

Variación de Parámetros de Antena Parche mediante el Agregado de Material dieléctrico

Variation of Patch Antenna Parameters by Adding Dielectric Material

Brian Maximiliano Gluzman^{#1}, Benigno Rodríguez^{*2}, Ramiro Avalos Ribas^{#3}, Juan Alberto Etcheverry^{#4}, Alejandro José Uriz^{#5}

[#] ICYTE, Laboratorio de Comunicaciones, Depto. De Electrónica y Computación, Facultad de Ingeniería - UNMDP
 Mar del Plata, 7600, Argentina

¹ briangluzman@mdp.edu.ar

³ avalosribas@fi.mdp.edu.ar

⁴ jaetcheverry@patora.fi.mdp.edu.ar

⁵ ajuriz@fi.mdp.edu.ar

^{*} Departamento de Telecomunicaciones, IIE-Fing-Udelar, Julio Herrera y Reissig 565, Montevideo, 11300, Uruguay

² benigno@fing.edu.uy

Recibido: 11/02/25; Aceptado: 30/04/25

Resumen— Se propone analizar las variaciones de los parámetros de una antena tipo parche a la cual se le agrega un material dieléctrico en distintas formas. La principal novedad es encontrar bandas de trabajo a frecuencias menores a las de la antena sin material adicional manteniendo, e incluso mejorando, la ganancia. Esto permite desarrollar antenas de menor tamaño que el que correspondería si no se agregara un material con constante dieléctrica alta. Poder desarrollar antenas de buen desempeño y dimensiones reducidas, siempre es de interés. Las simulaciones de parámetros S y del patrón de radiación son realizadas mediante un simulador de sistemas electromagnéticos. Como resultado se han encontrado casos donde se observa una disminución en la frecuencia de resonancia y un aumento en la ganancia con respecto a la antena sin material adicional. Por otro lado, se encontraron resonancias a frecuencias considerablemente menores, pero con pérdidas mayores.

Palabras clave: Antena de parches, simulación electromagnética, parámetros S, patrón de radiación, glicerina.

Abstract— It is proposed to analyze the variations of the parameters of a patch-type antenna to which a dielectric material is added in different ways. The main novelty is finding working bands at frequencies lower than those of the antenna without additional material, maintaining, and even improving, the gain. This allows the development of smaller antennas than would be the case if a material with a high dielectric constant were not added. Being able to develop antennas with good performance and small dimensions is always of interest. The simulations of S parameters and the radiation pattern are carried out using an electromagnetic systems simulator. As a result, cases have been found where a decrease in the resonance frequency and an increase in the gain is observed with respect to the antenna without glycerin. On the other hand, resonances were found at considerably lower frequencies, but with greater losses.

Keywords: Patch antenna, electromagnetic simulation, S parameters, radiation pattern, glycerin.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones actuales, como los basados en las Radios Definidas por Software (SDR por sus siglas en inglés), permiten modificar parámetros de la comunicación como: la frecuencia, la modulación, la ganancia, el ancho de banda [1] [2]. Un cambio en estos parámetros puede requerir un cambio en los requisitos de la antena. Embeber una antena en un dieléctrico permite modificar sus características [3-5]. Un dieléctrico de alta permitividad eléctrica, a su vez, permite reducir la frecuencia de resonancia. Por ejemplo, en [5-7] proponen el uso de agua destilada con un ϵ_r de 80 para mejorar las prestaciones de una antena y principalmente disminuir su frecuencia de resonancia, para lograr diseños más compactos.

Este trabajo propone estudiar el comportamiento de las características de una antena, a la cual se le agrega un material dieléctrico, en distintas formas. Uno de los objetivos es encontrar resonancias a frecuencias menores a las de diseño, manteniendo o mejorando la ganancia. Para ello se utiliza una antena parche como referencia y un material con constante dieléctrica alta.

Los criterios para utilizar el material dieléctrico se concentran en tres diseños. El primero consiste en embeber la antena por completo en el material adicional, el segundo reduce el área del nuevo material a las dimensiones de la placa cubriendo solo la cara del parche, por último, el tercer diseño concentra el material sobre la parte del parche de la antena. Para comparar los diseños planteados y la antena sin material extra se simulan los parámetros S y los patrones de radiación con un software dedicado para sistemas electromagnéticos. En el simulador, y en el resto del trabajo, se utiliza la glicerina como material por presentar una constante dieléctrica alta y por ser un material fácil de conseguir y manipular, además de proponer una opción alternativa al agua destilada. Sin embargo, la glicerina real presenta variaciones en sus propiedades al modificarse su

concentración y/o la frecuencia, por lo tanto, para los fines de este trabajo se adopta un valor de ϵ_r de 50, lo cual es equivalente a glicerina al 90% a una frecuencia de 100 MHz [6][8].

El trabajo se organiza de la siguiente manera: La Sección 2 presenta el diseño de la antena sin glicerina y describe la propuesta de uso de la glicerina. La Sección 3 presenta las simulaciones y su análisis. Finalmente, la Sección 4 presenta las conclusiones.

II. METODOLOGÍA

A. Antena de referencia

La antena de referencia utilizada se basa en una antena de parche diseñada para la frecuencia de 1.725 GHz y con el agregado de ranuras que permiten una mejor adaptación de impedancias, la cual se ajustó a 50Ω [9] [10].

La Fig. 1 y la Tabla 1 presentan las dimensiones de la antena. El ancho W y el largo L del parche se calcularon teniendo en cuenta las ecuaciones de diseño en la frecuencia de 1.725 GHz [10]. El ancho W_f y el largo L_f de la línea de alimentación fueron calculados para la frecuencia de diseño y 50Ω de impedancia [11] [12]. El ancho W_{ran} y el largo L_{ran} de las ranuras fueron obtenidos y optimizados mediante simulación.

Se utilizó FR4 como sustrato con espesor h y constante dieléctrica 4.3. Además, se consideró el espesor t del material conductor. Las dimensiones finales de la placa son de ancho $2*W$ y de largo $1.5*L+L_f-L_{ran}$.

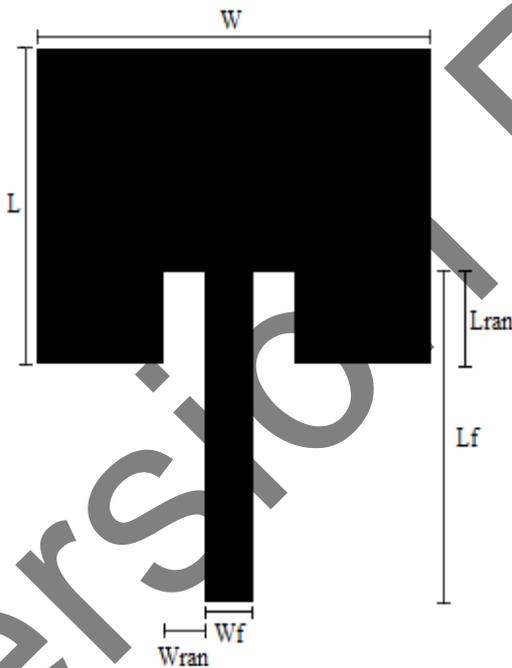


Fig. 1. Dimensiones de la antena.

Tabla 1. Dimensiones de la antena.

Parámetro	Valor
W (mm)	52.800
L (mm)	40.800
Lf (mm)	24.182
Lran (mm)	5.785

W_f (mm)	2.898
W_{ran} (mm)	2.892
h (mm)	1.524
t (mm)	0.010

B. Diseños propuestos

Se proponen tres formas de agregarle glicerina a la antena. El criterio utilizado consiste en cubrir totalmente la antena con glicerina, para luego ir reduciendo la superficie hasta cubrir solo el parche. Con esta propuesta también se pretende ver si existe alguna relación entre el área de glicerina utilizada y la reducción en la frecuencia de resonancia. Para comprobarlo se simularán los parámetros S_{11} y los patrones de radiación de la antena de referencia y de los diseños que se proponen a continuación:

1) *Antena inmersa en glicerina*: Este primer caso consiste en cubrir totalmente la antena con glicerina, el mismo se puede apreciar en la Fig. 2 a. Buscando el mayor efecto del agregado de la glicerina, se espera encontrar una disminución significativa en las frecuencias de resonancias. Las dimensiones de la glicerina en cada caso son: ancho 111.200 mm, largo 159.194 mm, y la altura total será variable en las simulaciones y corresponderá al valor de la expresión " $2*\text{espesor} + t + h$ ", la variable "espesor (mm)" corresponde a la altura de la glicerina desde el parche hacia el frente.

2) *Antena con glicerina en la cara del parche*: Buscando reducir el área con respecto al caso anterior, el largo y ancho del agregado de la glicerina se limitan a las dimensiones de placa y a cubrir solo el lado frontal de la antena, como se puede ver en el centro de la Fig. 2 b. La altura será variable y corresponde al valor de "espesor". Se espera encontrar un efecto similar con frecuencias de resonancias levemente mayores al primer diseño.

3) *Antena con glicerina sobre el parche*: Siguiendo con la lógica de los casos anteriores, se limitó a colocar glicerina sobre el parche, como se puede observar en la Fig. 2 c. Las dimensiones son el largo y ancho del parche con altura "espesor (mm)". Se espera encontrar una disminución en la frecuencia de resonancia, pero no tan significativo como los casos previos.

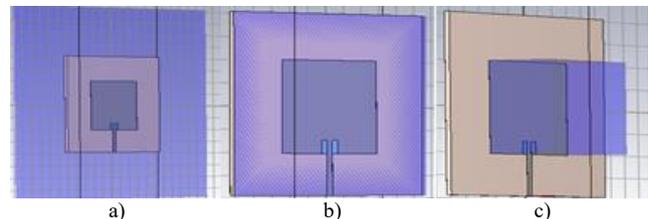


Fig. 2. a) Antena inmersa en glicerina, b) Antena con glicerina en la cara del parche, c) Antena con glicerina sobre el parche.

III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Simulación de Parámetros S_{11}

En las Fig. 3, 4, 5 y 6 se presentan las simulaciones del parámetro S_{11} de la antena sin glicerina y de los tres diseños propuestos para distintos espesores de glicerina.

Como se mencionó en la sección previa, la única variable es el espesor del bloque de glicerina, por lo tanto, para poder comparar las distintas alternativas, se propuso simular cuatro valores. El primer valor busca introducir una capa fina de glicerina, por eso se propuso igualar la altura al espesor del sustrato FR4 con 1.524 mm, para luego ir aumentando el espesor a 5 mm, 10 mm, hasta llegar a los 20 mm.

La Fig. 3, 4, 5 y 6 en color rojo muestra los parámetros S de la antena de referencia, la cual presenta dos resonancias de interés en 1.725 GHz y 2.672 GHz con una amplitud menor a los -20 dB y menor a los -17 dB, respectivamente. La simulación nos muestra distintos comportamientos, los que varían con el diseño y con el espesor de la glicerina.

En primer lugar, como se puede observar en las Fig. 5 y 6, la mayor reducción en la frecuencia de resonancia se da para los casos de espesor 10 mm y 20 mm en los diseños que cubren toda la placa. Llegando a frecuencias del orden de los 375 MHz, y una resonancia con ancho de banda amplio centrada en los 500 MHz, para el caso de la antena con glicerina en la cara del parche. Estos casos también presentan múltiples resonancias en otras frecuencias.

En segundo lugar, el caso de glicerina sobre el parche

presenta, para los cuatro casos de espesor planteados, una mejora en la adaptación de impedancias y una leve reducción en la frecuencia, la cual podría ser de utilidad para aplicaciones donde se requiera realizar un ajuste fino en la resonancia de una antena, ya sea en frecuencia y/o en magnitud.

Un caso intermedio en la reducción de la frecuencia de resonancia se da para los diseños que cubren toda la placa con un espesor de 1.524 mm, los cuales muestran una resonancia menor a los -10 dB en la frecuencia de 1.401 GHz. Para los mismos diseños, pero, con espesor de glicerina a 5 mm no muestran signos de resonancias a frecuencias menores a 1.725 GHz. Sin embargo, presenta resonancias a partir de 2.200 GHz.

Es interesante notar la gran variación, tanto en amplitud como en frecuencia, que provoca colocar una capa fina de glicerina sobre una antena. Por un lado, se puede lograr reducciones, incluso significativas, en las frecuencias de resonancias, y por el otro, puede ocurrir que las resonancias suban en frecuencia.

B. Simulación de Patrón de Radiación

La simulación de parámetros S nos muestra las zonas de

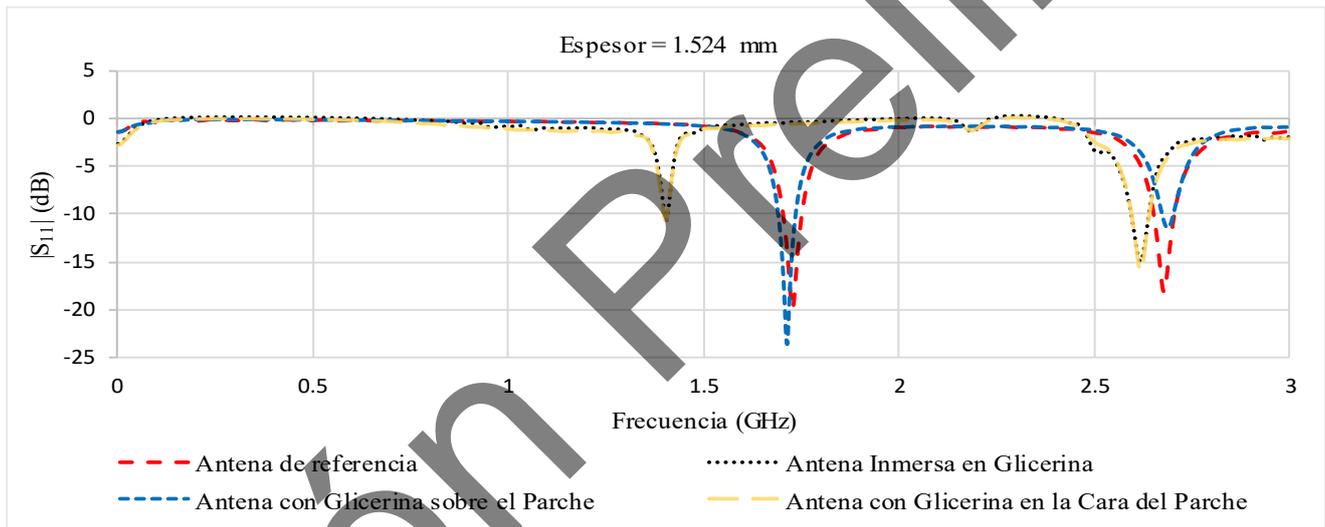


Fig. 3. Parámetros S_{11} para espesor de 1.524 mm.

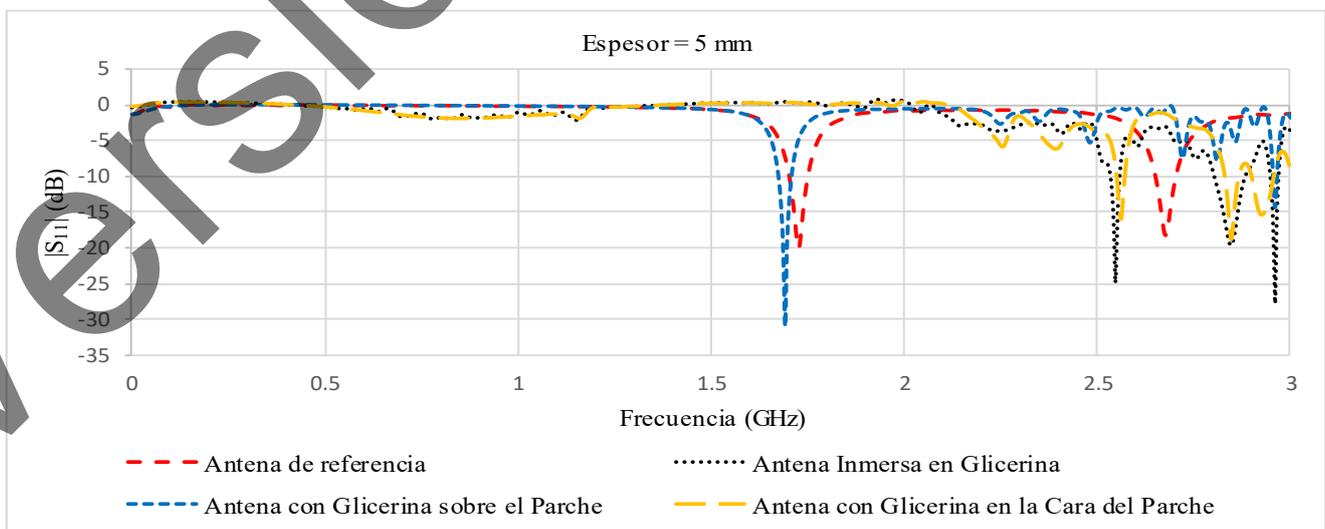


Fig. 4. Parámetros S_{11} para espesor de 5 mm.

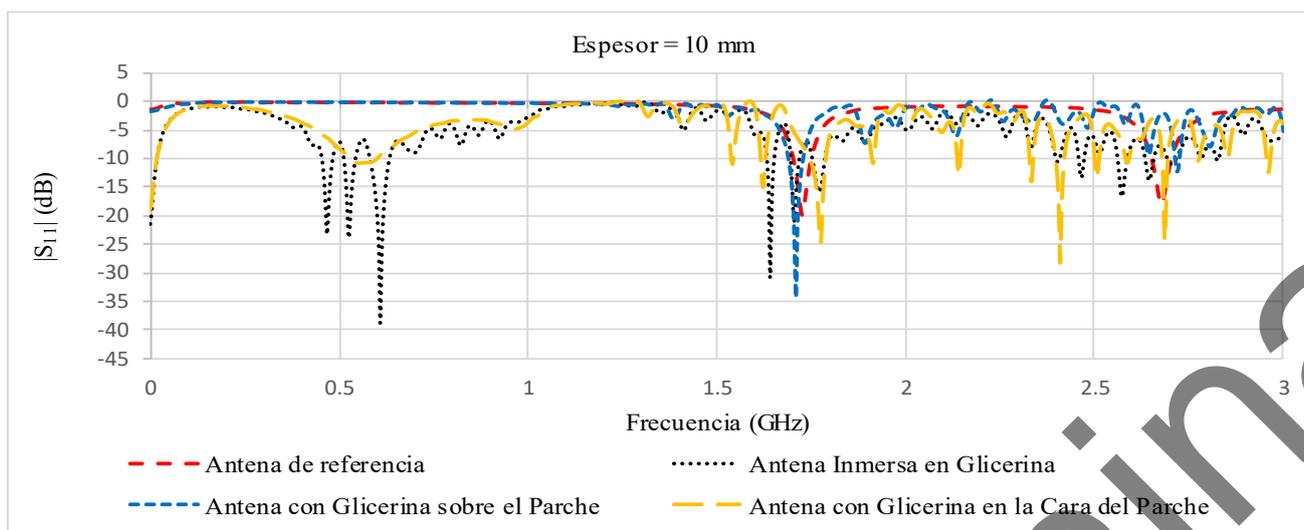


Fig. 5. Parámetros S_{11} para espesor de 10 mm.

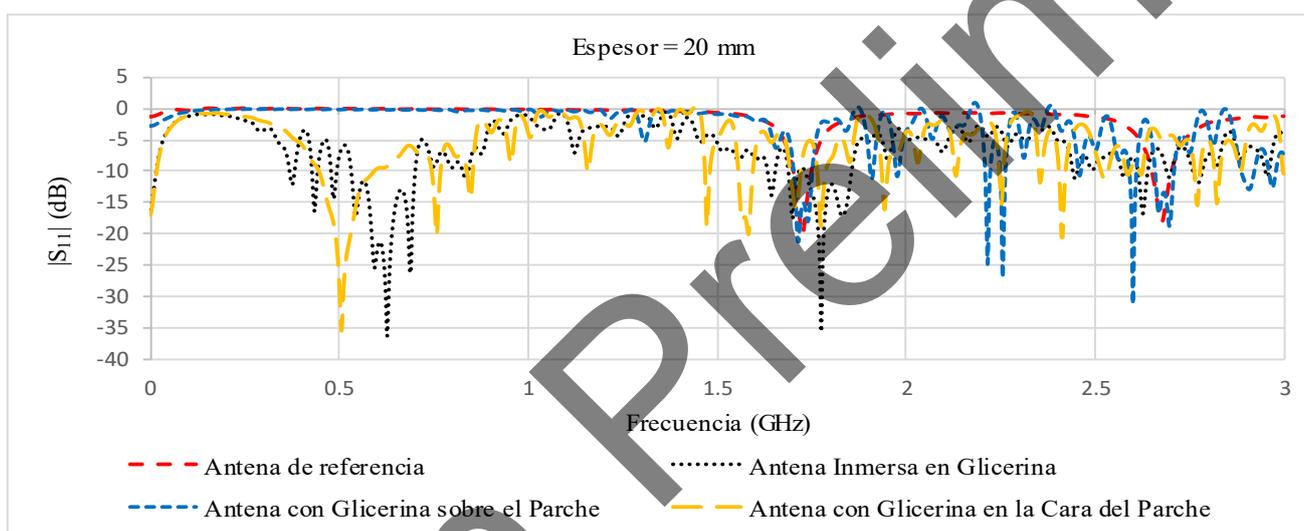


Fig. 6. Parámetros S_{11} para espesor de 20 mm.

interés, donde la antena tiene una buena adaptación de impedancias. Sin embargo, no nos da información sobre la directividad ni la eficiencia de radiación. Al agregarle glicerina a la antena es lógico pensar que su patrón de radiación sea modificado, a su vez, al reducir la frecuencia de resonancia las dimensiones de la antena quedan significativamente más chicas que la longitud de onda.

La Fig. 7 muestra el patrón de radiación de la antena de referencia a la frecuencia de 1.725 GHz, la cual tiene una Directividad de 6.952 dBi con una Eficiencia de Radiación de -5.023 dB, siendo la diferencia de 1.929 dBi, lo que representa su Ganancia. El lóbulo principal presenta una dirección hacia el frente de la placa.

Para analizar los patrones de radiación de los diseños propuestos se clasificaron cuatro casos de interés:

1. Menor frecuencia de resonancia:

Con el fin de maximizar la reducción de frecuencia de resonancia se analiza la variación del patrón de radiación para los casos de resonancia en el orden de los 500 MHz presentados en los parámetros S_{11} de las Fig. 5 y 6.

Los resultados de las simulaciones de los patrones de radiación se pueden ver en la Tabla 2.

Para la antena inmersa en glicerina con un espesor de 10 mm la resonancia en frecuencia más baja se presenta en 525 MHz con una Directividad de 6.932 dBi. Para un espesor de 20 mm la resonancia baja a una frecuencia de 375 MHz con una Directividad de 12.990 dBi. Ambos casos presentan Eficiencias Totales menores a los -23 dB, por lo que gran parte de la energía no llega a ser radiada, lo cual provoca pérdidas en la Ecuación de Friss, mayores a los 16 dBi.

Sin embargo, las dimensiones de la antena se podrían reducir hasta 4.5 veces. Por otro lado, los patrones de radiación presentan múltiples lóbulos que tiende hacia los costados del parche.

Para la antena con glicerina en la cara del parche con un espesor de 10 mm la resonancia en frecuencia más baja se presenta en 560 MHz con una Directividad de 1.654 dBi. Para un espesor de 20 mm la resonancia ocurre en 507 MHz con una Directividad de 2.493 dBi. Al igual que el caso de la antena inmersa en glicerina las Eficiencias Totales son menores a los -23 dB y las pérdidas son mayores a los 20 dBi. En estos casos los patrones de radiación tienden a

los de una antena isotrópica, con forma ovalada y una mayor radiación hacia los costados.

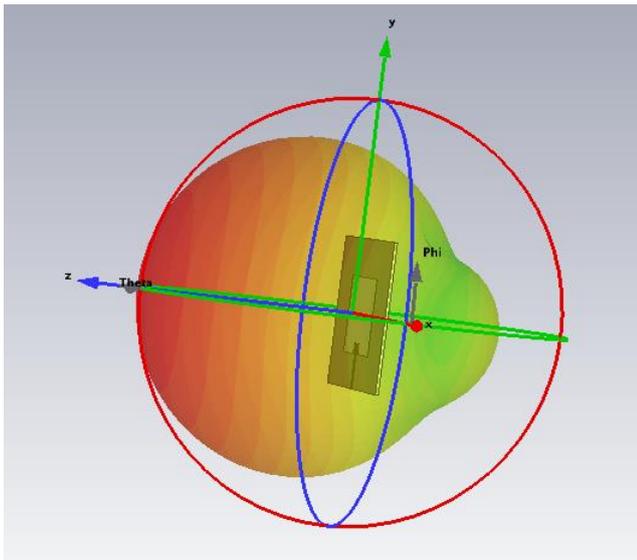


Fig. 7. Patrón de radiación de antena de referencia.

2. Ajuste fino y mejora de adaptación

Por lo visto en los parámetros S de las Fig. 3, 4, 5 y 6 el agregado de glicerina en el lugar y proporción adecuado permitiría ajustar la frecuencia de resonancia e incluso mejorar la adaptación de impedancias.

La Tabla 2 presenta los resultados de las simulaciones de los patrones de radiación de la antena cubierta con glicerina sobre el parche.

Para un espesor de glicerina de 1.524 mm la resonancia aparece en 1.713 GHz, en esa frecuencia la Directividad es de 7.040 dBi y la Eficiencia Total es de -5.201 dB. Para espesor de 5 mm la resonancia baja a los 1.692 GHz, la Directividad es de 7.304 dBi y la Eficiencia total es de -6.715 dB. Con un espesor de 10 mm la resonancia vuelve a subir en este caso a 1.710 GHz con una mejora en la ganancia, don-de la Directividad es de 7.248 dBi y la Eficiencia Total es de -2.884 dB. Por último, para un espesor de glicerina de 20 mm la frecuencia de resonancia se reduce a 1.656 GHz, al igual que Directividad con 5.429 dBi y la Eficiencia Total con -3.560 dB.

En todos los casos las antenas presentan ganancias y adaptaciones de impedancias aceptables en sus nuevas bandas de resonancia y los patrones de radiación mantienen la Directividad hacia el frente de la placa como la antena de referencia. En particular, el caso de espesor de 10 mm logra mejorar la ganancia de la antena con 4.366 dBi.

3. Mínima frecuencia de resonancia con ganancia positiva

Los parámetros S mostraban múltiples resonancias, algunas a frecuencias muy bajas, pero con pérdidas significativas y otras cercanas a la frecuencia de diseño, con una mejora en la adaptación. En este caso, se busca una reducción en la frecuencia de resonancia con, al menos, una ganancia de 1 dBi.

Tabla 2. Resultados de simulaciones de patrones de radiación.

Clasificación	Diseño	Espesor (mm)	Frecuencia (GHz)	Directividad (dBi)	Eficiencia de Radiación (dB)	Eficiencia Total (dB)	Ganancia (dBi)
Menor frecuencia de resonancia	Antena inmersa en glicerina	10	0.525	6.932	-22.960	-23.780	-16.028
		20	0.375	12.990	-33	-33.400	-20.010
	Antena con glicerina en la cara del parche	10	0.560	1.654	-26.020	-28.010	-24.366
		20	0.507	2.293	-22.360	-23.080	-20.067
Ajuste fino y mejora de adaptación	Antena con glicerina sobre el parche	1.524	1.713	7.040	-5.182	-5.201	1.858
		5	1.692	7.304	-6.711	-6.715	0.593
		10	1.710	7.248	-2.882	-2.884	4.366
		20	1.656	5.429	-2.379	-3.560	3.050
Mínima frecuencia de resonancia con ganancia positiva	Antena con glicerina en la cara del parche	1.524	1.401	6.387	-4.882	-5.219	1.505
	Antena inmersa en glicerina	1.524	1.401	8.597	-4.680	-4.961	3.917
Mínima frecuencia de resonancia con pérdidas menores a 1 dBi	Antena inmersa en glicerina	20	1.644	7.262	-7.314	-7.608	-0.052
		20	1.700	8.238	-8.883	-9.302	-0.645
	Antena con glicerina en la cara del parche	10	1.542	5.460	-6.219	-6.539	-0.759
		20	1.623	4.545	-4.894	-5.404	-0.349
		20	1.710	5.907	-6.497	-7.805	-0.590

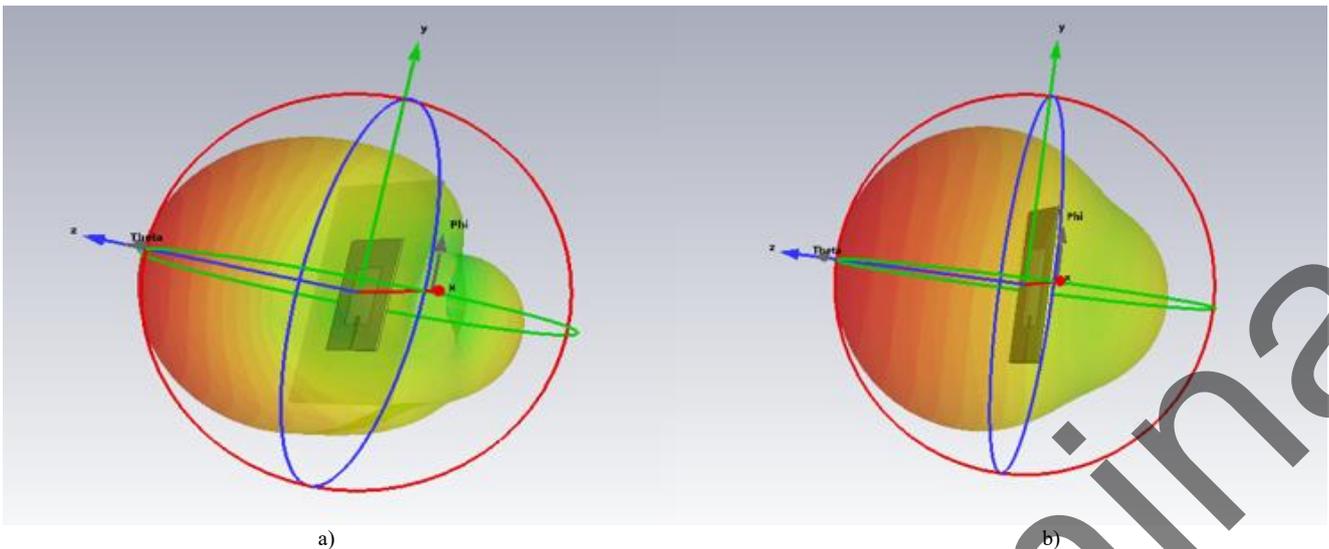


Fig. 8. Patrón de radiación: a) Antena inmersa en glicerina, b) Antena con glicerina en cara frontal.

Los resultados de las simulaciones de los patrones de radiación se pueden ver en la Tabla 2.

La Fig. 8 muestra dos patrones de radiación donde la glicerina cubre toda la placa con espesor de 1.524 mm y en ambos casos la resonancia se presenta en la frecuencia de 1.401 GHz. El diseño de la antena inmersa en glicerina (Fig. 8 a) presenta 8.596 dBi de Directividad con una Eficiencia Total de -4.961 dB y la antena con glicerina en la cara frontal (Fig. 8 b) tiene una Directividad de 6.387 dBi con una Eficiencia Total de -5.219 dB. En ambos casos las antenas aportan una ganancia superior a 1.500 dBi, incluso se logra una ganancia de 3.917 dBi en la antena inmersa en glicerina. Los lóbulos principales mantienen la directividad hacia el frente de la placa en ambos casos.

4. Mínima de frecuencia de resonancia con pérdidas menores a 1 dBi

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las simulaciones de los patrones de radiación donde existe una reducción de frecuencia y las pérdidas son menores a 1 dBi.

Para la antena inmersa en glicerina con espesor de 20 mm se tiene dos resonancias de interés. La primera en 1.644 GHz con pérdidas de 0.052 dBi y múltiples lóbulos con el principal hacia el frente del parche. La segunda en 1.700 GHz con pérdidas de 0.645 dBi y múltiples lóbulos con el principal hacia atrás del parche.

La antena con glicerina en la cara del parche tiene tres resonancias de interés. Para un espesor de 10 mm se tiene dos resonancias, una en 1.542 GHz con pérdidas de 0.759 dBi y la otra en 1.623 GHz con pérdidas de 0.349 dBi. En ambos, los patrones de radiación presentan dos lóbulos principales hacia los costados del parche. Para un espesor de 20 mm se tiene una resonancia en 1.710 GHz con pérdidas de 0.590 dBi y múltiples lóbulos con el principal hacia el frente del parche.

IV. CONCLUSIONES

En las simulaciones de los parámetros S se pueden apreciar que los diseños propuestos logran obtener resonancias menores a la de la antena de referencia. Se

destacan dos comportamientos, el primero para los diseños que agregan el material dieléctrico a toda la placa con un espesor de, al menos, 10 mm logran la mayor reducción de la frecuencia de resonancia, y la segunda para el diseño con material adicional sobre el parche que logra una leve reducción en la frecuencia.

De los patrones de radiación, se observó que una máxima reducción de la frecuencia de resonancia resulta en una antena con una eficiencia muy baja y una reducción de frecuencia más reducida podría mejorar la ganancia en casos particulares.

De los tres diseños propuestos, la máxima reducción de frecuencia de resonancia se da para el diseño que cubre toda la placa con espesor de 20 mm y logra bajar la resonancia de 1.725 GHz a 375 MHz.

El diseño que cubre la cara del parche de la placa presentó una leve variación en la resonancia de la antena, en todos los casos analizados mejoró la adaptación y en particular con 10 mm se logró una ganancia de 4.366 dBi.

El primer diseño, con espesor de 1.524 mm, es de especial interés por presentar una reducción de la frecuencia de resonancia de 1.725 GHz a 1.401 GHz y una mejora en la ganancia de 1.929 dBi a 3.917 dBi.

Se concluye que es posible modificar y, en particular, mejorar los parámetros de una antena con el agregado de un material con una permitividad eléctrica relativa de 50. En la práctica esto permitiría ajustar la frecuencia de resonancia, mejorar la adaptación de impedancias y aumentar la ganancia de la antena. Además, el uso de este material permitiría diseñar nuevas antenas con dimensiones más compactas, lo cual sería valioso en aplicaciones donde el espacio es limitado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación del proyecto ERASMUS/NEON (Project No. 618942-EPP-1-2020-1-AT-EPPKA2-CBHE-JP) la cual les permitió comprar licencias a perpetuidad de la herramienta de simulación electromagnética Computer Simulation Technology (CST) que fue utilizada en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] T. Collins, R. Getz, P. Di, A. Wyglinski, *Software-Defined Radio for Engineers*, Artech House, 2018. [Online]. Disponible en: <https://www.analog.com/media/en/training-seminars/design-handbooks/Software-Defined-Radio-for-Engineers-2018/SDR4Engineers.pdf>
- [2] S. Romero, C. Tipantuña, J. Estrada, J. Carvajal, (2015). "Desarrollo de sistemas receptores de AM, FM y ADS-B utilizando radio definida por software, hardware y software libre". *Maskana*, vol. 6 (Supl.), pp. 147–156, 2015. Disponible en: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/708>
- [3] I. Bahl, P. Bhartia, S. Stuchly, "Design of microstrip antennas covered with a dielectric layer", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 32, no. 2, pp. 314-318, 1982, Doi: 10.1109/TAP.1982.1142766.
- [4] L. Junwei, D. Ireland, R. Schlub (2005). Dielectric Embed-ded ESPAR (DE-ESPAR) AntennaArray for Wire-less Communications. *IEEE Transactions on An-tennas and Propagation*, 53(8), 2437-2443, Doi: 10.1109/TAP.2005.852517
- [5] B. Rodríguez, L. Barboni, J. Gómez, J, et al. (2023). "Size Reduction, Multiband and Beamforming Features by Embedding Antennas in Distilled Water", *Wireless Pers Commun*, vol. 129, pp. 881–892, 2023, Doi: 10.1007/s11277-022-10161-x
- [6] Fonseca, C. M. S., Adetonah, C. M. M., Costa, L. G. S., Díaz, B. R., Schroeder, M. A. O., Ramos, G. L., & Ribeiro, M. V. (2025). "Improving Patch Antenna Performance Through Resonators: Insights into and Benefits of Dielectric and Conductive Materials and Geometric Shapes". *Electronics*, 14(8), 1521. <https://doi.org/10.3390/electronics14081521>
- [7] B. Rodríguez, L. Barboni. "Opportunities in Antenna Development by Using Distilled Water". *Progress In Electromagnetics Research*, v.: 118 p.:1 - 7, 2024, PIER Letters E-ISSN: 15598985, DOI: 10.2528/PIERL23100503
- [8] Meaney, P. M., Fox, C. J., Geimer, S. D., & Paulsen, K. D. (2017). Electrical Characterization of Glycerin: Water Mixtures: Implications for Use as a Coupling Medium in Microwave Tomography. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 65(5), 1471–1478, Doi:10.1109/tmtt.2016.2638423
- [9] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 2da ed. Wiley, 1997.
- [10] K. Carver, J. Mink, "Microstrip antenna technology", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 29, no. 1, pp. 2-24, 1981, Doi: 10.1109/TAP.1981.1142523
- [11] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Fourth Edition. John Wiley & Sons, Ltd, 2012.
- [12] B. Wadell, *Transmission Line Design Handbook*, Artech House, 1991.