

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE PROTOTIPOS CON DIVERSAS GEOMETRÍAS DE ANTENAS CON MICROCINTA DEBAJO DE 6 GHZ

DESIGN AND EVALUATION OF PROTOTYPES
WITH SEVERAL GEOMETRIES OF MICROSTRIP
ANTENNAS UNDER 6 GHZ

Víctor Manuel Hinostrza Zubía

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México
vhinostr@uacj.mx

Héctor Garcés Guzmán

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México
hgarces@uacj.mx

Recepción: 28/octubre/2020

Aceptación: 3/diciembre/2020

Resumen

En la actualidad se está viviendo una gran revolución del uso de las tecnologías de la información sobre todo en las redes móviles, se están generando gran cantidad de usuarios y aplicaciones que surgen en las comunicaciones móviles, lo que ha provocado la necesidad de aumentar la capacidad y calidad de los servicios de telecomunicaciones. el propósito de este trabajo es analizar la eficiencia de las antenas con la implementación de antenas de parche con microcinta y minimizar la pérdida de la potencia de las antenas convencionales. Para lo cual se simularon y construyeron varios prototipos de antenas con diferentes geometrías. Se determinó que las geometrías a utilizar serian; U-Ranura multibanda de una capa, doble ranura, cuadrada y cruz. Se simuló su respuesta a estímulos electromagnéticos y su respuesta en frecuencias por debajo de 6 GHz. El propósito de este trabajo es valorar diversas geometrías de antena con respecto a varios parámetros y seleccionar las geometrías más adecuadas para las frecuencias requeridas en las nuevas tecnologías.

Palabras clave: Directividad, geometrías, microcinta, parche, S11.

Abstract

Currently, there is a great revolution in the use of information technologies, especially in mobile networks. Many users and applications are emerging that arise in mobile communications, which has caused the need to increase capacity and the quality of telecommunications services. The purpose of this work is to analyze the efficiency of antennas with the implementation of microstrip patch antennas and to minimize the loss of power of conventional antennas. Then various antenna prototypes with different geometries were simulated and built. It was determined that the geometries to be used would be single-layer, double-slot, square and cross multi-band U-slot. Their response to electromagnetic stimuli and their response at frequencies below 6 GHz were simulated. The purpose of this work is to assess various antenna geometries with respect to various parameters and select the most suitable geometries for the frequencies required in new technologies.

Keywords: *Geometries, directivity, microstrip, patch, S11.*

1. Introducción

Los sistemas inalámbricos son, sin duda, una parte esencial de la sociedad moderna y lo son cada vez más a medida que avanzamos hacia la "sociedad de la información" y exigimos acceso a más información, de manera inmediata y en más lugares. Al mismo tiempo, los desarrollos tecnológicos están haciendo posibles nuevas aplicaciones, abriendo nuevos mercados y prometiendo importantes beneficios económicos [Moreno, 2001]. En todos los casos, el espectro es un recurso básico esencial que, aunque reutilizable, no puede crearse para satisfacer la demanda. Por lo tanto, es cada vez más importante mejorar la eficiencia con la que se hace uso del espectro. Por ejemplo, el sistema de telefonía móvil de próxima generación puede requerir un aumento de capacidad de un orden de magnitud. Dado que los sistemas actuales están cerca del límite de [Shannon, 2020] establece cuál es la capacidad del canal, para un canal con ancho de banda finito y una señal continua que sufre ruido gaussiano, hay relativamente poco que ganar al mejorar los esquemas de modulación y codificación, y las antenas inteligentes se han identificado como una técnica que puede cerrar la brecha de rendimiento prevista.

El teléfono celular es la tecnología de comunicación que se ha adoptado con mayor rapidez en el mundo, puesto que se ha adecuado a todo tipo usuarios; jóvenes, adultos, niños, hombres y mujeres, para cubrir diversas necesidades de la vida cotidiana como mantener las relaciones familiares y amistosas, para manejar la rutina, y no se diga como instrumento de trabajo. El teléfono móvil ha agregado una nueva dimensión a la movilidad de las personas, de poder estar conectadas, teóricamente, en todo momento y en todos los lugares.

Una antena inteligente es aquella que responde de alguna manera a su entorno electromagnético para mejorar una métrica de rendimiento específica; al hacerlo pueden proporcionar, por ejemplo, una mayor inmunidad a la interferencia o un nivel de señal reducido hacia un receptor vulnerable [Moreno, 2001]. En general, la provisión de estas capacidades requiere el uso de antenas de elementos múltiples con control sobre la excitación de cada elemento. Las antenas inteligentes no son nuevas en concepto, sin embargo, con una serie de notables excepciones, no se ha visto una adopción generalizada.

Debido al rápido desarrollo de la comunicación inalámbrica, el crecimiento tecnológico de quinta generación (redes móviles 5G) va a ser necesario para satisfacer las grandes demandas de las redes de comunicación. Mejorar las capacidades de rendimiento de la red es la clave para facilitar la infraestructura para el desarrollo de ciudades inteligentes. Por lo tanto, antenas de estructura simple que proporcionan un ancho de banda amplio para móviles y dispositivos avanzados han estado recibiendo grandes intereses de investigación. En las últimas décadas, se han logrado avances significativos en el desarrollo de antenas de parche de banda ancha. Sin embargo, las antenas de parche convencionales tienen un ancho de banda muy angosto, generalmente con porcentajes muy pequeños del ancho de banda total. Muchas técnicas han sido ampliamente investigadas para mejorar la banda operativa de las antenas de parche [Guo, 2001], [Lai, 2006], [Lai, 2005], [Mak, 2001], [Ooi, 2000].

Este artículo describe un conjunto de antenas de parche de banda ancha con banda sencilla, doble y triple banda que se pueden usar en la comunicación 5G. Las antenas parche tienen varias formas y una estructura multicapa en su conjunto. El

material del sustrato dieléctrico es sustrato dieléctrico FR4, que es de bajo costo y conveniente en el procesamiento. Los parches de las antenas son alimentados por una línea de transmisión estándar de 50Ω con una longitud lateral de 38 mm. La estructura general es compacta y trata de obtener un ancho de banda del 15% en la banda de 3 a 5.6 GHz, cubriendo la banda de comunicación 5G convencional actual y la banda 3G-4G. Además, dado que las antenas de parche diseñadas tienen un ancho de banda de aproximadamente 50 MHz en las diferentes frecuencias, precisamente donde algunos países y regiones pueden liberar banda de comunicación original para comunicación 5G.

2. Métodos

En este trabajo se construyeron diferentes prototipos de antenas usando como base la técnica de microcinta y su rango de funcionamiento de alrededor de la frecuencia de 5 GHz. Una antena de microcinta, en su concepción más simple, está formada por un sustrato dieléctrico que presenta en una de sus caras un parche metálico radiante mientras que en la otra se encuentra el plano de tierra, como se muestra en la figura 1.

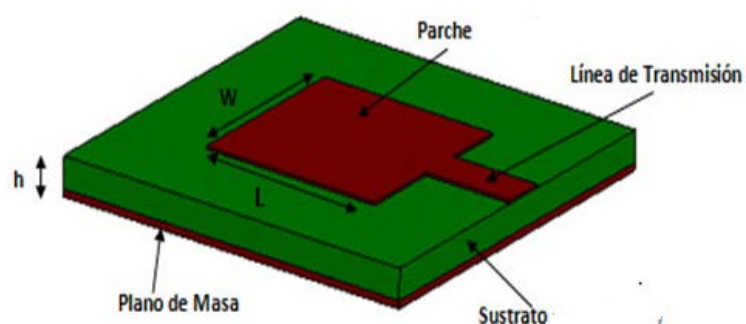


Figura 1 Elementos del parche de microcinta [Gómez, 2013].

Los parches de microcinta pueden tener cualquier forma, sin embargo, las que se emplean con más frecuencia son la U único, U doble banda, U de tres bandas, cuadrada, doble ranura, etc. En nuestro caso se utilizó también una cuadrada y en forma de cruz. Las cuales resultan más fáciles de analizar y fabricar. En la figura 1 se muestran los elementos que conforman una antena de microcinta [Garg, 2001]

Las antenas de microcinta pueden dividirse en cuatro categorías básicas: antenas de parches de microcintas, dipolos de microcintas, antenas de ranura impresa, antenas de microcinta de onda viajera, siendo los parches de microcinta los de mayor utilización.

Antenas de parche con microcinta

Una antena de microcinta consiste en un parche conductor de cualquier geometría plana o no plana sobre un sustrato dieléctrico con un plano de tierra al otro lado. También se les conoce como antenas de parche o impresas. Estas antenas son usadas en varias aplicaciones, incluyendo radares, GPS, comunicaciones móviles, aplicaciones aeronáuticas, aplicaciones médicas, etc.

La radiación de la microcinta ocurre desde los campos laterales entre los extremos de la superficie del parche y el plano de tierra. Se asume que no hay variación en el campo eléctrico a lo largo del ancho y grueso del elemento radiador, sino que únicamente hay variación a lo largo de la longitud del parche, el cuál usualmente es media longitud de onda $\lambda/2$.

Las antenas de microcinta poseen diversas ventajas respecto a las antenas convencionales de microondas, entre ellas, que pueden cubrir fácilmente una amplia gama de frecuencias, normalmente de los 100 MHz a los 100 GHz. Las principales ventajas del uso de estas antenas son: volumen reducido y perfil plano, bajo costo de fabricación, con facilidad de producción en serie, obtención de polarizaciones lineales y circulares con simplicidad en las aplicaciones y simplicidad de integración en los circuitos de microondas. Sin embargo, tienen algunas limitaciones como: banda estrecha, ganancia baja, la mayor parte de las antenas microcinta irradian solamente sobre el espacio superior referente al plano, dificultad para conseguir una polarización 'pura', compleja red de alimentación para arreglos y excitación de ondas superficiales.

Las antenas de microcinta aparecen en una variedad de formas, incluyendo rectangular, circular, elíptica, y triangular. Son estructuras planas de bajo peso y pueden ser usadas en circuitos integrados. Los parches rectangulares y circulares son los más básicos y los que más se usan en antenas de microcinta [Solano, 2012].

Utilizando el modelo de línea de transmisión, la antena de microcinta es modelada como dos espacios radiantes separados por una distancia L . Sin embargo, debido a los campos radiantes en el borde, la distancia actual de separación es L_{eff} (longitud efectiva o longitud eléctrica), la cual es el largo del parche L más la distancia adicional $2\Delta L$, eso justifica el hecho de que el parche se ve eléctricamente más amplio debido a los campos radiantes de borde. La distancia ΔL puede ser calculada con la ecuación 1 [Luk, 1998]:

$$\Delta L = 0.412 \cdot h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.12\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (1)$$

donde ϵ_{reff} es la constante dieléctrica efectiva de una línea de transmisión de microcinta, ecuación 2.

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_{r+1}}{2} + \frac{\epsilon_{r-1}}{2} \left(1 + 12 \cdot \frac{h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Así, la distancia efectiva que separa los dos espacios radiantes es representada por la ecuación 3.

$$L_{eff} = L + 2 \cdot \Delta L \quad (3)$$

Esta ecuación se puede despejar para obtener la longitud actual de L . También puede ser obtenida la longitud efectiva por medio de la ecuación 4.

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \cdot f_c \cdot \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (4)$$

Esta longitud ajustada es la que se utiliza en el cálculo de la frecuencia de resonancia de la antena, ecuación 5.

$$(f_r)_{010} = \frac{c}{2 \cdot L_{eff} \cdot \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (5)$$

Siendo c la velocidad de la luz. El ancho de la antena puede ser calculada por la ecuación 6.

$$W = \frac{c}{2 \cdot f_c \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (6)$$

Esencialmente el modelo de línea de transmisión es aplicable a un plano de tierra infinito solamente. Sin embargo, se ha mostrado que un plano de tierra finito puede

ser usado, si el plano de tierra es seis veces más grande que la altura del sustrato dieléctrico, además del ancho o la longitud. El plano de tierra puede calcularse con las ecuaciones 7 y 8.

$$W_g = 6 \cdot h \cdot W \quad (7)$$

$$L_g = 6 \cdot h \cdot L \quad (8)$$

3. Resultados

En esta sección, daremos los resultados de los prototipos de las antenas como se muestra en las figuras, se muestra los resultados prácticos en comparación con los obtenidos por la simulación dada por Matlab. La figura 2 muestra los prototipos realizados: U-ranura, doble U, triple U, dipolo, cuadrada y cruz.

En la figura 3, se muestra la disposición de equipo para las pruebas prácticas de los prototipos, el equipo constó de básicamente solo un analizador de redes marca HP, modelo 8753E de ancho de banda 6.8 GHz. La antena receptora fue una antena omnidireccional de amplio ancho de banda de respuesta conocida.



Figura 2 Prototipos realizados.

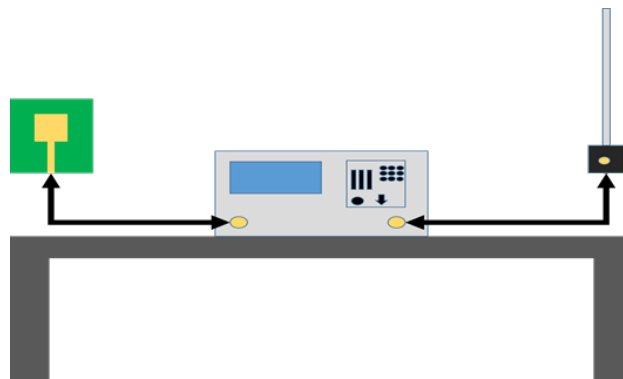


Figura 3 Arreglo de prueba para las antenas.

En la figura 4 se observa la simulación de respuesta a la frecuencia de la antena de ranura U con el parámetro S11. En la figura 4 se observa que la mejor sintonía de la respuesta es en alrededor de 4.5 GHz, con una respuesta adicional indeseada en 3.8 GHz.

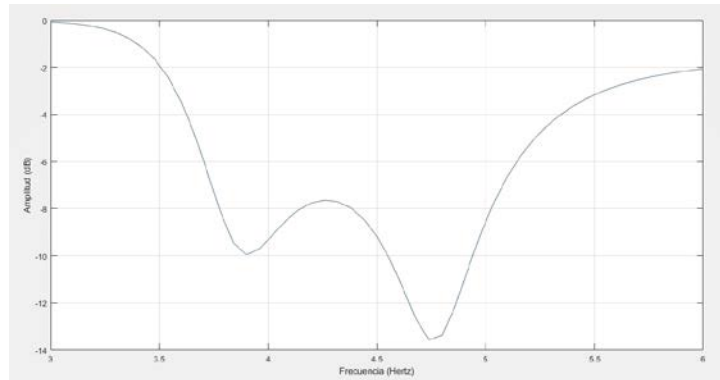


Figura 4 Simulación de la respuesta S11 de la antena U-Ranura de una banda.

En la figura 5 se muestra la gráfica de simulación del patrón de radiación para una frecuencia de 4.74 GHz que tiene la antena de U-Ranura de una banda. En la figura 5, se observa que se tiene la máxima transferencia de energía a la frecuencia de sintonía y que su patrón de radiación es direccionado hacia la parte frontal de la antena.

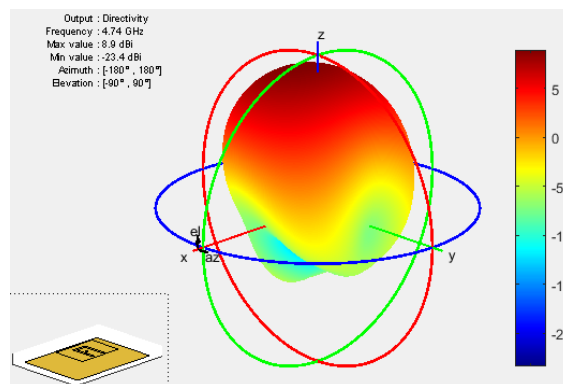


Figura 5 Directividad de radiación a 4.74 GHz de la antena U-ranura.

En la figura 6 se muestran la respuesta a la frecuencia del parámetro S11 para el prototipo de la antena U-ranura. En la figura 6 se puede observar que la mejor

intonía de la antena es en la frecuencia de 3.4 GHz, no en la frecuencia esperada de 4.7 GHz. En la figura se tiene otra banda de sintonía cerca de 5.6 GHz, la cual está fuera de nuestro rango de diseño. Esta segunda banda puede generarse en el desacoplamiento de la línea de transmisión.

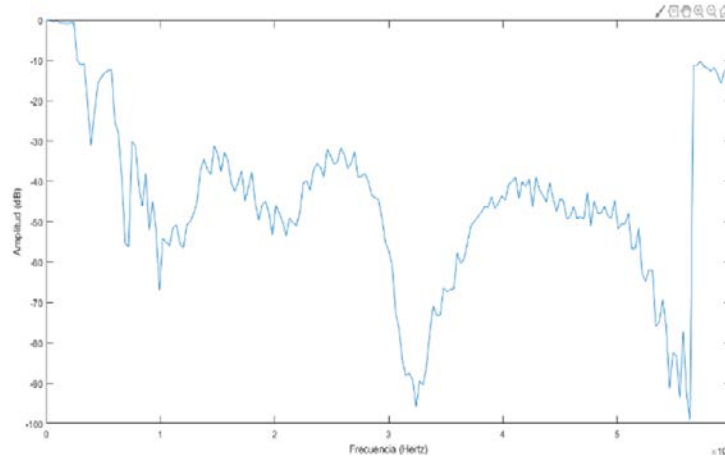


Figura 6 Respuesta del prototipo de la antena de U-Ranura de una banda.

En la figura 7, se muestra la simulación de la respuesta en frecuencia del parámetro S11 para la antena U-ranura de dos bandas. Se puede observar en la figura que están definidas claramente las dos bandas de sintonía en las frecuencias de 3.7 y 5.1 GHz. En la figura 8, se tiene la respuesta del prototipo de la misma antena, en la figura se puede observar que se tienen dos bandas, pero estas están en las frecuencias de 2.8 y 4.9 GHz, de nuevo las frecuencias están fuera de sintonía.

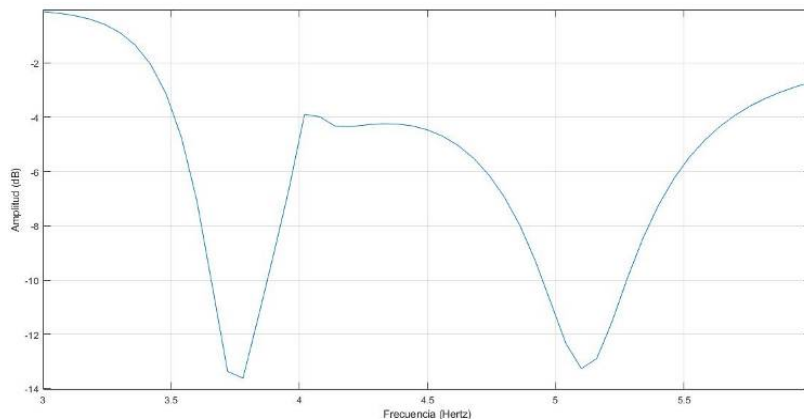


Figura 7 Simulación de la respuesta S11 de la antena U-Ranura de dos bandas.

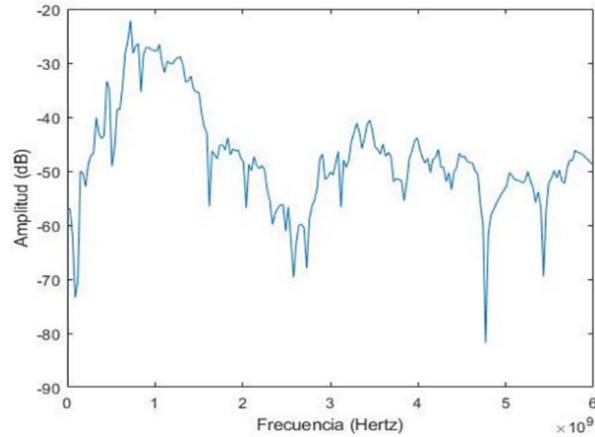


Figura 8 Respuesta S11 del prototipo de antena U-Ranura de dos bandas.

En la figura 9, se muestra la simulación de la respuesta en frecuencia del parámetro S11 para la antena U-ranura de tres bandas. Se puede observar en la figura que están definidas claramente las tres bandas de sintonía en las frecuencias de 4.2, 4.8 y 5.4 GHz. En la figura 10, se tiene la respuesta del prototipo de la misma antena, en la figura se puede observar que se tienen las tres bandas, pero estas no están claramente definidas se puede deducir que están en las frecuencias de 2.8 y 4.9 GHz, de nuevo las frecuencias están fuera de sintonía.

En la figura 11 se muestra la gráfica de simulación del patrón de radiación para las frecuencias 3.9 y 5.6 GHz de triple banda. En la figura 11, se observa que se tiene la máxima transferencia de energía a la frecuencia de sintonía y que su patrón de radiación es direccionado hacia la parte frontal de la antena.

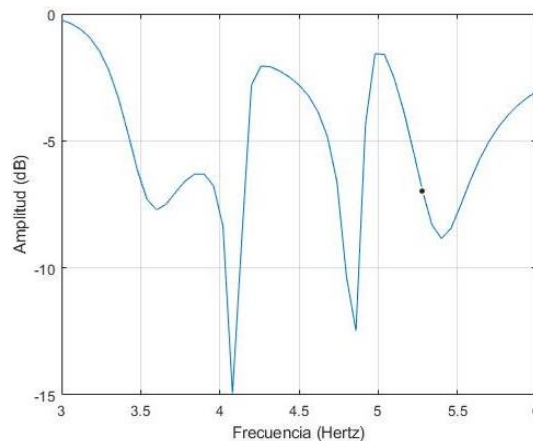


Figura 9 Antena U-Ranura de triple banda.

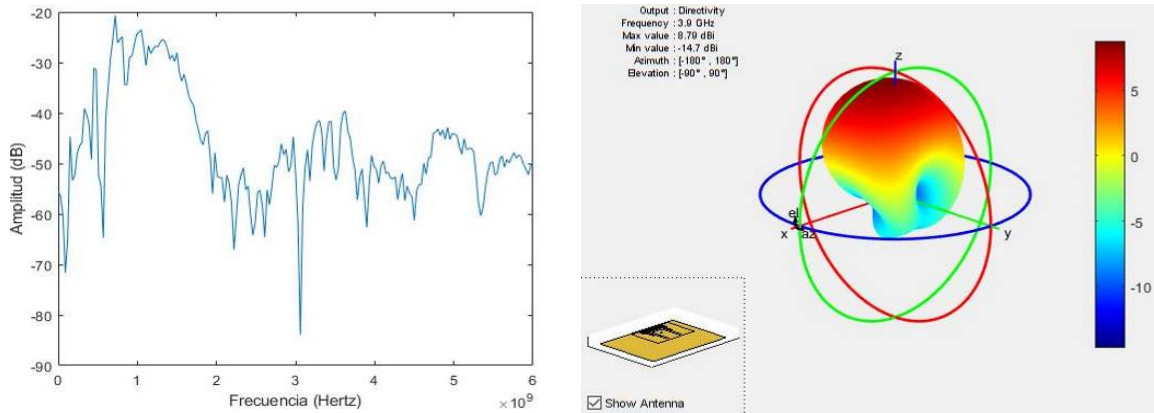


Figura 10 Resultados del prototipo antena U-Ranura de triple banda.

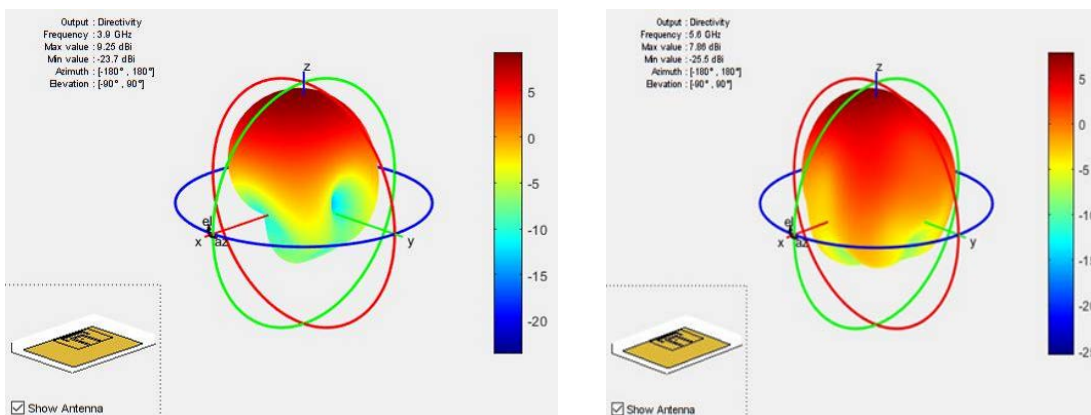


Figura 11 Patrón de radiación para las frecuencias 3.9 y 5.6 GHz triple banda.

4. Discusión

Para resumir el rendimiento entre las antenas propuestas y los resultados esperados con las antenas de parche de banda ancha reportadas, se encontró que los resultados de los prototipos difieren con las características simuladas, especialmente en lo respecta a la respuesta a la frecuencia del parámetro S11. Las frecuencias de sintonía no coinciden con las simuladas. Esto se puede deber a que las características reales del PCB usado no coinciden con las especificaciones de la simulación. Para continuar usando el mismo material tendremos que modificar las dimensiones de cada uno de los prototipos, calcular de nuevo las frecuencias de sintonía y el acoplamiento de impedancias.

En lo que respecta a la directividad, las simulaciones mostraron un rendimiento aceptable. Las ganancias de las antenas también fueron dentro de lo esperado.

Hay que mencionar que se obtuvieron otras características de las antenas, tanto en simulación como en los prototipos, mediciones tales como; parámetros S22, S12, S21, lóbulos de transmisión, etc. Por falta de espacio no se incluyeron en el trabajo.

5. Conclusiones

En este trabajo se tuvo la finalidad de construir varios prototipos de antenas de diferentes geometrías con la tecnología de microcinta, para la finalidad de investigar para su funcionamiento en el uso de redes móviles de 5G. Las características que se intentaron obtener serían: mejor rendimiento, bajo costo y menor tamaño.

Se realizó una investigación sobre la microcinta, se procedió a la simulación de los diversos prototipos en Matlab, basándonos en las últimas publicaciones de antenas de microcinta determinamos que las geometrías a utilizar serían U-Ranura multibanda de una capa, doble banda, triple banda, cuadrada y en cruz. Se obtuvieron las simulaciones y se compararon con los prototipos. Se pudo concluir con base a la simulación que el prototipo de la antena de U-Ranura de una capa la tuvo un mejor funcionamiento.

Las recomendaciones que se pueden hacer para trabajos futuros serían: probar otras geometrías con mayor precisión al momento de ser maquinadas sobre el sustrato metálico. El grosor de la microcinta a pesar de ser placas estándar no está completamente uniforme, por lo cual hace en algunos puntos sean más capacitivas las antenas. Por recomendación de algunos autores probar otro sustrato metálico o capas de películas delgadas de otro material.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Antenaruval, (2020), http://antenaruval.mex.tl/imagesnew2/0/0/0/2/0/5/4/9/3/1/TEMA%202_2.pdf.
- [2] Beta, (2018), http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/otrtemecon/endutih2018_02.pdf.
- [3] Boon-Kok, T., Stafford, W., Ghassan, Y., A Compact Microstrip-Fed Planar Dual-Dipole Antenna for Broadband Applications, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 15, pp. 596–599, 2016.

- [4] Campanella, Antenas inteligentes con aplicación en SDMA, 2003.
- [5] Expansion, En México el número de mexicanos con acceso a internet subió a 71.3 millones, <https://expansion.mx/tecnologia/2018/02/20/en-mexico-hay-713-millones-de-mexicanos-con-acceso-a-internet>, 21 febrero 2018.
- [6] Frepositorio, <https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwiS2MWp5ziAhUN658KHVK7AzoQjRx6BAgBEAQ&url=http%3A%2F%2Frepositorio.upct.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10317%2F6596%2Ftfg-ver-dis.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&psig=AOvVaw39ivuAWphBXIT6Bw3Q4jfJ&>. 2020.
- [7] Garg, R., *Microstrip Antenna Design Handbook*, london: ArtechHouse, Inc. 2., 2001.
- [8] Gómez Rodríguez Eric, *Estudio de la variación de diferentes parámetros en antenas de microcinta AAPC*, SciELO, La Habana, 2013.
- [9] Guo, Y., X., Mak, C., L., Luk, K., M., and Lee K., F., Analysis and design of L-probe proximity fed-patch antennas, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 49, no. 2, pp. 145–149, 2001.
- [10] Lai, H., W., and Luk K. M., Design and study of wide-band patch antenna fed by meandering probe, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no. 2, pp. 564–571, 2006.
- [11] Lai, H., W., and Luk, K., M., Wideband stacked patch antenna fed by meandering probe, *Electron. Lett.*, vol. 41, no. 6, pp. 297–298, 2005.
- [12] Lee, *The versatile U-slot patch antenna*, Berlin, 2009.
- [13] Luk, K., M., Mak, C., L., Chow, Y., L., and Lee, K., F., broadband microstrip patch antenna, *Electron Lett.*, vol. 34, no. 15, pp. 1442–1443, 1998.
- [14] Mak, C., L., Lee, K., F., and Luk, K., M., Broadband patch antenna with a T-shaped probe, *IEE Proc.-Microw., Antennas Propag.*, vol. 147, no. 2, pp. 73–76, 2000.
- [15] Minga, <http://mingaonline.uach.cl/fbpe/img/sintec/v3n2/fig34.jpg>, 2020.
- [16] Ooi B. L., Lee C. L., Kooi P. S., and Chew S. T., A novel F-probe fed broadband patch antenna, in *Proc. IEEE Trans. Antennas Propag. Soc. Int. Symp.* Pp. 474–477, 2001.

- [17] Mok, Single-Layer Single-Patch Dual-Band and Triple-Band Patch Antennas, 2020.
- [18] Monachesi Emilio, Introduccion, de Conceptos generales de Antenas, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Tucumán, 2011.
- [19] Moreno Jimenez Oscar, Introducción a la tecnología de antenas inteligentes. Aplicación a UMTS, de Comunicaciones de telefonía, 2001.
- [20] Radiocomunicaciones, (2020), <http://www.radiocomunicaciones.net/teoria-antenas.html>.
- [21] Semantics, <https://www.semanticscholar.org/paper/High-gain-2.4GHz-patch-antenna-array-for-rural-area-Aji-Wibisono/3124ee6e14d8d6d80a859c48056970fb033f5220/figure/1>, 2020.
- [22] Shannon (2020), https://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_Shannon-Hartley#Teorema_de_Shannon-Hartley.
- [23] Solano, <http://solano.orgfree.com/INTROTELECOM/antenas1.pdf>. 2020.
- [24] Ya-Qing, W., Bing, Zhong, W., Xiao, D., Planar Microstrip Endfire Antenna With Multiport Feeding, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 556-559, 2016.
- [25] Zhao, Z., Zhaohui, W., Zhaoyang, T., Yingzeng, Y., Design and Analysis of a Wideband Multiple-Microstrip Dipole Antenna with High Isolation, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol.18, pp. 722–726, 2019.