

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
DISEÑO DE UNA ANTENA MODELO RESONANTE PARA BANDA DE
ONDA MILIMÉTRICA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE PARÁMETROS
DE DISPERSIÓN.**

**AUTORES:
BYRON HUMBERTO BUSTAMANTE QUIZHPILEMA
SANTIAGO VLADIMIR TATÉS JORDÁN**

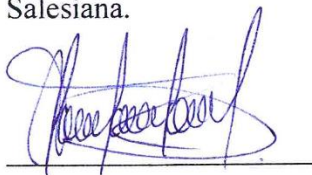
**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, enero de 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

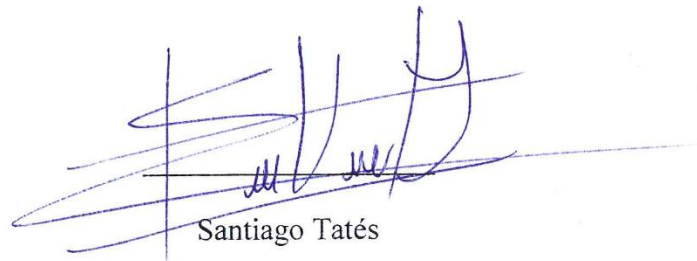
Nosotros Byron Humberto Bustamante Quizhpilema y Santiago Vladimir Tatés Jordán, con documentos de identificación N°- 0302369905 y N°- 1721772547 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: “ DISEÑO DE UNA ANTENA MODELO RESONANTE PARA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE DISPERSIÓN ”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Byron Bustamante

CI: 0302369905



Santiago Tatés

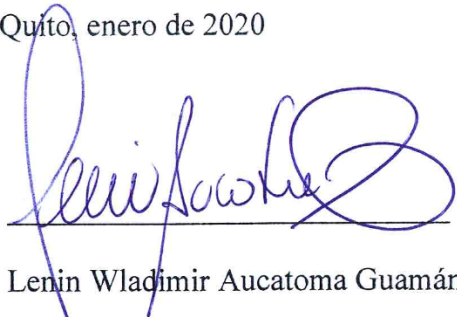
CI: 1721772547

Quito, enero de 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, "DISEÑO DE UNA ANTENA MODELO RESONANTE PARA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE DISPERSIÓN" realizado por Byron Humberto Bustamante Quizhpilema y Santiago Vladimir Tatés Jordán, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero de 2020



Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

CI: 171798583-0

Diseño de una antena modelo resonante para banda de onda milimétrica mediante el análisis de parámetros de dispersión

Aucatoma Guamán Lenin
Wladimir

Ingeniería Electrónica
Docente Universidad Politécnica
Salesiana
Quito, Ecuador
laucatoma@ups.edu.ec

Bustamante Quizhpilema Byron
Humberto

Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica
Salesiana
Quito, Ecuador
bbustamanteq@est.ups.edu.ec

Tatés Jordán Santiago
Vladimir

Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica
Salesiana
Quito, Ecuador
states@est.ups.edu.ec

Resumen— Este artículo presenta el diseño de una antena modelo resonante en la banda de onda milimétrica (mmW) a 60 GHz, formado por un dieléctrico cilíndrico de cerámica, un sustrato de FR4_EPOXY, una microstrip y una tierra (ground) de cobre. Este tipo de antenas presentan una alta eficiencia en la banda de los GHz, son de tamaño compacto y ancho de banda relativamente amplio con un alto grado de libertad de diseño. Se realizó varias pruebas en el software Ansys HFSS, donde se varió las dimensiones geométricas y los materiales con diferente permitividad relativa en las capas de la antena resonante en los cinco diseños propuestos. Se determinó que el sistema radiante opera a una frecuencia de 60.04 GHz con un parámetro S11 de -21.29 dB, un VSWR de 1.49 dB, un patrón de radiación directivo a 180° en el ángulo Phi (Φ) con ganancia de 2.35 dB y un ancho de banda de 600 MHz. Bajo estas condiciones el diseño propuesto se adapta a las necesidades particulares de esta banda de frecuencias.

Abstract— This paper present the design of a resonant antenna in the 60 GHz millimeter waveband (mmW), formed by a cylindrical ceramic dielectric, a FR4_EPOXY substrate, a microstrip and ground of cooper. This types of antennas have high efficiency in the GHz band, are compact in size and relatively broad bandwidth with a high degree of design freedom. Several tests were performed on the Ansys HFSS software, where the geometric dimensions and materials were varied with different relative permittivity of the resonant antenna layers in the five proposed designs. The radiant system was determined to operate at a frequency of 60.04 GHz with an S11 parameter of -21.29 dB, a VSWR of 1.49 dB, a directive radiation pattern at 180° at the Phi angle (Φ) with gain of 2.35 dB and a bandwidth of

600 MHz. Under these conditions, the proposed design adapts to the particular needs of this frequency band.

Keywords— *antena resonante, onda milimétrica, dieléctrico cilíndrico, parámetros de dispersión.*

I. INTRODUCCIÓN

El uso de la banda de onda milimétrica requiere que la radiofrecuencia explore antenas compuestas por nuevos elementos radiantes con mayores ganancias y tamaños reducidos [1]. El desarrollo de la quinta generación (5G) de las redes móviles se basan en el uso de la banda de onda milimétrica, que son frecuencias que están en el rango de 30 a 300 GHz [2], esta red inalámbrica alcanzará velocidades 10 veces la velocidad de las redes actuales (4G) y mejorará propiedades como magnitud, cobertura y conectividad [1][3]. Por lo tanto las investigaciones de redes 5G tienen como objetivo adaptar los parámetros del sistema radiante a frecuencias de onda milimétrica, los cuales busca obtener una mejor eficiencia y establecer que los lóbulos de radiación sean más directivos [4].

Las antenas modelo resonante tienen características de alta eficiencia en bandas de onda milimétrica, son de tamaño compacto, ancho de banda relativamente amplio y alto grado de libertad de diseño [5]. La antena resonante se deriva de la teoría de antenas tipo microstrip donde las dimensiones de la misma son equiparables a la longitud de onda [6]. Los campos de radiación de la antena resonante se producen en los bordes de la microstrip, dichos campos varían a lo largo de la longitud de la microstrip la cual es aproximadamente la mitad de la longitud de onda ($\lambda/2$) [6].

Las topologías geométricas de las antenas de resonador dieléctrico (DRA- Dielectric Resonator Antenna) son rectangulares, cilíndricas, hemisféricas, esféricas, de bucle y triangulares, estas se investigan teóricamente, sin embargo en la investigación [7] utiliza un resonador cilíndrico el cual es el diseño elegido del presente artículo. En esta investigación se diseña una antena resonante con dieléctrico cilíndrico donde se determinó los parámetros adecuados para el funcionamiento del sistema radiante en banda de onda milimétrica.

II. DISEÑO DE LA ANTENA

En la figura 1 se muestra el diseño esquemático de la antena resonante. El sistema radiante está compuesto por un resonador cilíndrico, una tierra (ground), un sustrato, (tiene como función la separación de la microstrip con la tierra), y una línea microstrip. La excitación de la antena es mediante un puerto agrupado (lumped port).

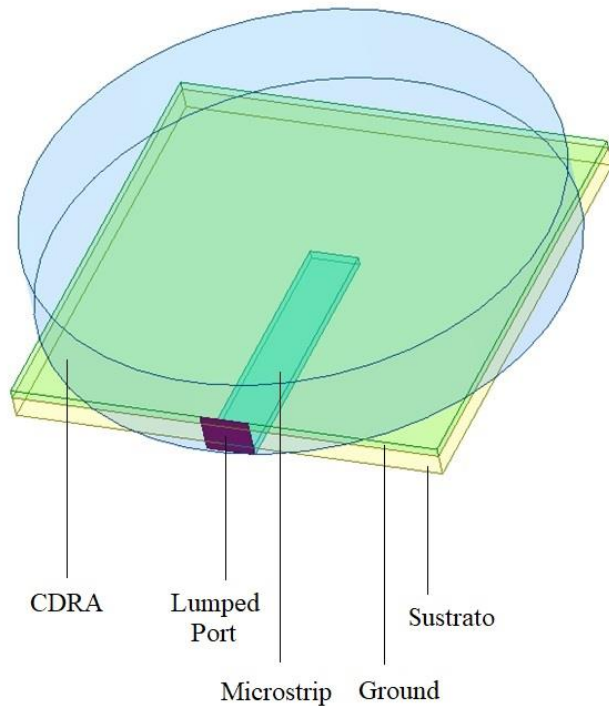


Figura 1. Antena resonante con dieléctrico cilíndrico.

Las capas de la antena resonante se muestran en la figura 2, donde el DRA es un cilindro con radio de 3 mm, una altura de 1 mm y el material utilizado para el dieléctrico es Be₂O (cerámica) que tiene una permitividad relativa (ϵ_r) de 6.8. La tierra (ground) es un paralelepípedo con una base cuadrada de 5 mm y una altura de 0.254 mm, el material es de cobre con una permitividad relativa (ϵ_r) de 0.9999 al igual que el oro. El sustrato es un componente de FR4_EPOXY (resina de vidrio) que tiene una permitividad relativa (ϵ_r) de 4.4 [8], su base es un cuadrado de 5 mm y tiene una altura de 0.1 mm. La línea microstrip es de cobre y tiene una base rectangular de 3.08 mm de largo y de 0.565 mm de ancho con una altura de 0.1 mm.

La antena resonante tiene una excitación de un puerto agrupado a una frecuencia de 60 GHz, este puerto es una superficie rectangular de 0.454 mm de altura y un ancho de 0.565 mm, el mismo que conecta la microstrip, el sustrato y el ground.

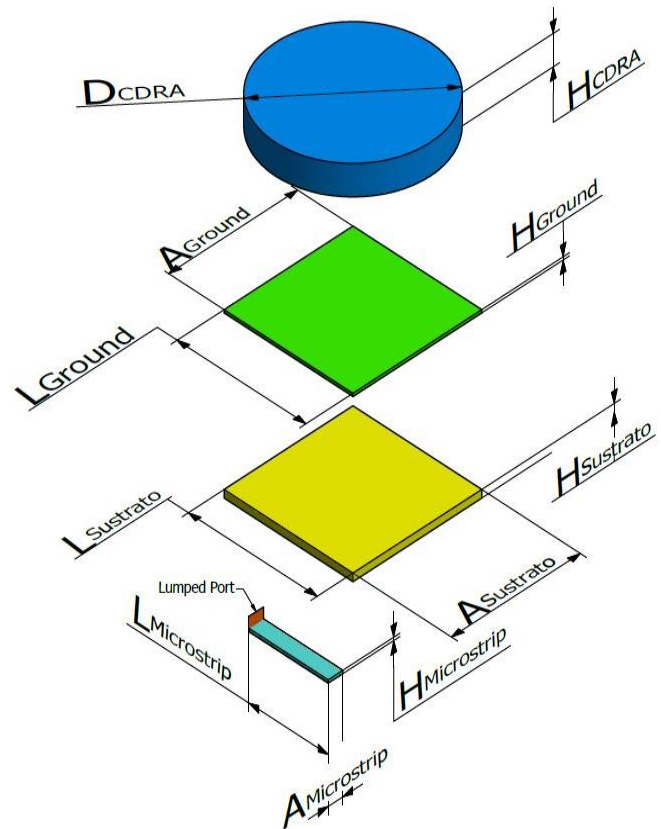


Figura 2. Capas del diseño de la antena resonante con dieléctrico cilíndrico.

La tabla 1 establece las denominaciones de las longitudes de cada capa con sus respectivas medidas del diseño 5 de la antena resonante.

Tabla 1. Dimensiones del diseño 5 de la antena resonante.

Descripción	Nombre	Medida [mm]
	Largo del lumped port	0.454
	Ancho del lumped port	0.565
Lmicrostrip	Largo de la microstrip	3.08
Amicrostrip	Ancho de la microstrip	0.565
Hmicrostrip	Altura de la microstrip	0.1
Lsustrato	Largo del sustrato	5
Asustrato	Ancho del sustrato	5
Hsustrato	Altura del sustrato	0.254
Lground	Largo del ground	5
Aground	Ancho del ground	5
Hground	Altura del ground	0.1
D _{CDRA}	Diámetro del DRA	6
H _{CDRA}	Altura del DRA	1

III. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

Se realizaron varias pruebas con el objetivo de afinar la antena resonante a los 60 GHz, de estas múltiples pruebas se tomaron 5 diseños como indica la tabla 2. Los cuales mostraron mejores resultados en el parámetro S11 tomando como referencia valores inferiores a -20 dB. Considerando una pérdida de energía del 1%. La relación de onda estacionaria (VSWR- Voltage Standing Wave Ratio) se encuentra en el rango de 1 a 1.6 dB y un patrón de radiación sobre los -3 dB.

Tabla 2. Medidas de los diseños.

Diseño 1				
Capa	Largo / Radio [mm]	Ancho [mm]	Alto [mm]	Material
Microstrip	3.1	0.565	0.1	Oro
Sustrato	4.22	4.22	0.254	FR4_epoxy
Ground	4.22	4.22	0.1	Cobre
CDRA	3.5		1.3	Be_O
Diseño 2				
Microstrip	3.1	0.565	0.1	Cobre
Sustrato	3.7	3.7	0.254	FR4_epoxy
Ground	3.7	3.7	0.1	Cobre
CDRA	2.4		1	Be_O
Diseño 3				
Microstrip	3.03	0.565	0.1	Oro
Sustrato	4.8	4.8	0.254	FR4_epoxy
Ground	4.8	4.8	0.1	Cobre
CDRA	3		1	Be_O
Diseño 4				
Microstrip	3.08	0.565	0.1	Cobre
Sustrato	5	5	0.254	FR4_epoxy
Ground	5	5	0.1	Cobre
CDRA	2.5		1	Be_O
Diseño 5				
Microstrip	3.08	0.565	0.1	Cobre
Sustrato	5	5	0.254	FR4_epoxy
Ground	5	5	0.1	Cobre
CDRA	3		1	Be_O

La tabla 3 indica las permitividades relativas de cada uno de los materiales utilizados en los diferentes diseños de la antena resonante.

Tabla 3. Permitividad relativa.

Permitividad Relativa de los materiales	
Material	Permitividad (ϵ_r)
Oro	0.9999
Cobre	0.9999
FR4_epoxy	4.4
RogersRO4550	3.66
Be_O cerámica	6.8

A. Coeficiente de reflexión de la antena (S1,1)

La figura 3 presenta los coeficientes de reflexión de los diseños elegidos, simulados a 60 GHz con una banda de análisis entre los 50 a 70 GHz.

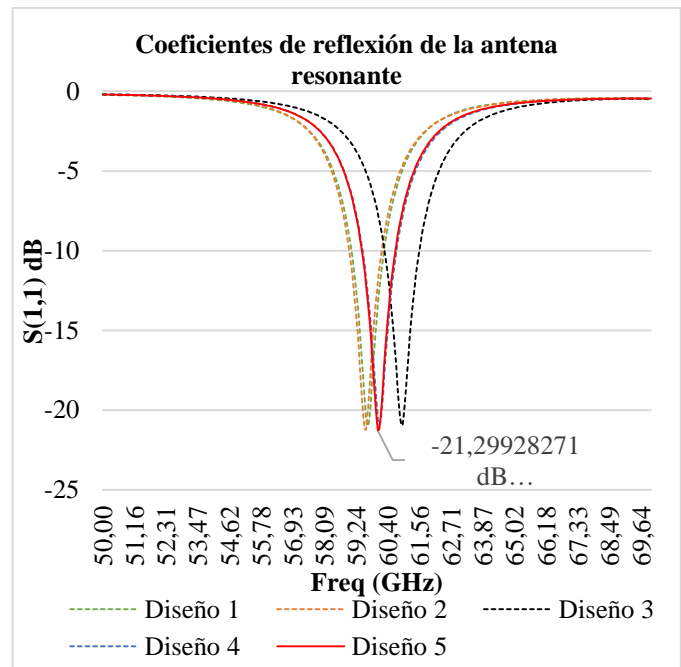


Figura 3. Pérdidas de reflexión para cada diseño.

En la tabla 4 se observa que el rango del coeficiente de reflexión está por debajo de los -20 dB, que es el objetivo de la investigación y la frecuencia varía entre 59.60 y 60.89 GHz.

Tabla 4. Valores del coeficiente de reflexión.

	Freq (GHz)	S1,1 (dB)
Diseño 1	59.64	-20.987
Diseño 2	59.60	-21.227
Diseño 3	60.89	-20.946
Diseño 4	60.09	-20.932
Diseño 5	60.04	-21.299

En la tabla 5 se muestran los valores del ancho de banda, los mismos son tomados a -15 dB de los coeficientes de reflexión de la figura 3, ya que en este valor la relación de energía reflejada y energía transmitida es de 3/100.

Tabla 5. Valores del ancho de banda.

	BW (MHz)
Diseño 1	590
Diseño 2	580
Diseño 3	620
Diseño 4	600
Diseño 5	600

En la figura 4 se observa que el ancho de banda del diseño 5 es tomado a -15 dB con un BW de 600 MHz.

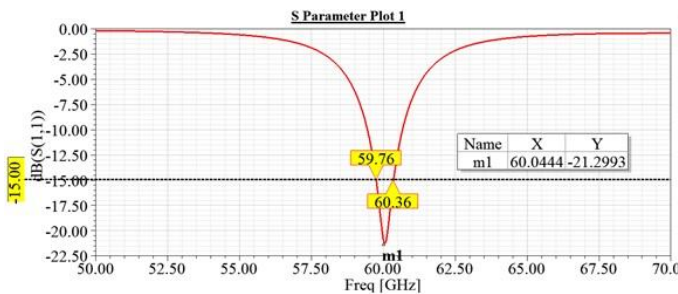


Figura 4. Ancho de banda del diseño 5.

B. Relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR)

En la figura 5 se observa los valores del VSWR obtenidos de cada diseño.

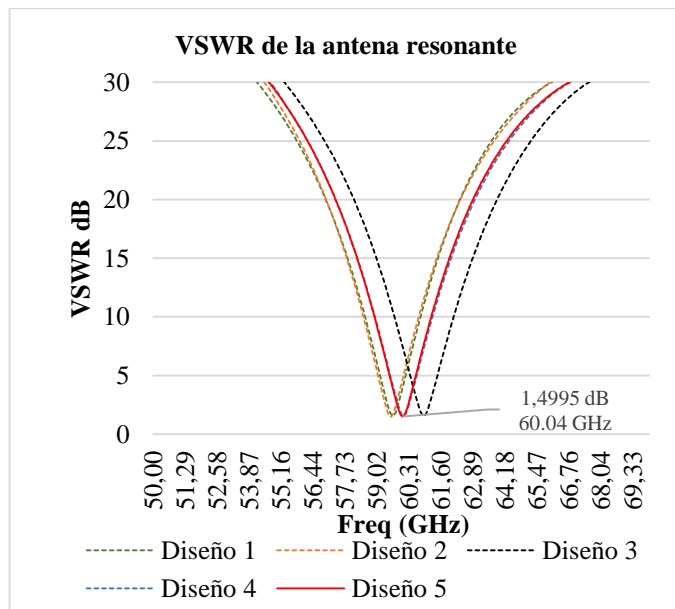


Figura 5. VSWR de cada diseño de la antena resonante.

En la tabla 6 se muestran que los valores obtenidos del VSWR van desde 1.4995 dB hasta 1.5645 dB, que están dentro del objetivo del estudio.

Tabla 6. Valores de VSWR de cada diseño.

	Freq (GHz)	VSWR (dB)
Diseño 1	59.6444	1.5547
Diseño 2	59.6000	1.5120
Diseño 3	60.8889	1.5620
Diseño 4	60.0889	1.5645
Diseño 5	60.0444	1.4995

C. Patrón de radiación

En la figura 6 se observan los lóbulos de radiación en un corte vertical a 90° en el ángulo Phi (Φ) de cada diseño realizado, los cuales están sobre los -3 dB.

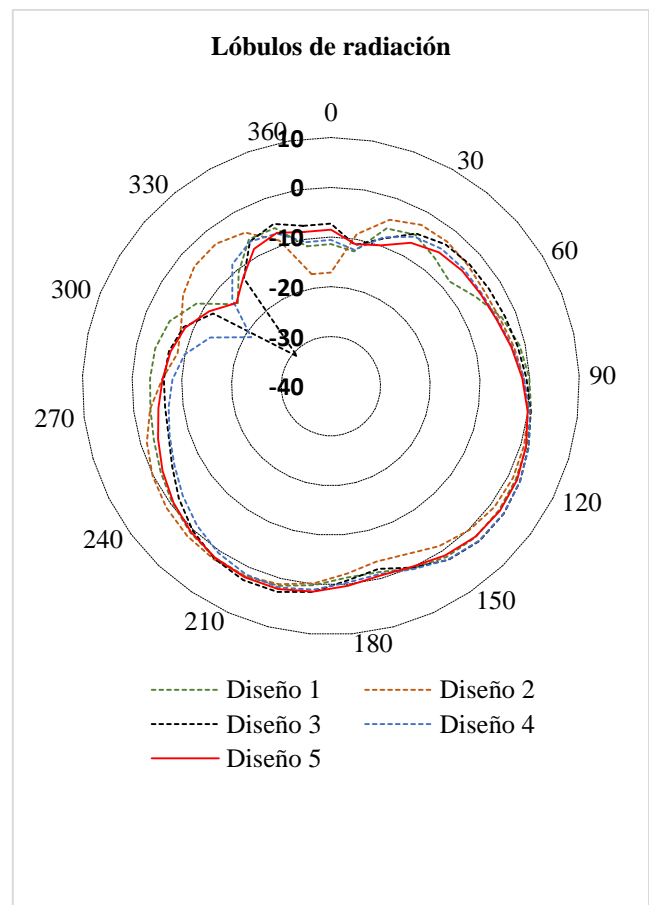


Figura 6. Lóbulos de radiación de cada diseño de la antena resonante.

En la figura 7 se muestra los patrones de radiación 3D de cada diseño con una frecuencia de excitación de 60 GHz, en todas las simulaciones los lóbulos principales están a 180°.

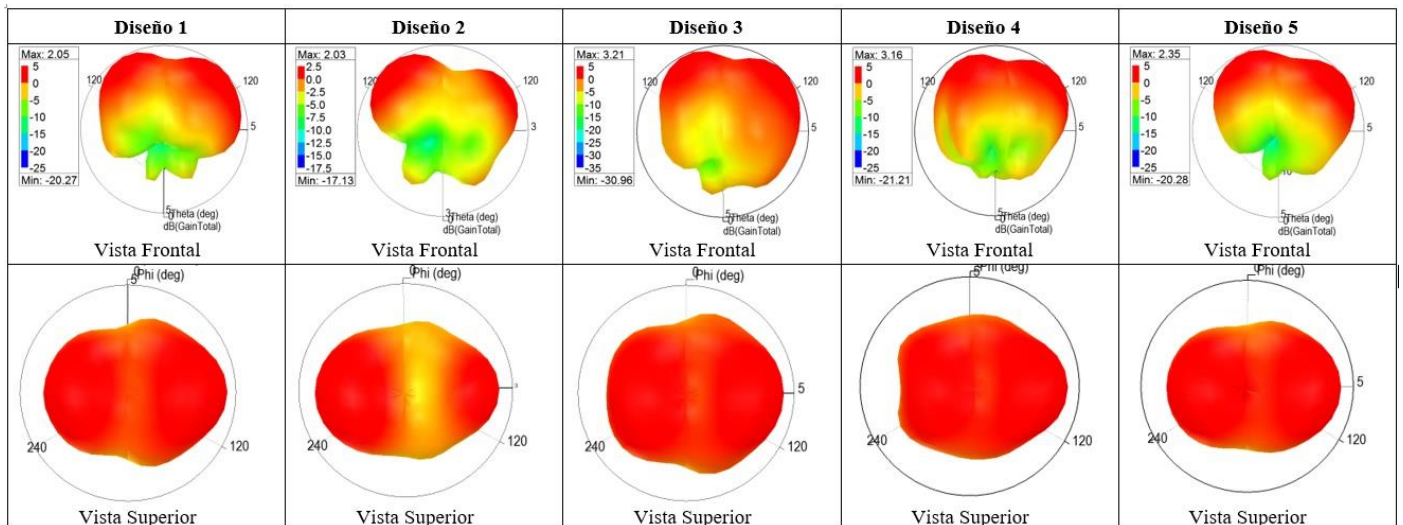


Figura 7. Patrón de radiación simulado en HFSS en 3D.

En la tabla 7 se muestran los valores máximos de ganancia de la antena resonante de cada patrón de radiación de cada diseño como indica la figura 7.

Tabla 7. Ganancia de la antena resonante.

	Ganancia max [dB]
Diseño 1	2.05
Diseño 2	2.03
Diseño 3	3.21
Diseño 4	3.16
Diseño 5	2.35

D. Mecanismo de operación del CDRA

En la figura 8 se muestra el campo vectorial eléctrico (E) en el interior del resonador dieléctrico cilíndrico (CDRA), esta capa del sistema radiante es un cilindro de 3 mm de radio y 1 mm de altura con una intensidad máxima de 1254.8 V/m. Se observa que las líneas vectoriales tienen mayor intensidad en el centro del CDRA y con una uniformidad en la región central de todo el sistema radiante, por otra parte, las líneas del campo eléctrico están unidos entre sí, lo que permite que la antena tenga un flujo eléctrico mayor en el medio con respecto al borde de la superficie del CDRA.

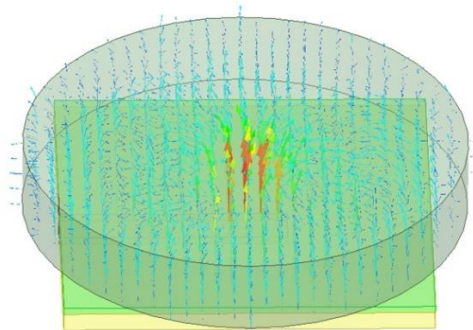


Figura 8. Flujo del campo vectorial eléctrico en el CDRA.

IV. ANÁLISIS

El coeficiente de reflexión (S11) se delimitó en valores inferiores a los -20 dB ya que en este valor hay una mayor energía que se transmite en comparación con la energía que se refleja. En la figura 3 se muestra la magnitud del coeficiente de reflexión, donde el mejor resultado estableció el diseño 5 ya que presenta a una frecuencia de 60.04 GHz un coeficiente de reflexión de -21.299 dB, este valor nos da como resultado que la relación S11 sea igual a 7/1000. El S11 es inferior porque el campo eléctrico recibido en la excitación fluye a lo largo de la línea de la microstrip y esta a su vez transmite mayor número de líneas del campo vectorial al CDRA; esta energía se retransmite en una dirección perpendicular al plano de excitación como un campo electromagnético reorientado en los bordes del resonador [9].

En cada diseño realizado se utilizaron dos materiales para el sustrato, Rogers RO4350 ($\epsilon_r = 3.66$) y FR4_EPOXY ($\epsilon_r = 4.4$), con el primer material se obtuvo valores del coeficiente de reflexión por encima de los -20 dB teniendo mayores pérdidas, debido a que presenta una constante dieléctrica horizontal menor que la vertical [10], por lo tanto al utilizar este material se obtuvo un mejor ancho de banda, pero en las simulaciones de cada diseño el parámetro S11 no estuvieron por debajo de los -7 dB, ya que este material es perfectamente homogéneo [10] y el flujo de las líneas del campo vectorial eléctrico es restringido.

El FR4_epoxy es un material con porosidad dentro de una película dieléctrica, en los diseños de la antena resonante se usó este material porque tiene un mayor coeficiente dieléctrico vertical [10], esto provocó que el coeficiente de reflexión está por debajo de los -20 dB, porque tanto la densidad como el tamaño de los poros es determinante ya que así hay un mejor flujo de las líneas del campo vectorial eléctrico (figura 8) y por

lo tanto hay una mayor velocidad de propagación en el sustrato a comparación del material Rogers RO4350 [11].

En la antena diseñada se estableció un CDRA con una constante dieléctrica relativamente alta ($\epsilon_r = 6.8$) para un eficiente resonar, al aumentar el radio del cilindro las líneas del campo vectorial eléctrico están más separadas lo que produce que el flujo sea menos intenso, también altera el valor del VSWR ya que a mayor radio, menor valor de VSWR; si en el cilindro se disminuye la longitud del radio los campos vectoriales eléctricos se confinarían de tal forma que el flujo sea más intenso en el CDRA y no habría pérdidas ni conductivas ni superficiales [12].

Al aumentar el tamaño de la superficie cuadrangular del sustrato y de la tierra del diseño 5 también disminuyó aún más el valor del VSWR y esto se produjo porque tanto la constante dieléctrica del sustrato $\epsilon_r = 4.4$ y de la tierra $\epsilon_r = 0.99$ que son valores relativamente bajos y así mejora el flujo de las líneas del campo vectorial eléctrico y hay mejor efecto de radiación [13]. En cuanto a la altura del CDRA, la altura de la tierra y del sustrato (tabla 3), no se varió ya que no alteró ningún parámetro de la antena resonante.

En los lóbulos de radiación de la figura 6 el diseño 5 presenta una directividad mayor comparándolas con los otros diseños, ya que posee nullos menos pronunciados y las pérdidas son de -15 dB entre los ángulos de 300° y 330° en Φ , esta diferencia de nullos del diseño 5 con respecto a los otros diseños (1 al 4) se produce porque en el material del sustrato el FR4_EPOXY utilizado tiene vías de aire perforados por donde fluye mayor líneas de campo vectorial eléctrico y esto disminuye la radiación posterior [14].

La importancia del resonador dieléctrico es la ausencia de pérdida óhmica, esquema de fácil acoplamiento, alta eficiencia de radiación y en la antena resonante el confinamiento del campo eléctrico permite que más líneas de flujo regresen y así haya mayor energía de transmisión, por lo tanto el lóbulo de radiación se direcciona a 180° de la ubicación del CDRA [15].

V. CONCLUSIONES

El diseño 5 cumple con los parámetros de desempeño adecuados, donde se obtuvo un coeficiente de reflexión de -21.299 dB a una frecuencia de 60.04 GHz y un VSWR de 1.4995 dB. Este diseño tiene una mejora tanto en el parámetro S11 como en el VSWR del 1.78 % y del 4.33 % respectivamente en comparación al diseño 4.

La antena resonante del diseño 5 muestra que el patrón de radiación tiene una ganancia de 2.35 dB con un lóbulo principal directivo a 180° en Φ . Determinando el ancho de banda del sistema radiante de 600 MHz.

El efecto del CDRA en la antena resonante es el mejoramiento del valor del VSWR, ya que al establecer la longitud del radio en 3 mm las líneas de flujo tienen mayor intensidad en la parte céntrica del sistema radiante y existe pérdidas casi nulas en la superficie del CDRA.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda el diseño de una antena resonante con diferentes formas geométricas del DRA y verificar si se obtienen valores semejantes a los resultados presentados en este artículo.

VII. REFERENCIAS

- [1] T. Varum, A. Ramos, and J. N. Matos, "Planar microstrip series-fed array for 5G applications with beamforming capabilities," *2018 IEEE MTT-S Int. Microw. Work. Ser. 5G Hardw. Syst. Technol. IMWS-5G 2018*, 2018.
- [2] A. Maeder *et al.*, "A Scalable and Flexible Radio Access Network Architecture for Fifth Generation Mobile Networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 11, pp. 16–23, 2016.
- [3] T. S. Rappaport, Y. Xing, G. R. MacCartney, A. F. Molisch, E. Mellios, and J. Zhang, "Overview of Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation (5G) Wireless Networks-With a Focus on Propagation Models," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 65, no. 12, pp. 6213–6230, 2017.
- [4] A. Guraliuc, G. Manara, P. Nepa, G. Pelosi, and S. Selleri, "Harmonic Tuning for Ku-Band Dielectric Resonator Antennas," vol. 6, pp. 568–571, 2007.
- [5] B. Li, C. X. Hao, and X. Q. Sheng, "A dual-mode quadrature-fed wideband circularly polarized dielectric resonator antenna," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 8, pp. 1036–1038, 2009.
- [6] M. Villar Etxeondo, Víctor Javier; Sorolla Ayza, Mario; Beruete Díaz, "Diseño Antena Microstrip De Ranura Y Antena De Parche Con Geometría Fractal.," 2012.
- [7] W. Liu, B. Ma, and J. Pan, "24 GHz Dielectric Resonator Antenna for MMW Automotive Radar," *Proc. 2018 IEEE 3rd Adv. Inf. Technol. Electron. Autom. Control Conf. IAEAC 2018*, no. Iaeac, pp. 351–354, 2018.
- [8] J. R. Aguilar, M. Beadle, P. T. Thompson, and M. W. Shelley, "The microwave and RF characteristics of FR4 substrates," *IEE Colloq.*, no. 206, pp. 0–5, 1998.
- [9] T. C. Cheston and J. Frank, "Microstrip reflectarray for satellite communication and radar cross-section enhancement or reduction," no. 19, 1982.
- [10] J. C. Rautio, "Measurement of uniaxial anisotropy in Rogers RO3010 substrate material," *2009 IEEE Int. Conf. Microwaves, Commun. Antennas Electron. Syst. COMCAS 2009*, pp. 1–4, 2009.
- [11] J. Jiang, O. Phillips, L. Keller, and P. A. Kohl, "Porous Epoxy Film for Low Dielectric Constant Chip Substrates and Boards," *Proc. - Electron. Components Technol. Conf.*, vol. 2018-May, pp. 33–39, 2018.

- [12] M. A. Zakariya, Z. Baharudin, M. H. Md Khir, A. J. Jamali, M. F. Ain, and Z. A. Ahmad, "Experimental study on a directional cylindrical dielectric resonator antenna (CDRA) at 5 to 6 GHz," *Sensors and Transducers*, vol. 17, no. SPL 12, pp. 158–167, 2012.
- [13] C. Raj and S. Suganthi, "Performance analysis of antenna with different substrate materials at 60 GHz," *Proc. 2017 Int. Conf. Wirel. Commun. Signal Process. Networking, WiSPNET 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 2537–2539, 2018.
- [14] Y. Luo and J. Bornemann, "Substrate Integrated Waveguide Horn Antenna on Thin Substrate with Back-Lobe Suppression and Its Application to Arrays," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 16, pp. 2622–2625, 2017.
- [15] T. M. Prasanth and V. Guruviah, "Designing multiband in cylindrical dielectric resonator antenna (CDRA) for wireless applications," *2017 Int. Conf. Nextgen Electron. Technol. Silicon to Software, ICNETS2 2017*, pp. 349–352, 2017.