

Correlación de arreglos de antenas con microcinta y amplio ancho de banda para 5G

Víctor Manuel Hinostrroza Zubía^a Ph. D.
Héctor Garcés Guzmán^b Ph. D.

^a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, vhinostr@uacj.mx, Ciudad Juárez Chihuahua Mexico.

^b Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, hgarcés@uacj.mx, Ciudad Juárez Chihuahua Mexico.

Resumen

Los arreglos de antenas se han convertido en una pieza central de la mayoría de los sistemas de comunicación más, sin embargo, su diseño y la evaluación sigue siendo un desafío. Un parámetro clave es la matriz de correlación, que relaciona los patrones de la antena y la propagación multirrayectoria. La correlación rige métricas de comunicación tales como; las diversas capacidades, tasas de error y fallas. El cálculo de la matriz de correlación requiere mediciones precisas de los patrones complejos de campo lejano de las antenas y es necesario verificar que tan precisos son estos cálculos. El propósito de este trabajo es analizar la eficiencia de las antenas con la implementación de arreglos de antenas de parche con microcinta y minimizar la pérdida de la potencia e interferencia debido a la correlación entre antenas. Para lo cual se simularon varios prototipos de arreglos de antenas con diferentes geometrías. Se simularon varias configuraciones de arreglos de antenas; arreglos en línea, circulares y rectangulares. En cada uno de estos arreglos se utilizarán diferente cantidad de antenas; 4, 6 u 8 antenas. Asimismo, se analizaron dos diferentes sustratos de circuito impreso; aire y FR4. Todas estas simulaciones se realizarán en la frecuencia de 3500 MHz, la cual es una de las frecuencias principalmente utilizadas para la 5^a. Generación de telefonía celular debajo de 6 GHz.

Palabras clave— parche, microcinta, arreglos de antena, Parámetros S, directividad

Abstract

Antenna arrays have become a centerpiece of most communication systems, yet their design and evaluation remain a challenge. A key parameter is the correlation matrix, which relates antenna patterns and multipath propagation. Correlation rules communication metrics such as various capacities, error rates, and outages. The calculation of the correlation matrix requires precise measurements of the complex far-field patterns of the antennas, and it is necessary to verify how accurate the measurement calculations are. The purpose of this work is to analyze the efficiency of the antennas with the implementation of patch antenna arrays with microstrip and to minimize the loss of power and interference due to the correlation between antennas. For which several prototypes of antenna arrays with different geometries were simulated.

Various antenna array configurations were simulated, line, circular and rectangular arrangements. In each of these arrangements a different number of antennas will be used; 4, 6 or 8 antennas. Likewise, two different printed circuit substrates were analyzed; air and FR4. All these simulations will be carried out on the 3500 MHz frequency, which is one of the frequencies mainly used for the 5th cell phone generation.

Keywords— patch, microstrip, geometries, S11, directivity

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de múltiples antenas se han convertido en una pieza clave en la tecnología para comunicaciones inalámbricas, esta tecnología permite sistemas de múltiples entradas, múltiples salidas (MIMO) y otras técnicas de diversidad. Los nuevos sistemas inalámbricos, actualmente denominados colectivamente como 5G, utilizarán un número cada vez mayor de antenas. Una métrica de rendimiento clave para sistemas de múltiples antenas es la matriz de correlación de la antena. Numerosos estudios han demostrado que la correlación entre los puertos de antena disminuye la capacidad del canal inalámbrico [1]-[5].

Estamos en la era de las telecomunicaciones, cada día surgen nuevas funciones y aplicaciones para conectar personas y objetos. La cantidad de datos consumidos crece más cada día, junto con las expectativas de una creciente sociedad tecnológica, más inteligente y con mejores servicios. En los próximos años, se espera un crecimiento exponencial del número de dispositivos conectados, así como el volumen de tráfico de datos. La nueva generación de comunicaciones móviles, 5G tiene como objetivo dar respuesta a este avance de la tecnología, proporcionando un aumento de capacidad, cobertura, conectividad, eficiencia energética y reducción de costos. Las redes 5G permitirán la comunicación en cualquier lugar desde los densamente poblados hasta los más remotos lugares.

Las aplicaciones de 5G se pueden agrupar en tres grupos principales, cada uno con necesidades y prioridades propias: Internet de las Cosas (IoT), servicios de misión crítica y dispositivos móviles mejorados de banda ancha [1-2]. IoT se refiere a comunicaciones de bajo consumo y costo, que habitualmente consisten en conectar cientos de sensores y tienen aplicaciones típicas en agricultura, automatización, hogares y ciudades inteligentes. Los servicios de misión crítica requieren características de alta rendimiento, baja latencia, alta confiabilidad y seguridad; tienen aplicación en vehículos autónomos, drones y otras aplicaciones críticas. La banda ancha móvil mejorada se refiere a un alto rendimiento, amplia cobertura y servicio de Internet más rápido [1].

El teléfono celular es la tecnología de comunicación que se ha adoptado con mayor rapidez en el mundo, debido a que se ha adecuado a todo tipo usuarios; jóvenes, adultos, niños,

hombres y mujeres, para cubrir diversas necesidades de la vida cotidiana tales 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 [1]. 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 excepciones, no se ha visto una adopción generalizada.

El espectro disponible para la 5G, asignado por la Tercera Generation Partnership Project (3GPP), se subdivide en bandas por debajo de 6 GHz y por encima de 6 GHz (en el rango de las ondas milimétricas; a 28 GHz y 39 GHz). Por lo tanto, las redes 5G deberían tener sistemas de RF que tengan suficiente versatilidad para adaptarse a diferentes escenarios, que sean altamente eficientes e integrados. Para afrontar los nuevos retos de las comunicaciones 5G (en diferentes escenarios de aplicación) y para permitir el filtrado espacial. Por tanto, se necesitan arreglos de antenas, con la capacidad de dirigir su radiación y la formación de haces, así como una mayor cobertura, mediante el uso de adaptadores. El uso de la formación de haces permite también superar problemas de propagación que se observan al operar en las frecuencias de ondas milimétricas. Estos arreglos constarán de decenas de elementos radiantes, controlados individualmente para permitir dirigir su haz.

Este artículo describe un conjunto de arreglos de antenas de parche de banda ancha con banda múltiples que se pueden usar en la comunicación de los sistemas 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 50 Ohm. La estructura general es compacta y trata de obtener un ancho de banda del 15% en la banda de 3 GHz a 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 pretenden liberar bandas de frecuencia para comunicación 5G.

Antenas de parche con microcinta

Las antenas de microcinta poseen diversas ventajas respecto a las antenas convencionales de microondas, una de 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 tales 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.

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. Sus características físicas largo L , ancho W , alto H y la constante dieléctrica del sustrato ϵ_r determinan sus características eléctricas, figura 1.

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 cual usualmente es media longitud de onda ($\lambda/2$).

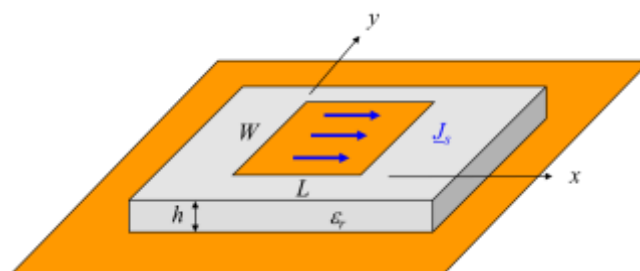


Figura 1. Elementos de una antena de parche con microcinta.

Utilizando el modelo de línea de transmisión, la antena de microcinta es modelada como dos espacios radiantes separados por una distancia L . La frecuencia de resonancia está determinada por (1), donde m y n son los modos de transmisión, donde el modo dominante es el 1,0. ϵ_{reff} es la constante dieléctrica efectiva de una línea de transmisión de microcinta [6]:

$$f_{mn} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{W}\right)^2} \quad (1)$$

El ancho de banda de la antena está determinado principalmente por la siguiente ecuación;

$$BW = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\ell_d + \left(\frac{R_s^{ave}}{\pi \eta_0} \right) \left(\frac{1}{h/\lambda_0} \right) + \left(\frac{16}{3} \right) \left(\frac{pc_1}{\epsilon_r} \right) \left(\frac{h}{\lambda_0} \right) \left(\frac{W}{L} \right) \left(\frac{1}{\epsilon_r^{hd}} \right) \right] \quad (2)$$

Donde destacan los parámetros W, L, h y ε. Para una antena con mínimas pérdidas, el ancho de banda es aproximadamente proporcional al ancho del parche y al grosor del sustrato e inversamente proporcional a la permitividad del sustrato. Para sustratos muy delgados, el ancho de banda aumentará para un parche con pérdida, pero a expensas de la eficiencia

$$D = \left(\frac{3}{pc_1} \right) \left[\frac{\epsilon_r}{\epsilon_r + \tan^2(k_1 h)} \right] (\tan^2(k_1 h)) \quad (3)$$

En (3) se muestra la ecuación que determina la directividad de la antena, de nuevo los parámetros de la ecuación indican relación con los parámetros W, L, h y ε. Asimismo, los parámetros p y c1 dependen de W, L y ε.

$$Z_{in} \approx j\omega L_p + \frac{R}{1 + jQ \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)} \quad (4)$$

En (4) se muestra la ecuación de la impedancia de entrada. Cerca de la frecuencia de resonancia, el parche se puede modelar aproximadamente como un circuito RLC resonante. La resistencia R representa la radiación y las pérdidas. Se agrega una inductancia de entrada Lp en serie, para tener en cuenta la inductancia de la alimentación.

El coeficiente de correlación es la relación entre las señales entrantes en los puertos de antena en un arreglo. El acoplamiento mutuo en los sistemas de arreglos degrada el rendimiento del arreglo. El coeficiente de correlación entre antenas se utiliza como métrica de rendimiento en sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) para cuantificar el rendimiento del sistema y la eficiencia de las antenas. Al utilizar el coeficiente de correlación, un diseñador de sistemas MIMO puede comprender el nivel de acoplamiento que existe entre los puertos de antena del sistema. Minimizar el acoplamiento mutuo implicaría reducir el coeficiente de correlación entre los pares de puertos. Los diseñadores de antenas utilizan dos enfoques para calcular el coeficiente de correlación: el patrón de radiación de campo lejano y los parámetros S. El coeficiente de correlación de un sistema de arreglo de dos antenas es [8]:

$$\rho_e = \frac{\left| \iint_{4\pi} \vec{F}_1(\theta, \phi) \cdot \vec{F}_2^*(\theta, \phi) d\Omega \right|}{\sqrt{\iint_{4\pi} |\vec{F}_1(\theta, \phi)|^2 d\Omega \iint_{4\pi} |\vec{F}_2(\theta, \phi)|^2 d\Omega}} \quad (5)$$

$F_i(\theta, \phi)$ es el patrón de radiación del sistema de antena cuando el puerto i está excitado. Calcular el coeficiente de correlación usando esta fórmula requiere conocer el patrón de radiación de la antena. Este enfoque es difícil de aplicar y requiere mucho tiempo de procesamiento.

Matlab utiliza la caracterización de parámetros S para calcular la correlación entre los elementos de la antena en un arreglo. Este enfoque es más simple que el enfoque de campo lejano porque el cálculo del parámetro S no utiliza los

patrones de radiación de las antenas. El coeficiente de correlación se calcula usando los parámetros S con:

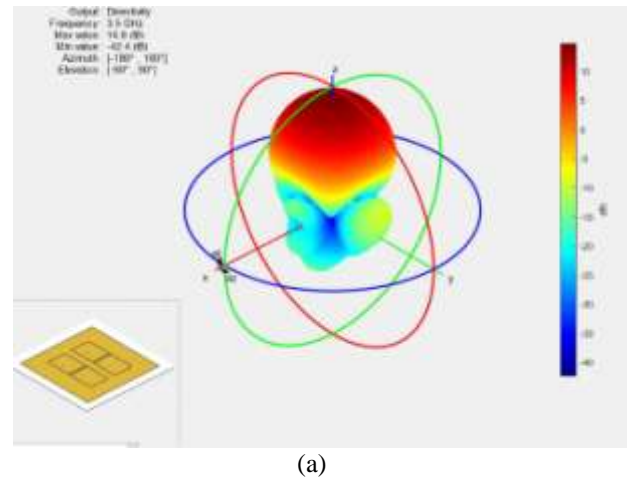
$$\rho_e = \frac{|S_{11}^* S_{12} + S_{21}^* S_{22}|^2}{(1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2))(1 - (|S_{22}|^2 + |S_{12}|^2))} \quad (6)$$

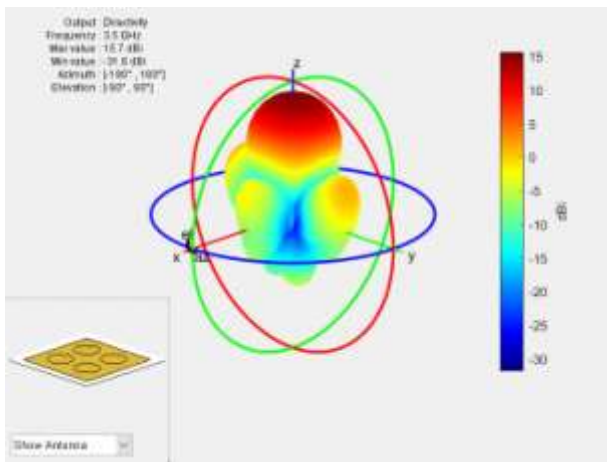
Las ventajas de este método es un análisis rápido y resultados de correlación de banda ancha. Sin embargo, este enfoque supone que las antenas no tienen pérdidas y que las ondas entrantes se distribuyen uniformemente.

2. CONTENIDO

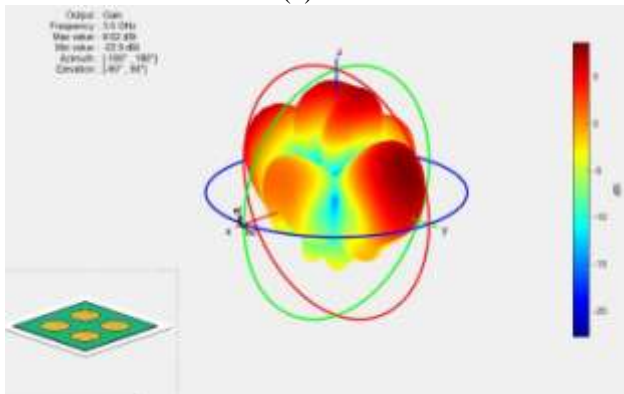
En esta sección, mostraremos los resultados de los prototipos de varios arreglos de antenas, algunos de los arreglos simulados, fueron los siguientes; parche rectangular de 4 elementos, parche circular de 4 y 6 elementos, parche circular con diferentes sustratos y distintas configuraciones.

En la figura 2 se muestran la directividad de los arreglos de antenas con las configuraciones rectangular de cuatro antenas y circular de cuatro antenas con sustrato de aire. También en la misma figura la configuración circular de 4 y 6 elementos con sustrato FR4. Se puede observar en la figura 2, que la directividad de los arreglos con sustrato de aire, presentan mejor eficiencia de transmisión que los de FR4. Las antenas con sustrato de aire presentan un máximo de señal transmitida de 14.8 y 15.1 dBi respectivamente. Mientras que las de sustrato FR4 presentan un máximo de señal de 8.13 y 8.62 dBi. Con el sustrato FR4 existe mayor dispersión de la señal al nivel de tablilla, acentuándose esta característica mientras más antenas tenemos en el arreglo.





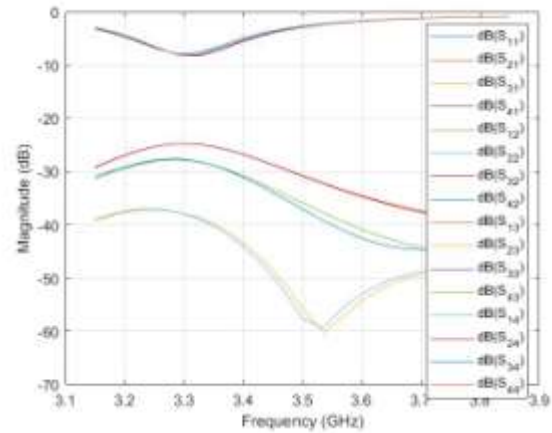
(b)



(c)

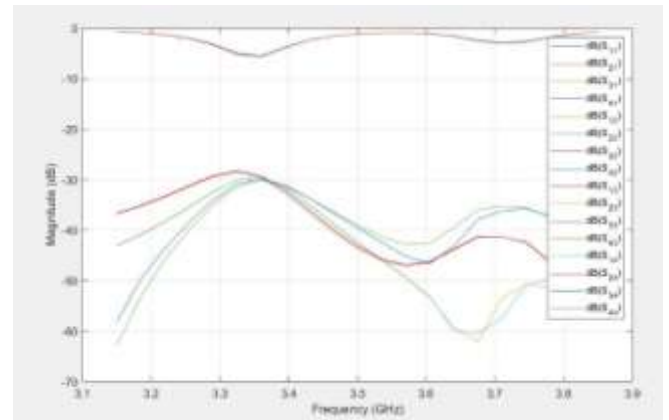
Figura 2. Directividad de arreglos de antenas con sustrato de aire y FR4.

En la figura 3 se muestran los parámetros S de los arreglos de antenas con las configuraciones rectangular de cuatro antenas y circular de cuatro antenas con sustrato de aire. También en la misma figura la configuración circular de 4 y 6 elementos con sustrato FR4. Los parámetros del arreglo rectangular de sustrato de aire es que presenta mejor respuesta alrededor de la frecuencia de 3500 MHz. La respuesta del arreglo circular de sustrato de aire presenta un corrimiento en la frecuencia central hasta 3300 en lugar de 3500 MHz. Mientras que los arreglos con sustrato FR4, también presentan este corrimiento.

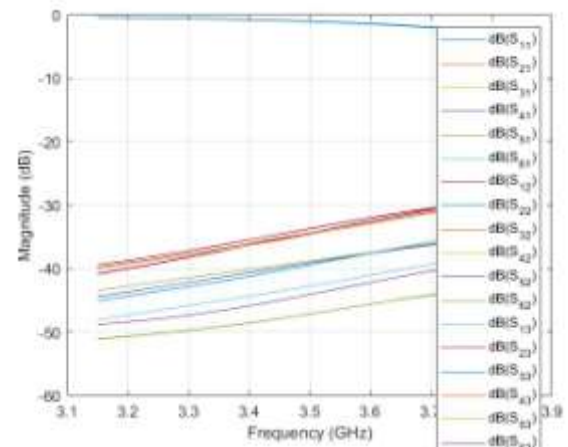


(a)

En la figura 5 se muestran la correlación entre diferentes elementos de los arreglos de antenas con las configuraciones circular de 4 y 6 elementos con sustrato FR4. Con este sustrato se observa que, en general, en todas las combinaciones de elementos la correlación es baja, menor a 0.15. Aunque también en todas las combinaciones hay una tendencia a tener fluctuaciones según se incrementa el ancho de banda.

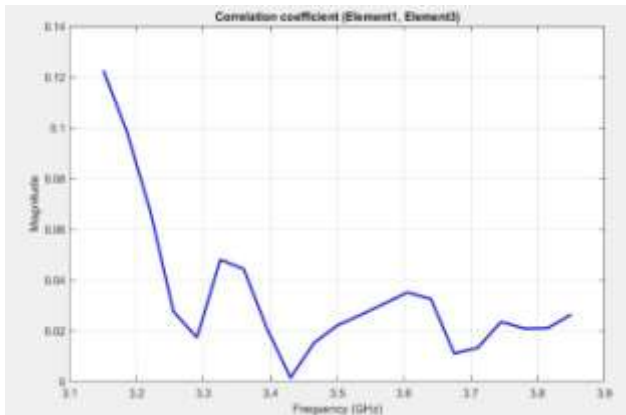


(b)

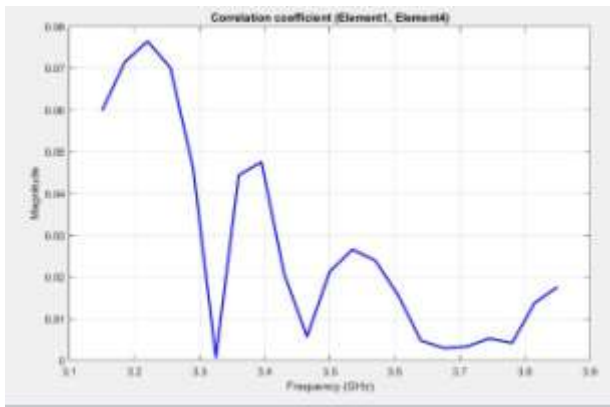


©

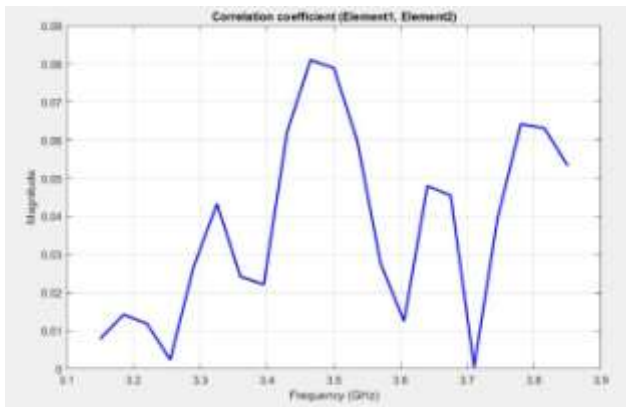
Figura 3. parámetros S entre los diferentes componentes del arreglo de antenas con diferentes sustratos.



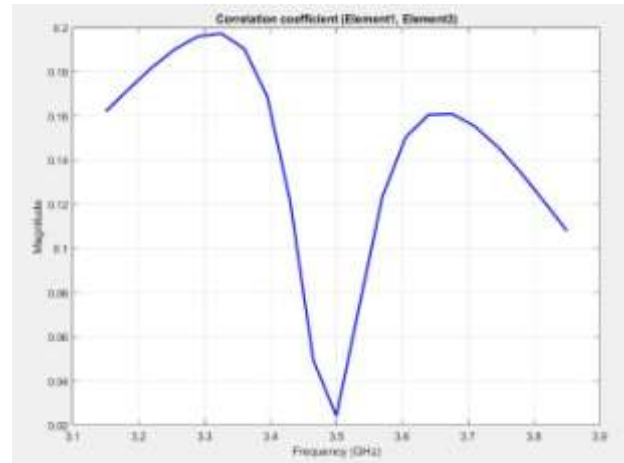
(a)



(b)



©

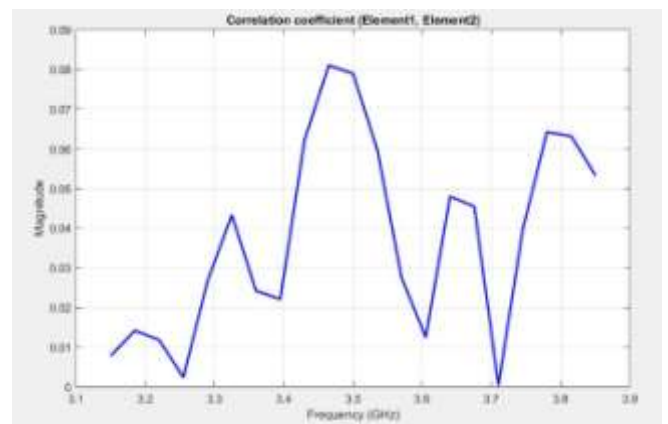


(d)

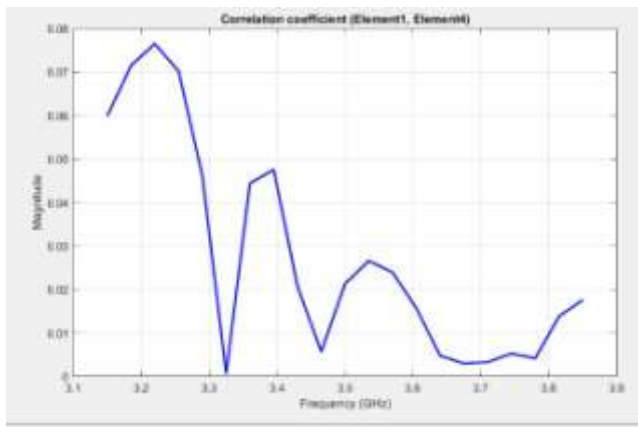
Figura 4. Correlación entre elementos de arreglo de antenas.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

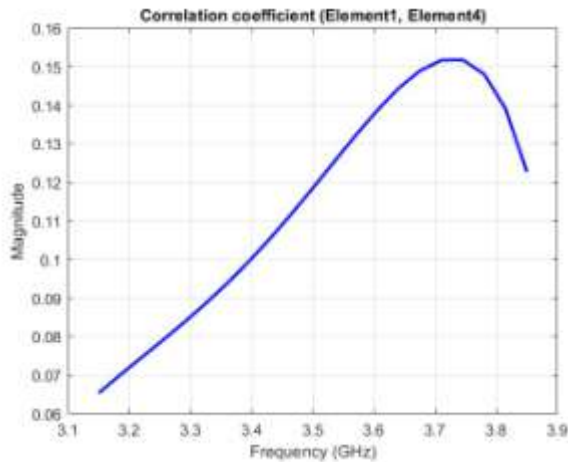
Para resumir el rendimiento entre los arreglos de antena propuestos y los resultados esperados, se encontró que los resultados de las simulaciones difieren con las características esperadas, especialmente en lo respecta a la respuesta a la frecuencia de sintonía y a impedancia de entrada. Las frecuencias 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.



(a)



(b)



(c)

Figura 5. Correlación entre elementos de arreglo de antenas.

Observaciones generales

En este trabajo se tuvo el propósito de simular varios arreglos de antenas con diferentes geometrías usando la tecnología de microcinta, para la finalidad de investigar su funcionamiento específicamente en lo que se refiere a correlación entre antenas para su uso de redes móviles de 5G. La correlación entre antenas es un parámetro de sistema importante en comunicaciones inalámbricas y es difícil de medir con precisión.

Se demostró una concordancia para la correlación entre simulaciones y la forma cerrada de la expresión, dando confianza en las mediciones para antenas en general. Este enfoque se puede utilizar para verificar una medición de arreglos de antenas y la capacidad del sistema para medir con precisión patrones complejos y el cálculo de correlación asociado.

4. REFERENCIAS

[1] R. Vaughan and J. B. Andersen, Channels, Propagation and Antennas for Mobile Communications (Electromagnetic Waves Series). London, U.K.: The Institution of Engineering and Technology, 2003.

[2] D.-S. Shiu, G. J. Foschini, M. J. Gans, and J. M. Kahn, "Fading correlation and its effect on the capacity of multielement antenna systems," IEEE Trans. Commun., vol. 48, no. 3, pp. 502–513, Mar. 2000.

[3] H. Shin and J. H. Lee, "Capacity of multiple-antenna fading channels: Spatial fading correlation, double scattering, and keyhole," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 49, no. 10, pp. 2636–2647, Oct. 2003.

[4] M. Chiani, M. Z. Win, and A. Zanella, "On the capacity of spatially correlated MIMO Rayleigh-fading channels," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 49, no. 10, pp. 2363–2371, Oct. 2003.

[5] M. R. McKay and I. B. Collings, "General capacity bounds for spatially correlated rician MIMO channels," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 51, no. 9, pp. 3121–3145, Sep. 2005.

[6] *Microstrip Patch Antennas*, K. F. Fong Lee and K. M. Luk, Imperial College Press, 2011.

[7] R. Garg, *Microstrip Antenna Design Handbook*, London: ArtechHouse, Inc. 2., 2001.

[8] D. M. Pozar and D. H. Schaubert, Editors *Microstrip Antennas: The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays*, Wiley/IEEE Press, 1995.

[9] S. H. W. K. M. L. a. K. F. L. W. C. Mok, «Single-Layer Single-Patch Dual-Band and Triple-Band Patch Antennas.

[10] K. M. Luk, C. L. Mak, Y. L. Chow, and K. F. Lee, "broadband microstrip patch antenna," Electron Lett., vol. 34, no. 15, pp. 1442–1443, Jul. 1998.

[11] Y. X. Guo, C. L. Mak, K. M. Luk, and K. F. Lee, "Analysis and design of L-probe proximity fed-patch antennas," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 49, no. 2, pp. 145–149, Feb. 2001.

[12] H.-W. Lai and K.-M. Luk, "Design and study of wideband patch antenna fed by meandering probe," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 54, no. 2, pp. 564–571, Feb. 2006.

[13] H.-W. Lai and K.-M. Luk, "Wideband stacked patch antenna fed by meandering probe," Electron. Lett., vol. 41, no. 6, pp. 297–298, Mar. 2005.

[14] C. L. Mak, K. F. Lee, and K.-M. Luk, "Broadband patch antenna with a T-shaped probe," IEE Proc.-Microw., Antennas Propag., vol. 147, no. 2, pp. 73–76, Apr. 2000.

[15] B. L. Ooi, C. L. Lee, P. S. Kooi, and S. T. Chew, "A novel F-probe fed broadband patch antenna," in Proc. IEEE Trans. Antennas Propag. Soc. Int. Symp., Jul. 2001, pp. 474–477.

[16] 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, 2019, Volume: 18, pp. 722 – 726.

[17] Boon-Kok T., Stafford W., Ghassan Y., "A Compact Microstrip-Fed Planar Dual-Dipole Antenna for Broadband Applications", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2016, Volume:15, pp. 596 – 599.

[18] Ya-Qing W., Bing-Zhong W., Xiao D., "Planar Microstrip Endfire Antenna with Multiport Feeding", IEEE

Antennas and Wireless Propagation Letters, 2016, Voume:
15, pp. 556-559.