. 2013, [Online]. Available: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20,500,11912/1097/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1>.
2. Ashok S, Arun MT. Analysis and design of CPW fed antenna at ISM band for biomedical applications. 2017, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016817300704>. [Accessed: 28-Mar-2017]
3. Mathew J, Abraham M, Mathew T, Triple band printed modified bow-tie antenna for RFID reader/ISM applications, in 2016 6th International Conference On Advances In Computing & Communications. 2016; 48-52,
4. Xiaohong R., Chenghua F, Tianwen W, Shuxiang J. CAN Bus Network Design Based on Bluetooth Technology, in 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE).2010; 560-564,
5. Pérez I. Wireless. Redes Inalámbricas: WiFi, WiMAX. IES Manuel Bartolomé Cossio, ene. 2007
6. Mezquida C. Diseño y optimización de una antena impresa para Wireless LAN. Universidad Politécnica de Valencia - Escuela Politécnica Superior de Gandia Ingeniería Técnica de Telecomunicación (Sistemas de Telecomunicación). 2004,
7. Stincer EP, Antenas, Teoría General Edit. Imprenta ITM (La Habana). 2001; 124-127,
8. James JR., Hall PS, *Handbook of Microstrip Antennas*, Peter Peregrinus Ltd, On Behalf of the institution of Electrical Engineers: London, England; 1989,
9. Milan P, Alois H, Miloš M. Collinear Microstrip Patch Antenna. RADIOENGINEERING. 2005; 14(4): 40-42,
10. Zarifi D, Ahmadi A. An Omnidirectional Printed Collinear Microstrip Antenna Array. Progress In Electromagnetics Research Letters. 2018; 75: 33-38,
11. Estévez A, Marante F. Aumento del Ancho de Banda en Antenas de Microcintas a 2, 4 GHz con Inserción de Metamateriales. RIELAC. 2018; 39(1): 1-15,
12. Rodríguez D, González E, Coto M, Marante F. Antena doble banda alimentada por proximidad para aplicaciones de WLAN en 2,4 y 5,2 GHz. RIELAC. 2014; 35(2): 11-24,
13. Balanis, C. Modern Antenna Handbook. John Wiley: N. Jersey; 2008,
14. Balanis, C. A. Antenna Theory: Analysis and Design, John Wiley; 2005,

AUTORES

Kenneth Marichal Leyva: Graduado de Técnico Medio en Electrónica en el Instituto Politécnico “Osvaldo Herrera”. Comienza su vínculo laboral en el CIDP “Grito de Baire” en el año 2008, matriculando posteriormente en la modalidad de CPE la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica de la CUJAE. Obtiene el título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica en el año. Actualmente se desempeña en el CIDP como Investigador Agregado en uno de los grupos de investigación.

E-mail: opci@gbreduim.cu

Reinier Quiala Llorens: Trabajador del CIDP “Grito de Baire”. Posee la categoría de Investigador Agregado. Graduado en el Instituto Técnico Militar “José Martí” (ITM) en el año 2010 de Ingeniero Radioelectrónico. Se desempeña como radioaficionado desde el 2008. Actualmente se desempeña en el CIDP como Investigador Agregado en uno de los grupos de investigación.

E-mail: renier@gb.reduim.cu

Ailén Pérez Molinet: Profesora de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE). Se desempeña como Jefa de la Disciplina de Sistemas de Radiocomunicaciones del departamento de Telecomunicaciones y Telemática en la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica. Es graduada en el año 2014 de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en la Facultad de Eléctrica de la CUJAE. La categoría docente que posee es de Instructor.

E-mail: ailen@tele.cujae.edu.cu



Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License