

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

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

**TEMA:  
DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS DE MODELO  
RESONANTE PARA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA**

**AUTORES:  
CHRISTOPHER DAMIÁN TERÁN AGUILAR  
CARLOS BRYAN YÉPEZ ROSALES**

**TUTOR:  
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

**Quito, noviembre de 2020**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

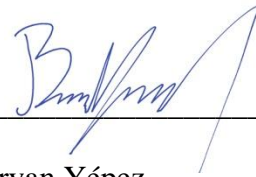
Nosotros Christopher Damián Terán Aguilar y Carlos Bryan Yépez Rosales, con documentos de identificación N°- 1723762272 y N°- 1722554282 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: “DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS DE MODELO RESONANTE PARA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA”, 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 formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Christopher Terán

CI: 1723762272



Bryan Yépez

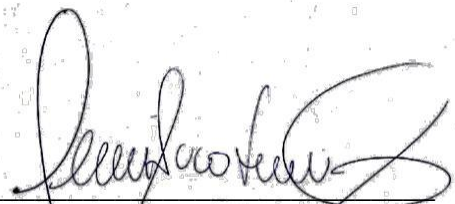
CI: 1722554282

Quito, noviembre de 2020

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, “DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS DE MODELO RESONANTE PARA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA” realizado por Christopher Damián Terán Aguilar y Carlos Bryan Yépez Rosales, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, noviembre de 2020



Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

CI: 171798583-0

# DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS DE MODELO RESONANTE PARA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA

Aucatoma Guamán Lenin  
Wladimir  
Ingeniería Electrónica  
Docente Universidad  
Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
laucatoma@ups.edu.ec

Christopher Damián Terán  
Aguilar  
Ingeniería Electrónica  
Universidad Politécnica  
Salesiana  
Quito, Ecuador  
cterana@est.ups.edu.ec

Carlos Bryan Yépez  
Rosales  
Ingeniería Electrónica  
Universidad Politécnica  
Salesiana  
Quito, Ecuador  
cyepezr@est.ups.edu.ec

**Resumen**— En este artículo se presenta el diseño de seis arreglos lineales de antenas cilíndricas dieléctricas de modelos resonantes para banda de onda milimétrica funcionales a 60 GHz de 2x1, 3x1 y 4x1 utilizando FR4\_EPOXY ( $\epsilon_r=4.4$ ) para el sustrato, Rogers RO3210 ( $\epsilon_r=10.2$ ) y Alumina\_96pct ( $\epsilon_r=9.4$ ) para los resonadores cilíndricos. Se variaron parámetros de los arreglos como medidas, materiales, y disposición de los elementos utilizando el software Ansys HFSS para así obtener valores correctos de coeficiente de reflexión de puerto de entrada (S11), VSWR y patrones de radiación con el fin de mejorar la ganancia de una antena cilíndricas dieléctricas de modelos resonante individual y observar el impacto que sufren los arreglos con esta variaciones Se obtuvo arreglos lineales que operan en un rango de 59.9889 a 60.0334 GHz, un parámetro (S11) de -24.0447 a -28.8566 dB, VSWR de 1.0748 a 1.1145, un porcentaje de ancho de banda de 3.15 a 13.64 % y una ganancia que oscila entre los 6.57 a 8.44 dB.

**Abstract**— This paper presents the design of six dielectric cylindrical antenna arrays of resonant models for millimeter wave band functional at 60 GHz of 2x1, 3x1 and 4x1 using FR4\_EPOXY ( $\epsilon_r = 4.4$ ) for the substrate, Rogers RO3210 ( $\epsilon_r = 10.2$ ) and Alumina\_96pct ( $\epsilon_r = 9.4$ ) for the cylindrical resonators. Array parameters such as measurements, materials, and arrangement of the elements were varied using the Ansys HFSS software in order to obtain correct values of the input port reflection coefficient (S11), VSWR and radiation patterns in order to improve the gain. of a dielectric cylindrical antenna of individual resonant models and observing the impact suffered by the arrays with these variations. Linear arrays were obtained that operate in a range of 59.9889 to 60.0334 GHz, a parameter (S11) of -24.0447 to -28.8566 dB, VSWR from 1.0748 to 1.1145, a bandwidth percentage of 3.15 to 13.64% and a gain that ranges from 6.57 to 8.44 dB.

**Keywords**— *ancho de banda, arreglo de antenas, antena resonante, onda milimétrica, parámetros de dispersión, Slot.*

## I. INTRODUCCIÓN

La tecnología 5G surge a raíz de la necesidad de brindar un óptimo servicio a todos los usuarios y máquinas que existen y se prevé que habrá en pocos años[1][2]. El reto clave de esta es conseguir un incremento de capacidad, una reducción de latencia, menor consumo de energía y mejor cobertura a un costo similar al que hoy en día se utiliza[3]. Sin embargo, para poder observar completamente todos los beneficios que brinda 5G se necesita de la asignación de un nuevo espectro, específicamente de bandas de alta frecuencia que están por encima de 24 GHz llamadas ondas milimétricas[3]. Debido a que la propagación en estas sufre inherentemente pérdidas de atenuación mayores a la tecnología que se usa actualmente (4G), la comunidad inalámbrica anticipa que se requerirá la implementación de antenas extremadamente pequeñas y de alta ganancia[4].

Al operar en banda milimétrica una antena de modelo resonante (DRA) presenta como características principales alta eficiencia de radiación y el no sufrir pérdidas por conducción si es excitada correctamente [5]. Debido a que la ganancia de un elemento resonador individual se ve limitada a ~5 dBi se han estudiado varios tipos de arreglo para mejorar este parámetro como solución a la necesidad de obtener un ancho de haz lo suficientemente estrecho que permita obtener ganancias mayores a 8 dBi a fin de compensar la atenuación que se produce a altas frecuencias asociadas con ondas milimétricas[6] [7].

Las características finales que presente un arreglo de DRA (Dielectric resonator antenna) tales como patrón de radiación, ancho de haz, directividad, red de lóbulos, y eficiencia en general van a estar en función de varios parámetros del arreglo como la geometría, material dimensiones, número y espacio entre elementos además de los mecanismos de alimentación utilizados [8].

Este artículo propone el análisis y diseño de tres arreglos de 2x1, 3x1 y 4x1 elementos de antenas de modelo

resonante para onda milimétrica variando los materiales y medidas de los resonadores con el fin de obtener las características adecuadas en los sistemas radiantes.

## II. DISEÑO DE LA ANTENA

Los arreglos de antenas están compuestos por una lámina de sustrato hecha de FR4\_EPOXY (laminado de resina epoxi reforzado con vidrio) con una permitividad relativa ( $\epsilon_r$ ) de 4,4 que se encarga de separar la tierra (PEC) de la línea Microstrip compuesta de cobre con una permitividad relativa ( $\epsilon_r$ ) de 0.999 y con una impedancia típica de 50 Ohms calculada con la herramienta LineCal[8]. Para el mecanismo de alimentación se emplea Slots (Aperturas) con el fin de evitar radiaciones no deseadas que causen distorsión en la forma del patrón de radiación[9]. Los materiales de los resonadores dieléctricos son ROGERS RO3210 (laminados rellenos de cerámica reforzados con fibra de vidrio tejida) con una permitividad relativa ( $\epsilon_r$ ) de 10.2 y una pérdida tangencial de 0.0027 y Alumina\_96pct (cerámica de alúmina) con una permitividad relativa ( $\epsilon_r$ ) de 9.4 y una pérdida tangencial de 0.0002, su forma geométrica es cilíndrica debido a la flexibilidad de diseño que presentan este tipo de elementos en cuanto a su frecuencia de resonancia [9]. Las dimensiones iniciales de los resonadores dieléctricos (radio y altura) son calculados mediante La ecuación (1) [10]:

$$fr = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon d r a}} \sqrt{\left(\frac{1.841}{R}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{2H d r a}\right)^2}, \quad (1)$$

Donde  $c$  es la velocidad de la luz,  $H d r a$ ,  $R$  y  $\epsilon d r a$  son la altura, radio y permitividad del resonador respectivamente.

El largo inicial de los slots de alimentación es hallado mediante la relación  $\frac{0.5656\lambda_0}{\sqrt{\epsilon d r a} + \epsilon s u s}$  donde  $\epsilon s u s$  es la permitividad del sustrato. La distancia entre resonadores y slots de alimentación inicialmente es de  $\frac{\lambda_0}{2}$ , finalmente las dimensiones de los arreglos fueron halladas mediante el algoritmo convergente de la herramienta Optimetrics de parametrización y optimización del software Ansys HFSS.[8] [11]

Todos los arreglos son excitados mediante un lumped port (Puerto Agrupado) de 0.92 mm de largo y 0.454 mm de ancho (Figura 2).

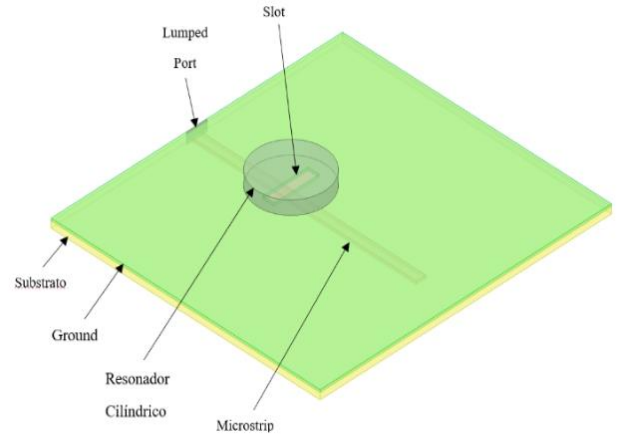


Figura 1. Componentes de la Antena de Modelos Resonantes

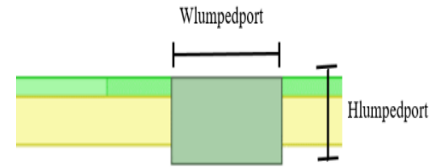


Figura 2. Lumped Port

Dependiendo el tipo de arreglo de antenas las medidas de los resonadores dieléctricos y la ubicación de los slots varían como se puede observar en la figura 3 y figura 4.

En la tabla 1 se observa con detalle la nomenclatura y las medidas de los elementos que componen los diferentes arreglos

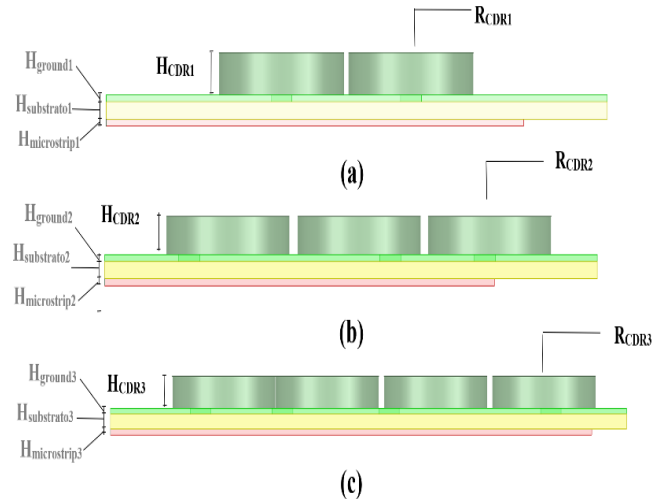
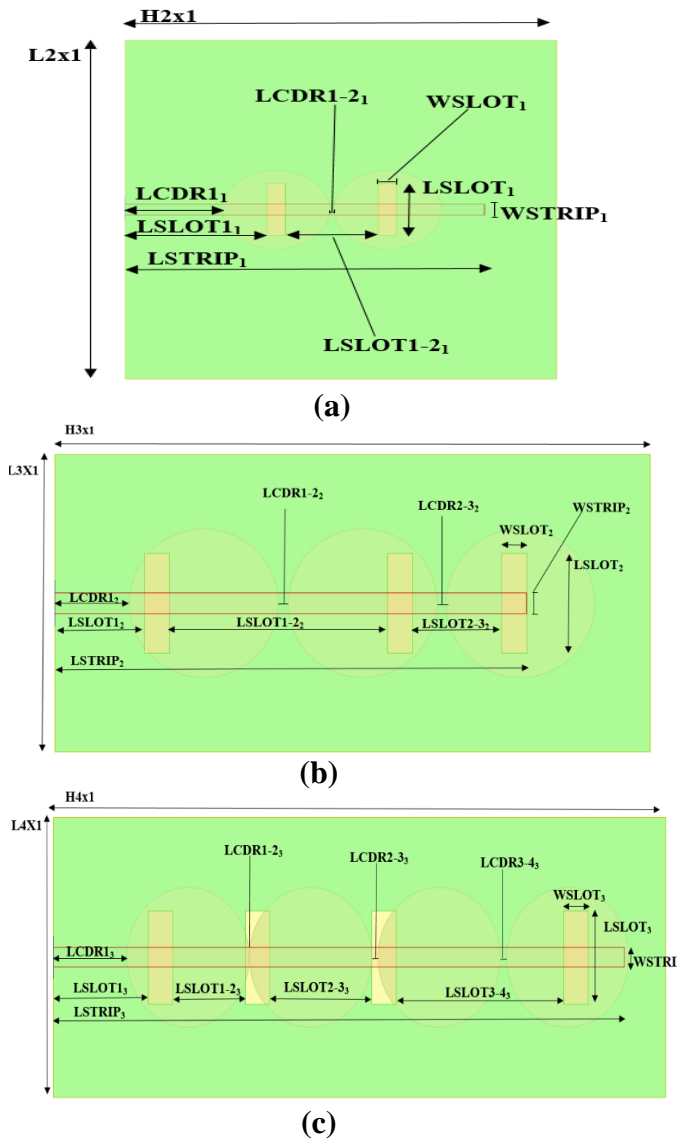


Figura 3. Dimensiones de Resonadores y alturas de las láminas de arreglos de antenas(a) 2x1, (b) 3x1 y (c) 4x1.



**Figura 4.** Dimensiones y ubicación de los elementos de los arreglos de antenas (a) 2x1, (b) 3x1 y (c) 4x1.

**Tabla 1.** Medidas de los elementos que conforman todos los arreglos

Nombre	Detalle	Arreglo 2x1 (mm)	Arreglo 3x1 (mm)	Arreglo 4x1 (mm)
RCDR <sub>x</sub>	Radio de Resonadores Cilíndricos	1.5	1.5	1.5
HCDR <sub>x</sub>	Altura de Resonadores Cilíndricos	0.546	0.55	0.56
Hground <sub>x</sub>	Altura de tierra	0.1	0.1	0.1
Hsubstrato <sub>x</sub>	Altura de sustrato	0.254	0.254	0.254
Hmicrostrip <sub>x</sub>	Altura de microstrip	0.1	0.1	0.1
HX1	Ancho de sustrato y tierra	12	12	15
LX1	Largo de sustrato y tierra	13	6	6
LCDR1 <sub>x</sub>	Distancia entre la alimentación y CDR1	2.7	1.5	1.8

LCDR1-2 <sub>x</sub>	Distancia entre la CDR1 y CDR2	0.1	0.2	0.0084
LCDR2-3 <sub>x</sub>	Distancia entre la CDR2 y CDR3	-	0.18	0.16
LCDR3-4 <sub>x</sub>	Distancia entre la CDR3 y CDR4	-	-	0.185
LSLOT <sub>x</sub>	Longitud Slot	2	2	2
WSLOT <sub>x</sub>	Ancho Slot	0.5	0.515	0.6
LSLOT1 <sub>x</sub>	Distancia entre la alimentación y SLOT1	1.8	1.8	2.32
LSLOT1-2 <sub>x</sub>	Distancia entre SLOT1 y SLOT2	2.6	6.7	1.78
LSLOT2-3 <sub>x</sub>	Distancia entre SLOT2 y SLOT3	-	9	2.5
LSLOT3-4 <sub>x</sub>	Distancia entre SLOT3 y SLOT4	-	-	4.1
LSTRIP <sub>x</sub>	Largo de microstrip	10	10.2	13.99
WSTRIP <sub>x</sub>	Ancho de microstrip	0.42	0.416	0.416

### III. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

Se variaron los materiales del resonador dieléctrico entre ROGERS RO3210 ( $\epsilon_r$ ) de 10.2 y Alumina\_96pct ( $\epsilon_r$ ) de 9.4 con el fin de obtener la mejor directividad posible operando a 60 GHz debido a las características presentes en dicha frecuencia tales como baja interferencia, gran ancho de banda y poca explotación actual de la porción de ondas milimétrica para aplicaciones inalámbricas comerciales [12].

Como consecuencia fue necesario variar también parámetros como ubicación y altura de los resonadores, ranuras de excitación con el fin de cumplir con la relación que se establece entre estos parámetros y la de frecuencia de resonancia de los arreglos de antenas. Al final se obtuvo 6 arreglos (2 de cada tipo) en los que la ganancia va de en un rango de 6.57 dB a 8.44 dB, un coeficiente de reflexión de puerto de entrada (S11) menor a -20 dB para asegurar que menos del 1% de la potencia entregada a la antena sea reflejada y un VSWR en el rango de 1 a 1.5 que determina que el porcentaje de la potencia efectivamente radiada va a ser igual o mayor al 97% lo que son valores aceptables para el funcionamiento de los arreglos de antenas.

En la tabla 2 se muestra los valores obtenidos de los arreglos anteriormente mencionados.

**Tabla 2.** Resultados obtenidos de los diferentes arreglos de antenas

Arreglo 2x1		
Diseño	#1	#2
Material	Rogers RO3210	Alumina_96pct
Radio CDRA (mm)	1.5	1.5
Altura CDRA (mm)	0.5465	0.6035
Ganancia (dB)	6.84	6.57
Parámetro S (dB)	-28.8566	-25.776
Parámetro S (GHz)	60.0334	59.8667
VSWR	1.0748	1.1084
Arreglo 3x1		
Diseño	#3	#4

Material	Rogers RO3210	Alumina_96pct
Radio CDRA (mm)	1.5	1.5
Altura CDRA (mm)	0.565	0.55
Ganancia (dB)	7.30	7.55
Parámetro S (dB)	-28.41	-27.4625
Parámetro S (GHz)	59.9889	60.0108
VSWR	1.0790	1.0885
Arreglo 4x1		
Diseño	#5	#6
Material	Rogers RO3210	Alumina_96pct
Radio CDRA (mm)	1.5	1.5
Altura CDRA (mm)	0.508	0.56
Ganancia (dB)	8.44	7.93
Parámetro S (dB)	-24.0447	-25.3257
Parámetro S (GHz)	60.0334	60.0111
VSWR	1.1340	1.1145

### A. Coeficiente de reflexión de los arreglos (S1,1)

En las figuras 5 y 6 se puede observar que el valor del coeficiente de reflexión en todos los arreglos es menor a -24 dB lo que quiere decir que menos del 0.375% de la energía entregada a cualquiera de los arreglos es reflejada.

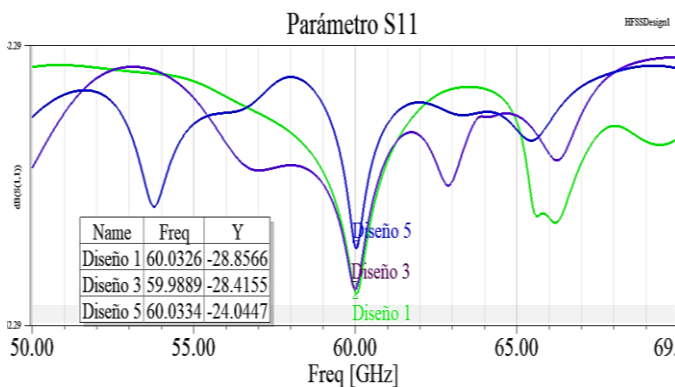


Figura 5. Gráfica del parámetro S11 de los arreglos 2x1, 3x1 y 4x1 con el material Rogers RO3210

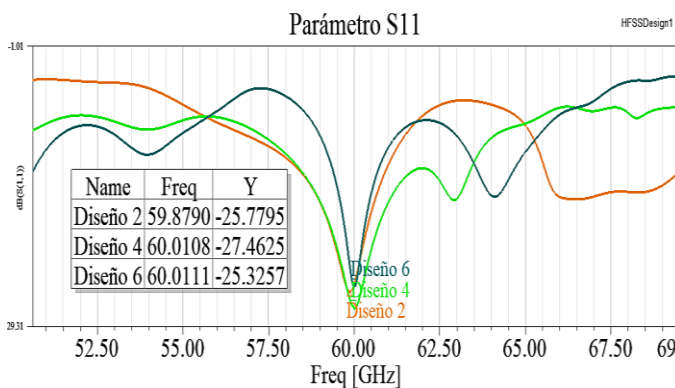


Figura 6. Gráfica del parámetro S11 de los arreglos 2x, 3x1 y 4x1 con el material Alumina\_96pct

### B. Relación de Onda Estacionaria

En las figuras 7 y 8 se puede observar que el rango de valores de VSWR es de 1.0748 a 1.1145 en todos los arreglos lo que garantiza que el porcentaje de la potencia efectivamente radiada sea correcto ya que las pérdidas por transmisión serán menores a 0.0139 dB lo que se considera valores eficientes.

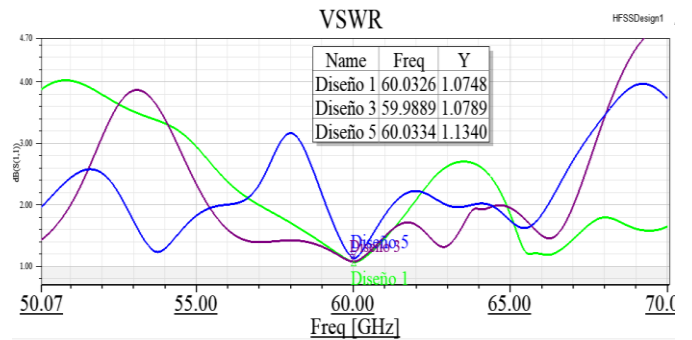


Figura 7. Gráfica VSWR de los arreglos 2x1, 3x1 y 4x1 con el material Rogers RO3210

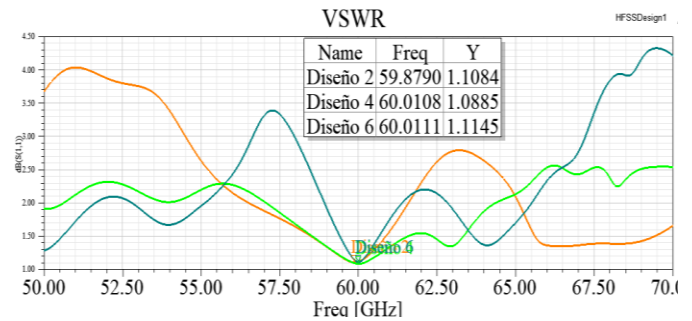


Figura 8. Gráfica VSWR de los arreglos 2x, 3x1 y 4x1 con el material Alumina\_96pct

### C. Ancho de Banda

En la tabla 3 se puede observar el ancho de banda medido por debajo de 10 dB del coeficiente de reflexión de entrada a una frecuencia central de 60 GHz debido a que este valor se garantiza que al menos 90% de la potencia entregada a cualquiera de los arreglos sea radiada [13].

Tabla 3. Ancho de banda obtenido de los diferentes arreglos

Diseño	Ancho de Banda %
#1	7.44
#2	7.68
#3	11.09
#4	13.64
#5	3.15
#6	3.56

### D. Patrón de Radiación

En la figura 9 se observa los patrones de radiación en dos dimensiones con un ángulo de 0 grados respecto a Phi, en cada uno de los tres gráficos se puede observar que no hay presencia de nulos, mientras que en la figura 10 se presentan nulos muy atenuados y lóbulos secundarios muy por debajo de la ganancia máxima del lóbulo principal. En ambas figuras se observa que la ganancia es mayor a -3dB lo que asegura una buena calidad de radiación.



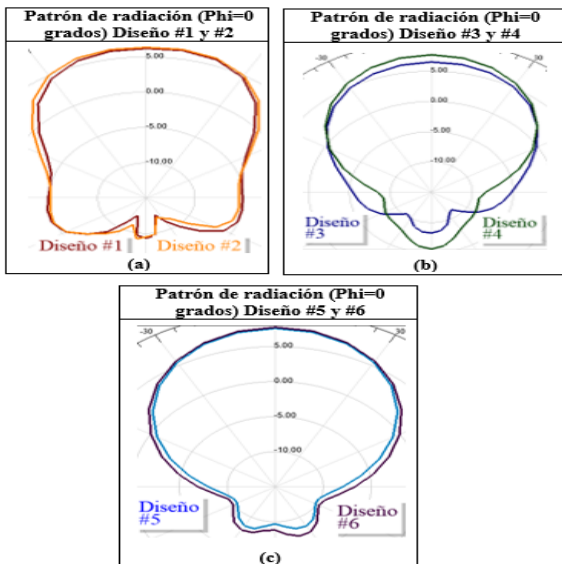


Figura 9. Gráfica del patrón de radiación en 2D a 0 grados respecto al ángulo phi (a) 2x1, (b) 3x1 y (c) 4x1.

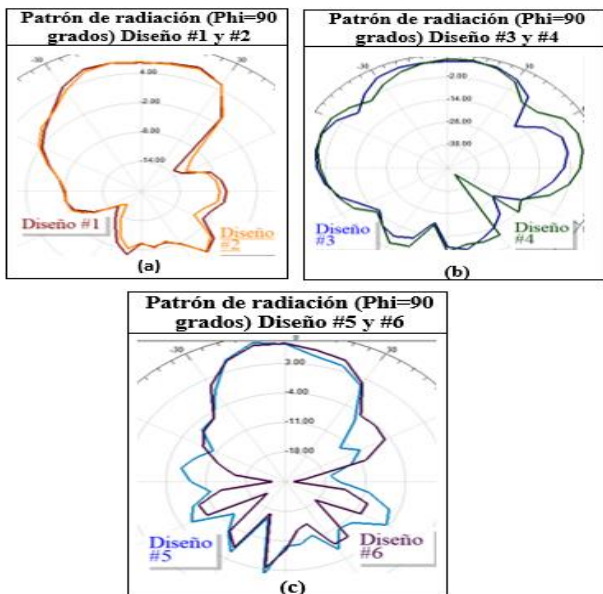


Figura 10. Gráfica del patrón de radiación en 2D a 90 grados respecto al ángulo phi (a) 2x1, (b) 3x1 y (c) 4x1.

En la figura 11 y 12 se observa el patrón de radiación en 2D con el ángulo phi a 0 y 90 grados respectivamente de todos los arreglos mostrando el comportamiento de este al ir aumentando resonadores y utilizando Alumina96\_pct y Rogers RO3210.

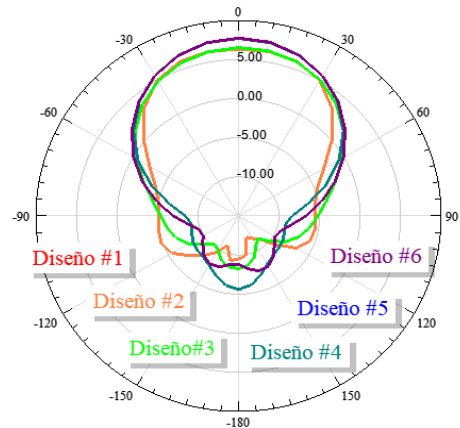


Figura 11. Gráfica del patrón de radiación en 2D 0 grados respecto al ángulo phi de todos los arreglos diseñados.

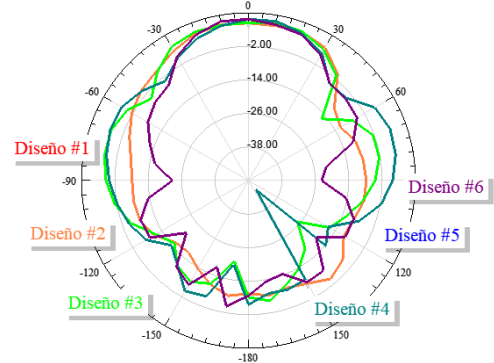


Figura 12. Gráfica del patrón de radiación en 2D 90 grados respecto al ángulo phi de todos los arreglos diseñados.

En la figura 13 se puede observar la vista superior y lateral de los patrones de radiación en tres dimensiones en donde la ganancia de cada arreglo va a ser proporcional al número de resonadores dieléctricos cilíndrico que lo conforma en un rango de 6.57 a 8.44 dB.

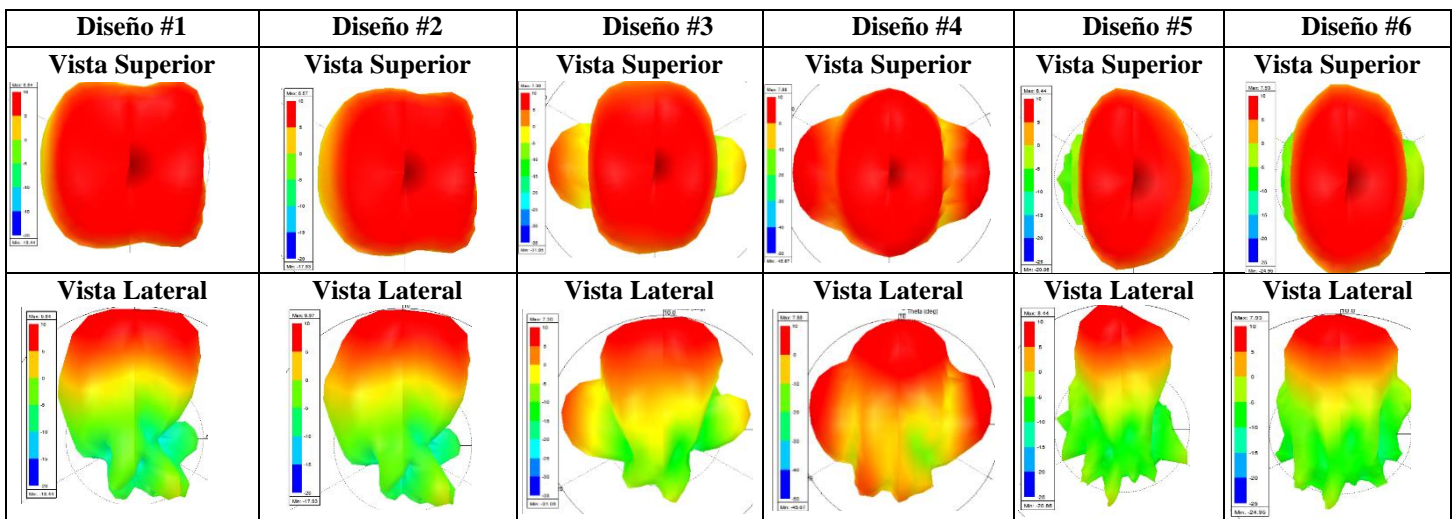


Figura 13. Vistas del patrón de radiación en 3D de los diferentes arreglos diseñado.



## IV. ANÁLISIS

El coeficiente de reflexión S (1,1) de cualquiera de los arreglos es menor a -24 dB lo que indica una alta eficiencia de radiación en frecuencias de ondas milimétricas debido a la ausencia de ondas superficiales, a la no existencia de pérdida de conductor inherente en los resonadores dieléctricos y casi no producirse pérdidas en los conductores por desacoplamiento de impedancias debido al mecanismo de alimentación empleado. Al comparar los seis diseños, el número 1 es el que presenta la mayor eficiencia de radiación debido a que por el número de sus resonadores cilíndricos la influencia inter-elementos conocida como acoplamiento mutuo es menor lo que trae como consecuencia que parámetros como la impedancia de los arreglos varíen muy poco [14].

Los datos obtenidos de VSWR están en un rango de 1.0748 a 1.1145 lo que indica que las pérdidas oscilan entre 0.0051 y 0.0139 dB. No existe una relación entre el aumento de resonadores y el aumento de este parámetro ya que la relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR) se define en función de la diferencia de impedancias que existe entre una fuente y la carga del sistema haciendo referencia a todos los elementos que componen cada arreglo y no solamente a la modificación de uno de ellos.

Al variar el número de elementos en cada arreglo se puede observar que las antenas con mayor cantidad de resonadores cilíndricos (4) presentan mayor ganancia (8.44 dB y 7.93 dB) y un ancho de haz más estrecho en  $\phi=90^\circ$  (29.3° y 45.5°) independiente del material del que estén formados esto se debe que a mayor cantidad de elementos radiantes aumenta la capacidad de concentrar la potencia radiada en la dirección adecuada para que los campos parciales interfieran constructivamente. Si se varían los materiales los arreglos cuyos resonadores están hechos de ROGERS RO3210 presentan mayor directividad en comparación a Alumina\_96pct debido a que por tener una permitividad dieléctrica más alta los campos dentro del resonador están más confinados y presentan menor efecto por acoplamiento mutuo [15].

Los patrones de radiación obtenidos tanto en dos como en tres dimensiones muestran un comportamiento diferente en cada diseño debido a que en un arreglo los elementos radiantes que lo conforman sufren interferencias constructivas donde se amplía la señal y destructivas donde se crean nulos dependiendo de la distancia a la que están unos de otros dando como resultado la no existencia de una linealidad que describa su comportamiento [16] [17] [18]. La utilización de espacios no uniformes entre elementos en los arreglos se justifica debido al efecto que tiene este método en reducir lóbulos secundarios es decir elimina la radiación no deseada en direcciones no deseadas [16] [17] [18].

Al disminuir la distancia de separación desde  $\frac{\lambda_0}{2}$  hasta 0.1 mm entre los resonadores con sus respectivos slots de alimentación el número de lóbulos secundarios de radiación disminuye esto se debe a que al acercarse los elementos radiantes se obtiene un haz más estrecho (mayor

## E. Campo Eléctrico

En la figura 14 se puede observar las magnitudes del campo eléctrico del arreglo 2x1 en donde al emplear slots se proporcionan un acoplamiento suficiente entre el DRA y la línea de alimentación logrando concentrar la mayor radiación dentro de los resonadores cilíndricos dieléctricos alcanzando una magnitud máxima de campo eléctrico de 5525 V/m.

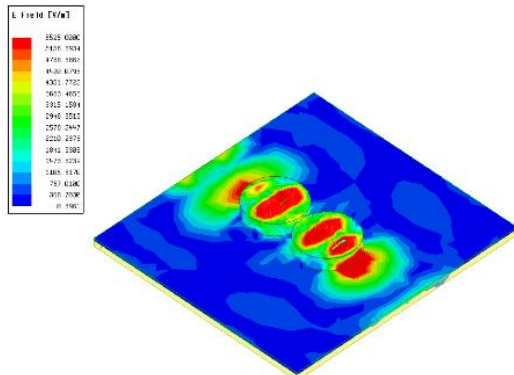


Figura14. Magnitud de Campo Eléctrico en Diseño #1.

## F. Variación de parámetros en los arreglos

En la figura 15 se puede observar cómo varía la frecuencia de resonancia del diseño #6 al modificar ciertos parámetros del arreglo como la altura del resonador y la distancia entre cilindros resonadores y los slots.

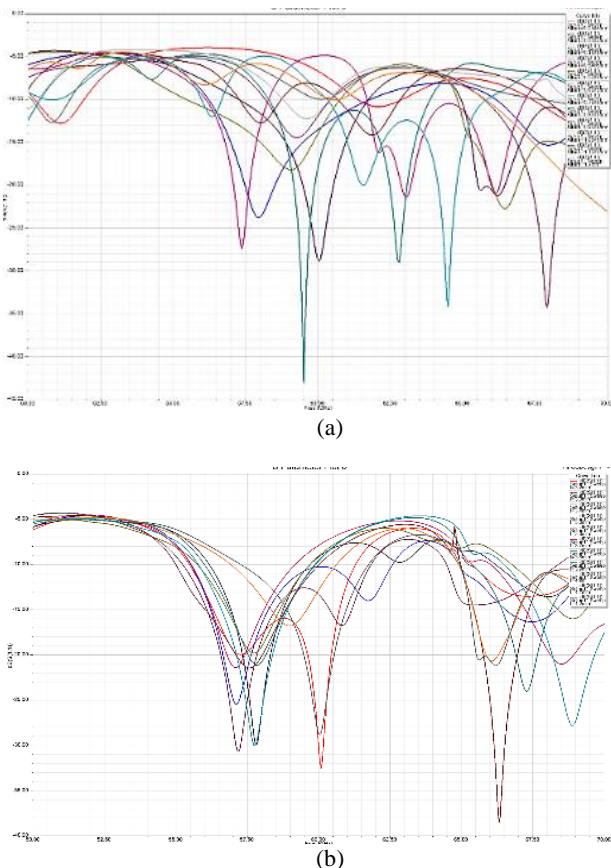


Figura 15. (a) Altura de CDRA vs Frecuencia de Resonancia  
(b) Distancia entre CDRA y Slots vs Frecuencia de Resonancia.

densidad de potencia radiada) [19]. Sin embargo varios parámetros de radiación como la frecuencia de resonancia, coeficiente de reflexión, ancho de banda e impedancia varían sin seguir ninguna relación al aumentar o disminuir la distancia y dimensiones de los resonadores y slots, esto se debe al acoplamiento mutuo es decir la interacción electromagnética entre los elementos del arreglo y al acoplamiento producido por la técnica de alimentación utilizada siendo la única solución viable la utilización de una herramienta informática que permita mediante prueba y error hallar las dimensiones adecuadas de los arreglos para obtener los parámetros de dispersión correctos[6].

El margen de frecuencias en el cual los parámetros de los arreglos cumplen con las características de dispersión correctas es mayor para los arreglos con resonadores cilíndricos dieléctricos hechos de Alumina<sub>96pct</sub> ( $\epsilon_r=9,4$ ) en comparación a los arreglos con resonadores de ROGERS RO3210 ( $\epsilon_r=10,2$ ) esto se debe a que en CDRA con permitividad relativa menor a diez ( $\epsilon_r<10$ ) el confinamiento de campos es menor disminuyendo la relación de energía máxima almacenada sobre energía disipada conocida como factor de calidad Q [20].

## V. CONCLUSIONES

El diseño 5 es el que presenta mejores resultados respecto a ganancia obteniendo 10.59 dBi lo que quiere decir 5.50 dB más en comparación a una antena resonante dieléctrica individual además cumple con los parámetros de dispersión adecuado para un arreglo de antenas en la banda de onda milimétrica tales como un coeficiente de reflexión de -24.0447 a una frecuencia de 60.03 GHz, un VSWR de 1.13 y a la no presencia de nulos.

No existe una linealidad entre la variación de distancia de los elementos, las dimensiones de los slots de alimentación y los parámetros que presente un arreglo de antenas resonantes cilíndricas. La utilización de espacios no uniformes entre elementos del arreglo es necesaria para evitar la formación de lóbulos secundarios no deseados que puedan afectar la directividad.

En arreglos cuyos resonadores cilíndricos estén hechos de un material que presente mayor permitividad eléctrica el efecto causado por acoplamiento mutuo se ve disminuido al igual que el ancho de banda.

## VI. REFERENCIAS

- [1] D. Murillo Ramos, "Propuesta de utilización de las ondas milimétricas en la interfaz radio de la quinta generación móvil.," Universidad Politécnica de Madrid, 2016.
- [2] DVTEST Inc., "La tecnología 5G requiere las frecuencias de ondas milimétricas mmWave", pp. 8.
- [3] GSMA, "Regional Spotlights: Impact of mmWave 5G," no. July, pp. 44, 2019.
- [4] W. Hong, K. Baek, and Y. Lee, "Quantitative analysis of the effects of polarization and pattern reconfiguration for mmWave 5G mobile antenna prototypes," *IEEE Radio Wirel. Symp. RWS*, pp. 68–71, 2017.
- [5] S. Keyrouz, D. Caratelli, "Dielectric Resonator Antennas: Basic Concepts, Design Guidelines, and Recent Developments at Millimeter-Wave Frequencies", Hindawi Publishing Corporation., pp. 1-2, 2016.
- [6] N. Ioan, I. Andrei, T. Irina, R. Ionut, B. Gabriel, and N. Liviu, "Dielectric Resonator Antennas," *WSEAS Trans. Commun.*, vol. 7, no. 5, pp. 37-82, 2008.
- [7] H. Ullah and F. A. Tahir, "A High Gain and Wideband Narrow-Beam Antenna for 5G Millimeter-Wave Applications," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 2, 2020.
- [8] Nathan Verstraeten, "5G mmWave Antenna Arrays Exploiting Novel Copper and Aluminium Claddings". Universidad de Ghent, Bélgica, pp. 13, 2018.
- [9] Muhammad Faiz Alam, "Dielectric Resonator Antennas (DRA) for satellite and body area network applications. Other". Université Paris-Est, pp. 16-32, 2012.
- [10] Yacouba Coulibaly, Mourad Nedil, Larbi Talbi, and Tayeb A. Denidni, "Design of High Gain and Broad band Antennas at 60 GHz for Underground Communications Systems", Hindawi Publishing Corporation, pp. 3, 2012.
- [11] Ansoft Corp., "Parametrics and Optimization Using Ansoft HFSS." [Online]. Available: <https://www.microwavejournal.com/articles/2779-parametrics-and-optimization-using-ansoft-hfss>. [Accessed: 09-Nov-2020].
- [12] P. Jean and L. Jessica, "La comunicación inalámbrica a través de la banda de los 60 ghz," *Rev. Científica Univ. y Soc.*, vol. 8, pp. 89-96, 2016.
- [13] A. Pandiya, N. Vohra, and Y. K. Choukiker, "Design of dielectric resonator antenna for wideband applications," *Proc. 2nd IEEE Int. Conf. Eng. Technol. ICETECH 2016*, no. March, pp. 89-96, 2016.
- [14] H. Singh, H. Sneha, and R. Jha, "Mutual Coupling in Phased Arrays: A Review", Hindawi Publishing Corporation, pp. 1-2, 2013.
- [15] L. Huitema and T. Monediere, "Dielectric Materials for Compact Dielectric Resonator Antenna Applications," *Intech*, vol. i, pp. 37–38, 2012.
- [16] M. N. Md Tan, S. K. A. Rahim, M. T. Ali, and T. A. Rahman, "Smart antenna: Weight calculation and side-lobe reduction by unequal spacing technique," *2008 IEEE Int. RF Microw. Conf. RFM 2008*, pp. 441–445, 2008.

- [17] S. Rupcic, V. Mandric, and D. Zagar, "Reduction of sidelobes by nonuniform elements spacing of a spherical antenna array," *Radioengineering*, vol. 20, no. 1, pp. 299–306, 2011.
- [18] S. F. Maharimi and M. F. Jamlos, "Impact of Number Elements on Array Factor in Linear Arrays Antenna," pp. 296–299, 2012.
- [19] Ashmore, John, "Design and Analysis of a Dielectric Resonator Antenna Array and Its Feed Network". *Electronic Theses and Dissertations*, pp. 23-27, 2011.
- [20] R. Chair, A.A. Kishk and K.F. Lee," Experimental investigation for wideband perforated dielectric resonator antenna ", *IEEE*, pp. 1-2 ,2006.