

Construcción y simulación de una antena de microcinta tipo parche a 1 GHz

Construction and simulation of a patch-type microstrip antenna at 1 GHz

Salamanca Ojeda, Fernanda Darely^{1*}; Pérez Merlos, Juan Carlos¹; Salgado Gallegos, Mireya²

¹Licenciatura en Ingeniería en Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca-Estado de México.

²Licenciatura en Ingeniería en Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca-Estado de México.

*nemudarpo@hotmail.com

Resumen

Hoy en día las antenas de microcinta han tenido un gran desarrollo en las comunicaciones inalámbricas, muchos dispositivos de toda índole están conectados al internet gracias a dichas antenas, debido a esto se han desarrollado una gran variedad de configuraciones desde las de tipo parche hasta las de tipo quasi-Yagi-Uda. Por sus características, las antenas de microcinta están hechas para altas frecuencias, son diseñadas con métodos comúnmente complejos y, haciendo uso de software especializado, su construcción es más sencilla.

En este trabajo se describe el diseño y construcción de una antena de microcinta tipo parche acoplada con un transformador de cuarto de onda a 1 GHz sobre una PCB FR4 utilizando el software libre QucsStudio y el nano Saver, las mediciones de los parámetros de la antena fueron realizadas con un nanoVNA cuyos resultados muestran que el diseño coincide con los resultados medidos obteniendo una VWSR de 1.3 a una frecuencia de 1.09 GHz con un coeficiente de reflexión de 0.131 y un retorno de pérdida de -17.4 dB.

Palabras clave: Antena tipo parche, transformador de cuarto de onda, microcinta, parámetros de antena.

Abstract

Today microstrip antennas have had a great development in wireless communications, many devices of all kinds are connected to the internet thanks to these antennas, due to this a great variety of configurations have been developed from those of patch type to those of quasi-Yagi-Uda type. Due to their characteristics, microstrip antennas are made for high frequencies, are designed with commonly complex methods and, using specialized software, their construction is simpler.

In this work, the design and construction of a patch-type microstrip antenna coupled with a quarter-wave transformer at 1 GHz on a FR4 PCB using the free software QucsStudio and the nano Saver are described, the measurements of the antenna parameters were carried out with a nanoVNA whose results show that the design coincides with the measured results, obtaining a VWSR of 1.3 at a frequency of 1.09 GHz with a reflection coefficient of 0.131 and a return loss of -17.4 dB.

Keywords: Patch antenna, quarter wave transformer, microstrip, antenna parameters.

1 Introducción

Los sistemas de comunicación inalámbricos generan una señal de radio frecuencia mediante un transmisor y ésta se envía al espacio libre para que después de un tiempo un receptor la capture. La interfaz entre el transmisor con el

espacio libre, y entre este último y el receptor es la antena. En el extremo del transmisor la antena convierte la energía de radio frecuencia en señales electromagnéticas capaces de propagarse a grandes distancias, en el extremo del receptor la antena capta las señales electromagnéticas convirtiéndolas en señales eléctricas. Existe una gran variedad de tipos de

antenas usados en comunicaciones de radio y todos se basan en los mismos conceptos de teoría electromagnética (Frenzel 2003).

La onda electromagnética es un tipo de energía radiada por la antena emisora y recogida en la receptora, y está compuesta por dos campos: uno de naturaleza eléctrica, que es el campo eléctrico \mathbf{E} cuya intensidad se mide en voltios/metro y sus líneas de fuerza son paralelas al conductor radiador; el otro, de naturaleza magnética que es el campo magnético \mathbf{H} cuya intensidad se mide en amperios/metro y sus líneas de fuerza son perpendiculares al conductor radiador (Domínguez 2010).

El *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) define una antena como aquella parte de un sistema de transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas. Si bien sus formas son muy variadas, todas las antenas tienen en común el ser una región de transición entre una zona donde existe una onda electromagnética guiada y una onda en el espacio libre, a la que además puede asignar un carácter direccional. La representación de las ondas guiadas se realiza por voltajes y corrientes o en el espacio libre mediante campos (Aznar y cols; 2004).

Por otro lado, la microcinta es probablemente la tecnología de antenas más exitosa y revolucionaria de la historia. Su éxito proviene de ventajas muy conocidas, por mencionar algunas: compacta, fácil de construir y de bajo costo. Sin embargo, también tiene algunas limitaciones: ancho de banda estrecho e inherente, impedancia estrecha, relación axial baja (AR), pequeña ganancia, capacidad de manejo de potencia más baja y baja eficiencia; por ello, se han desarrollado varias técnicas para aumentar el ancho de banda. La antena microcinta fue concebida por Deschamps en 1953 en Estados Unidos, en 1955, Gulton y Bassinot en Francia patentaron la antena “plana” que se puede utilizar en la región UHF. La construcción del radiador de microcinta no estuvo activa hasta la primera década de 1970 (Mohammed y cols; 2019).

Du Preez y cols. (2016), comentan en un seguimiento de las antenas de microcinta que estas se remontan a los años cincuenta, pero el interés técnico fue a partir de los setenta. Son antenas muy compactas que en arreglos de cientos de ellas pueden agruparse en paneles con ciertas aplicaciones. Las antenas de parche son diseñadas para radiar energía sobre un costado de tal manera que el haz o lóbulo principal es ortogonal al parche. Está formada de un sustrato sobre un plano de tierra, en la parte de arriba se coloca la antena comúnmente de cobre de grosor de 35μ metros con diferentes configuraciones y en la parte inferior el plano de tierra (du Preez y Sinha 2016).

Mohammed y cols. (2019), suponen que teniendo en cuenta las presunciones del futuro cercano, los dispositivos

hambrientos de datos (teléfonos inteligentes, tabletas, sensores, etc.) conducirán a una escasez de ancho de banda. Por lo tanto, el avance de las redes inalámbricas es esencial. La tecnología 5G emplea bandas de alta frecuencia y un ancho de banda de señal amplio para aumentar las velocidades de transmisión de bits, proporcionando así una mejor cobertura con un bajo consumo de batería (Mohammed y cols; 2019).

En los últimos quince años, las antenas de parche de microcinta (*Microstrip Patch Antenna*, MPA) son los sistemas de desarrollo más rápido en el campo de las antenas. Han recibido atención creativa de los investigadores de todo el mundo y se han publicado varias patentes, artículos o libros. Además, se han realizado múltiples sesiones de simposios y cursos cortos. Como resultado, las MPA han evolucionado rápidamente de una novedad académica a una realidad comercial con aplicaciones en una amplia variedad de sistemas de microondas (Mohammed y cols; 2019).

También Mohammed y cols. (2019), afirman que el rendimiento eléctrico de las MPA básicos o de arreglos de estos adolece de varios inconvenientes graves, por ejemplo, ancho de banda estrecho, pérdidas elevadas de la red de alimentación, polarización cruzada deficiente y capacidad de manejo de potencia baja. En consecuencia, en los últimos años, muchos diseñadores de antenas han prestado una atención considerable para mejorar diversas características de las MPA junto con aplicaciones específicas como onda milimétrica, interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMAX), red de área local inalámbrica (WLAN) y UWB (Mohammed y cols; 2019).

Run Nan y cols. (2012), comentan que la antena quasi-Yagi-Uda fue propuesta por Quian y cols. en 1998 y en la actualidad sigue siendo reto en las actividades de investigación en antenas. En su trabajo proponen una antena director impresa de dos arreglos con estructura compacta alimentada por una línea de transmisión microcinta ranurada balanceada, de acuerdo con la simulación en CTS Microwave Studio. El ancho de banda de operación fue de 1.8 a 3.5 GHz con un coeficiente de reflexión menor a -10 dB, la ganancia fue de 4.5 hasta 6.8 dBi y la magnitud completa de la antena fue más pequeña que $.34\lambda^*.58\lambda$. Mencionan adicionalmente que el arreglo permitió una ganancia de 2 dB mayor a una sola antena (Run-Nan y cols; 2012).

Sun y cols. (2012), describen que en los últimos años las antenas de microcinta pueden ser configuradas como arreglos Yagi-Uda. Además, mencionan que John Huang (1991) en su trabajo propone una nueva estructura de antena que está formada por una combinación del concepto arreglo Yagi-Uda y la técnica de radiador de microcinta. La antena Yagi-Uda consta de un elemento parche alimentado, un parche que sirve de reflector parásito y dos o tres parches que sirven de directores (Sun, Zhang, Wen y Wang 2012).

Giró y cols. (2015), usaron el software HFSS para diseñar un arreglo de antenas de microcinta a una frecuencia de 2-4 GHz. El arreglo constó de cuatro antenas tipo rectangular alimentadas con un radiador de cable coaxial, obtuvo una directividad de 4.8dBi, una impedancia de $49.7-j3.19 \Omega$ y el ángulo máximo tuvo una variación de 60° de 180° posibles (Giró, Selva y Almáguera 2015).

Monti y cols. (2016) proponen un diseño de antena Yagi-Uda con cubierta en los directores, muestran el diseño de antena de tres directores con y sin cubierta, y determinan que los valores de las longitudes cambian siendo más largos los que tiene cubierta. Los resultados obtenidos les permiten concluir que este tipo de antenas puede trabajar junto con otras ya que su cubierta no interfiere con el patrón de radiación de las demás, esta propuesta fue simulada en CTS Microwave Studio (Monti, Soric, Alú, Toscano y Bilotti 2016).

Gordón y cols. (2016), diseñaron una antena Yagi-Uda en microcinta a 5.8 GHz de cuatro elementos directores bajo dos enfoques de cálculo: uno sobre tablas y dos de acuerdo con ecuaciones matemáticas. Comparan los resultados de ambos enfoques y muestran que son casi similares en cuanto a la ganancia de 9.27 dB y la directividad 9.39 dBi, en lo que difiere es en el coeficiente de reflexión y la relación de onda estacionaria (*Voltage Standing Wave Ratio*, VSWR). La antena fue simulada con el software CTS y supone que los valores obtenidos de directividad y ganancia difieren de la simulación debido que las librerías del software contienen valores de constantes dieléctricas diferentes a las existentes en el mercado (Gordón y Llugsi 2016).

Para el análisis de las antenas de microcinta hay varios modelos que se pueden utilizar: el modelo de líneas de transmisión, cavidad, análisis de onda completa, entre otros. El modelo de líneas de transmisión es el más simple pero con resultados menos precisos (du Preez y Sinha 2016).

Uribe y cols. (2013), mencionan que el primer paso para diseñar una antena de microcinta es elegir el sustrato correcto para el soporte mecánico de la misma. Para este soporte, el sustrato debe ser de un material dieléctrico, lo cual puede afectar el desempeño eléctrico de la antena, circuitos y línea de transmisión, por consiguiente, este debe satisfacer simultáneamente los requisitos eléctricos y mecánicos, lo cual algunas veces es difícil de encontrar (Uribe, Paz y Castañeda 2013).

La elección del sustrato y su evaluación son una parte esencial dentro del proceso de diseño. Muchas propiedades deben ser consideradas, la constante dieléctrica, la tangente de pérdidas, su variación con la frecuencia, la temperatura, la homogeneidad y la uniformidad del espesor del sustrato son algunas de las más importantes (Uribe y cols; 2013).

No hay sustrato ideal, su elección depende de las aplicaciones. Por ejemplo, para bajas frecuencias se requiere de constantes dieléctricas altas que mantengan un tamaño pequeño de la antena (Uribe y cols; 2013).

En la Figura 1, se muestra la configuración típica de una antena de microcinta alimentada con línea de transmisión y acoplada con un transformador de cuarto de onda, también en la Figura 2, se puede observar la gráfica correspondiente a la constante dieléctrica efectiva con respecto a frecuencia, resaltando de que es constante a frecuencias muy altas arriba de 10 GHz y debajo de esta existe una variación más significativa.

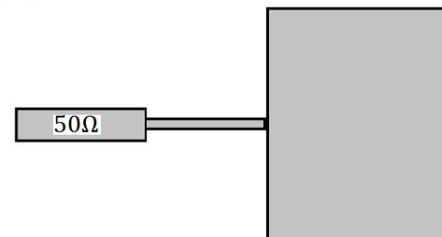


Fig. 1. Configuración de la antena de parche con acoplador de cuarto de onda. Fuente (Fatthi Alsager 2011).

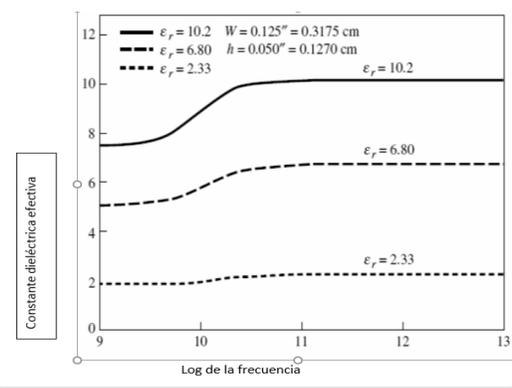


Fig. 2. Comportamiento de la constante dieléctrica efectiva contra la frecuencia. Fuente (Fatthi Alsager 2011).

Se puede decir, que las antenas de microcinta seguirán desarrollándose, siendo fundamental la antena de parche, que sirve de base para otras configuraciones como las de tipo quasi-Yagi-Uda como lo menciona Sun y cols. (2012), por ello, es interesante describir un proceso de diseño que permita obtener resultados cercanos a los de la construcción como el que aquí se muestra.

2 Parte experimental

2.1 Metodología

Para el desarrollo de la antena se siguió la siguiente metodología:

- Investigación documental
- Propuesta de la frecuencia de radiación

- Diseño de la antena
- Selección de materiales
- Construcción de la antena de microcinta
- Caracterización de la antena de microcinta construida
- Pruebas y análisis de resultados
- Conclusiones

2.2 Desarrollo

De acuerdo con Fatthi (2011), para el diseño de la antena de parche alimentada con transformador de cuarto de onda, se inicia con el cálculo de la longitud de onda a partir de la frecuencia de transmisión. Para este caso se usó una PCB FR4 con una permitividad relativa de $\epsilon_r=4.6$, $h=1.2$ mm y a una frecuencia de 1 GHz, con la Ecuación 1 se determinó la longitud de onda, siendo igual a 300 mm (Fatthi Alsager 2011):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

- λ : Longitud de onda en metros
- c: la velocidad de la luz $3 \cdot 10^8$ mts/seg
- f: La frecuencia de diseño en Hertz

Paso siguiente se obtiene el ancho del parche utilizando la permitividad relativa del sustrato como lo indica la Ecuación 2, sustituyendo los valores se obtiene que $W = .08964$ mts.

$$w = \frac{c}{2f_0} * \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$w = \frac{3 * 10^8}{2(1 * 10^9)} * \sqrt{\frac{2}{4.6 + 1}} = .08964 \text{ mts}$$

Para obtener la permitividad efectiva se utilizó la Ecuación 3, sustituyendo los valores se obtiene una permitividad efectiva de 4.58 adimensional:

$$\epsilon_{ef} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} * \frac{1}{\sqrt{1 + 12 * \frac{h}{w}}} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$\epsilon_{ef} = \frac{4.6+1}{2} + \frac{4.6-1}{2} * \frac{1}{\sqrt{1+12 * \frac{.125 \text{ cm}}{.8964 \text{ cm}}}} = 4.58$$

La longitud adicional, se obtuvo con la Ecuación 4, sustituyendo los valores se obtiene la longitud adicional igual a $\Delta L = .0577$ cm:

$$\Delta L = h(.412) \left[\frac{(\epsilon_{ef} + .3) \left(\frac{w}{h} + .264 \right)}{(\epsilon_{ef} - .258) \left(\frac{w}{h} + .8 \right)} \right] \quad \text{Ec. (4)}$$

$$\Delta L = (.125)(.412) \left[\frac{(4.58 + .3) \left(\frac{.8964}{.125} + .264 \right)}{(4.58 - .258) \left(\frac{.8964}{.125} + .8 \right)} \right] = .0577$$

Con la Ecuación 5 se obtiene la longitud final del parche, sustituyendo los valores se obtiene esta de 6.88 cm.

$$L = \frac{\lambda}{2} - 2\Delta L = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{ef}}} - 2\Delta L \quad \text{Ec. (5)}$$

$$L = .070 - .01154 = .0688 \text{ mts} = 6.88 \text{ cm}$$

También se obtuvo la impedancia del parche con la Ecuación 6, resultando de 311 Ohms.

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} * \left(\frac{L}{w} \right)^2 \quad \text{Ec. (6)}$$

$$Z_A = 90 \frac{4.6^2}{4.6 - 1} * \left(\frac{6.88}{.8964} \right)^2 = 311 \text{ Ohms}$$

Para colocar el transformador de cuarto en el simulador, se puede partir de que como es real el resultado de la impedancia del parche se puede colocar de manera inmediata cerca de la carga y el valor se puede calcular como los muestra la Ecuación 7 y se puede aproximar su construcción de W y L con QucsStudio como en la Figura 3.

$$Z_T = \sqrt{(311^2)(50^2)} = 124 \text{ Ohms} \quad \text{Ec. (7)}$$

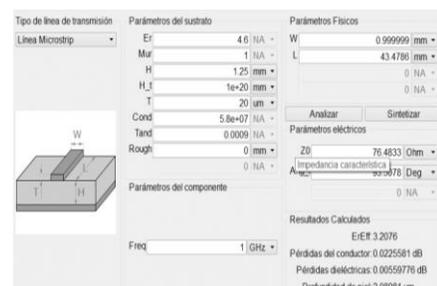


Fig. 3. Cálculo W y L del transformador de cuarto de onda en QucsStudio. Fuente: Propia

Se utilizó el software libre QucsStudio para simular la antena tipo parche de microcinta con el transformador de cuarto de onda, de izquierda a derecha primero está la antena con $L=68.8$ mm y $W= 89.64$ mm, y el transformador es el segundo bloque de $L=43.47$ mm y $W = 1$ mm, sobre un sustrato con permitividad relativa ϵ_r de 4.6.

Después de ejecutar la simulación se obtuvo una VWSR 1.17 (*Voltage Wave Standing Ratio*) y unas pérdidas por retorno de -22 dB con un coeficiente de reflexión de 0.069 a la frecuencia de 1.03 GHz como se muestra en las Fig. 4 y 5.

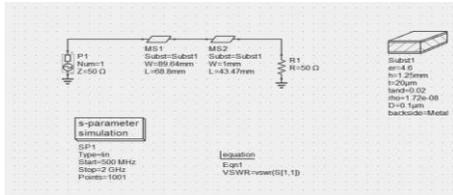


Fig. 4. Simulación en QucsStudio de la antena de microcinta tipo parche sobre un sustrato con constante dieléctrica de 4.6. Fuente: Propia.

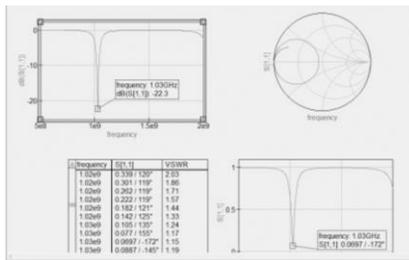


Fig. 5. Resultados de la simulación de la antena de microcinta con alimentación con transformador de cuarto de onda. Fuente: Propia

3 Resultados y discusión

Las Figuras 6 y 7, muestran la antena de microcinta construida con alimentación de línea de transmisión además con un transformador de cuarto de onda y con un conector SMA (Sub-miniature A) a 50 Ohms sobre una placa PCB FR4 con permitividad relativa de 4.6. Las mediciones se realizaron con un nano VNA (*Vector Network Analyzer*).

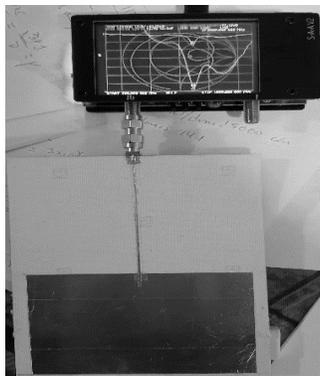


Fig. 6. Construcción de la antena de microcinta tipo parche con alimentación de línea de transmisión y con transformador de cuarto de onda. Fuente: Propia

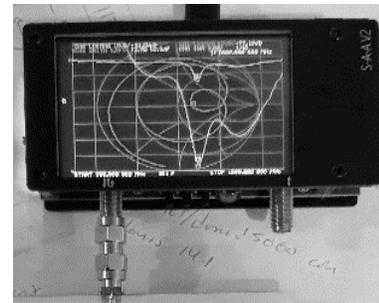


Fig. 7. Medición de los parámetros de la antena con nano VNA. Fuente: Propia.

Se realizó la medición de los parámetros de la antena con el nano VNA cuyo ancho de banda es de 3 GHz. Cabe señalar que primero se calibró a una frecuencia de 500 MHz hasta 1500 MHz, los resultados obtenidos muestran que la antena está sintonizada a 1.09 GHz, con un retorno de pérdidas de -17.6 dB, con una VSWR de 1.3 y el coeficiente de reflexión de 0.131. Los mismos resultados se obtuvieron con el software nanoVNA Saver que se adjunta con el nanoVNA para tener también los resultados en la computadora como se muestra en la Figura 8. Se pueden identificar todas las gráficas juntas.

Para ver mejor los resultados se desagregaron las gráficas de los resultados obtenidos con el VNA. Los valores de los parámetros de la medición de la antena de microcinta construida se muestran en las Figuras 9, 10 y 11.

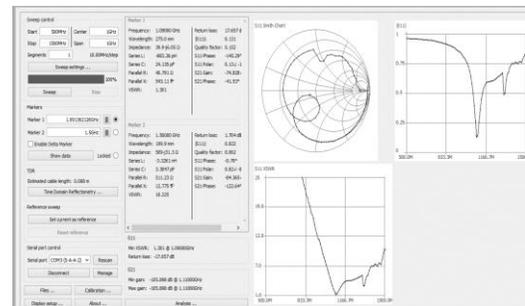


Fig. 8. Resultados de la medición de la antena de microcinta tipo parche a 1 GHz con el software nanoVNA Saver. Fuente: Propia

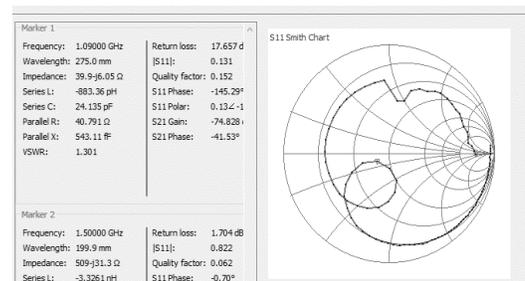


Fig. 9. Gráfica de la carta de Smith de medición de la antena de microcinta tipo parche a 1 GHz. Fuente: Propia

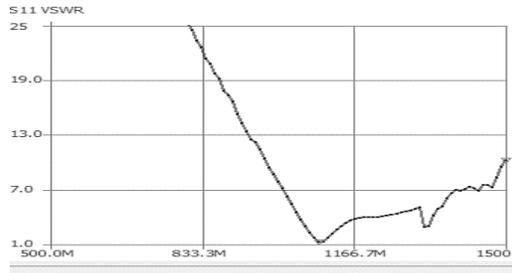


Fig. 10. Gráfica del resultado de la VSWR que es de 1.3 para la antena de microcinta construida. Fuente: Propia.

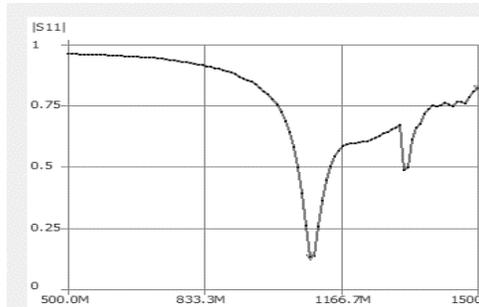


Fig. 11. Gráfica del coeficiente de reflexión de 0.131 resultado de la medición de la antena de microcinta tipo parche a 1 GHz.

Asimismo, se puede ver en la Figura 8 que la impedancia Z dada por la resistencia y la reactancia es baja de 39.9 y -6.05 Ohms que muestran la capacidad de sintonización para 50 Ohms. Se puede decir con respecto a la Relación de Onda Estacionaria ROE en inglés VSWR que es aceptable el valor de 1.3 a la frecuencia de 1.09 GHz, como lo sugiere Darimireddy (2015), que menciona un valor recomendable menor a 2 (Darimireddy, Reddy y Prasad 2015).

4 Conclusiones

Se diseñó, simuló y construyó una antena de microcinta tipo parche a 1GHz, la simulación se realizó usando el software libre QucsStudio.

Se construyó la antena y se obtuvo su parametrización a través de un nanoVNA y el software nanoVNA Saver.

Las gráficas de resultados medidos con respecto al diseño propuesto se pueden considerar buenos, aunque difieren un poco debido a la placa de PCB (Printed Circuit Board), que para el FR4 la permitividad relativa que proporcionan los fabricantes oscila entre 4.2 a 4.6. De acuerdo con la Figura 2 este también varía con la frecuencia.

Se puede decir que los resultados son satisfactorios ya que se diseñó la antena de microcinta a una frecuencia de 1 GHz y se obtuvieron los valores de la antena construida a la mejor sintonización de 1.09 GHz con una VSWR de 1.3 y unas pérdidas por retorno de -17.4 dB y un coeficiente de reflexión de 0.131.

Los resultados de la parametrización de la antena de microcinta tipo parche en la simulación en QucsStudio dio una frecuencia de sintonización de 1.03 GHz, un VSWR de 1.17, unas pérdidas por retorno de -22 dB y un coeficiente de reflexión de 0.069 que difieren un poco con los valores medidos lo cual es común en una simulación y una situación real.

Se utilizó un software libre como QucsStudio para la simulación y el nanoVNA para las mediciones de la antena de microcinta, estas herramientas tienen un precio bajo, lo que puede ayudar a que muchos estudiantes puedan realizar pruebas de antenas en casa.

El software libre permite diseñar y simular antenas de manera suficiente con sus respectivas limitaciones de cantidad de sustratos a simular.

Referencias

- Aznar, Á. C., Robert, J. R., Casals, J. M. R., Roca, L. J., Boris, S. B., y Bataller, M. F. (2004). *Antenas* (Vol. 3): Univ. Politècnica de Catalunya.
- Darimireddy, N. K., Reddy, R. R., y Prasad, A. M. (2015). Design of triple-layer double U-slot patch antenna for wireless applications. *Journal of applied research and technology*, 13(5), 526-534.
- Domínguez, A. G. (2010). *Cálculo de Antenas: Antenas de Última generación para tecnología digital y métodos de medición*: Marcombo.
- du Preez, J., y Sinha, S. (2016). Printed and Planar Antennas *Millimeter-Wave Antennas: Configurations and Applications* (pp. 39-60): Springer.
- Fatthi Alsager, A. (2011). Design and analysis of microstrip patch antenna arrays: University of Borås/School of Engineering.
- Frenzel, L. E. (2003). *Sistemas electrónicos de comunicaciones*: Alfaomega.
- Giró, U. F. V., Selva, C., Antonio R., & Almaguer, L. Y. (2015). Diseño y simulación de un arreglo de antenas Microcinta lineal uniforme a la frecuencia de 2.4 GHz con variaciones de máximos de radiación.
- Gordón, A., y Llugsi, R. (2016). Diseño e Implementación de una Antena Microstrip Yagi a 5.8 GHz. *Enfoque UTE*, 7(4), 96-110.
- Mohammed, A. S. B., Tebal, N., Kamal, S., Ain, M. M. F., Ahmad, M. Z. A., Ullah, U., y Othman, M. (2019). Microstrip patch antenna: A review and the current state of the art. *Journal of Advanced Applied Scientific Research*.
- Monti, A., Soric, J., Alú, A., Toscano, A., y Bilotti, F. (2016). Design of cloaked Yagi-Uda antennas. *EPJ Applied Metamaterials*, 3, 10.

- Run-Nan, C., Ming-Chuan, Y., Shu, L., Xing-Qi, Z., Xin-Yue, Z., y Xiao-Feng, L. (2012). Design and analysis of printed Yagi-Uda antenna and two-element array for WLAN applications. *International journal of antennas and propagation*, 2012.
- Sun, Y., Zhang, H., Wen, G., y Wang, P. (2012). Research progress in Yagi antennas. *Procedia Engineering*, 29, 2116-2121.
- Uribazó, F. V. G., Paz, H. S., y Castañeda, A. R. S. (2013). Diseño y simulación de una antena microcinta rectangular a la frecuencia de 2,4 Ghz.

Recibido: 09 de agosto de 2022

Aceptado: 15 de octubre de 2022

Salamanca Ojeda, Fernanda Darely: Egresada de la licenciatura en Ingeniería en Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México en 2022. Alumna participante en el proyecto de investigación “Análisis del impacto de la permitividad de dos sustratos diferentes en antenas de microcinta” de la Facultad de Ingeniería de la UAEMex 2021-2022. Correo electrónico: nemudarpo@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4292-6963>

Pérez Merlos, Juan Carlos: Ingeniero en Electrónica en Instrumentación egresado del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán Jalisco en 1986. Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería en Informática en 1998 en la Universidad Autónoma del Estado de México y es Doctor en Ingeniería Industrial en Tecnologías de Información en el 2018 por la Universidad Anáhuac Norte de México. Correo electrónico: jcjc63@yahoo.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6189-5125>

Salgado Gallegos, Mireya: Ingeniera en Computación en la Universidad Autónoma del Estado de México en 1994. Obtuvo el grado de Maestría en Ingeniería en Informática en 2007 en la misma Institución y es Doctora en Ingeniería Industrial en Tecnologías de Información en el 2018 por la Universidad Anáhuac Norte de México. Correo electrónico: msalgadog@uaemex.mx

 <http://orcid.org/0000-0003-2675-9456>

