

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

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

**TEMA:**  
**COMPARACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ENTRE UNA ANTENA TIPO**  
**MICROSTRIP Y UNA ANTENA TIPO MICROSTRIP CON RESONADOR EN**  
**BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA.**

**AUTORES:**  
**ERICK JAVIER NARANJO LANDETA**  
**GABRIEL ANDRÉS ORTIZ SÁNCHEZ**

**TUTOR:**  
**LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

**Quito, septiembre de 2020**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Erick Javier Naranjo Landeta y Gabriel Andrés Ortiz Sánchez, con documentos de identificación N°- 172302987-0 y N °- 172044863-6 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: “COMPARACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ENTRE UNA ANTENA TIPO MICROSTRIP Y UNA ANTENA TIPO MICROSTRIP CON RESONADOR EN 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.

Erick Javier Naranjo Landeta

CI: 172302987-0

Gabriel Andrés Ortiz Sánchez

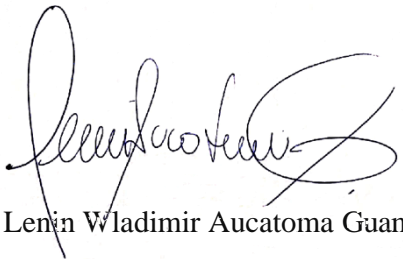
CI: 172044863-6

Quito. septiembre de 2020

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, “COMPARACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ENTRE UNA ANTENA TIPO MICROSTRIP Y UNA ANTENA TIPO MICROSTRIP CON RESONADOR EN BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA” realizado por Erick Javier Naranjo Landeta y Gabriel Andrés Ortiz Sánchez, obteniendo un producto que cumple con todos los estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre de 2020



Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

CI: 171798583-0

# Comparación del funcionamiento entre una antena tipo microstrip y una antena tipo microstrip con resonador en banda de onda milimétrica

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

Naranjo Landeta Erick Javier  
Ingeniería Electrónica  
Universidad Politécnica  
Salesiana  
Quito, Ecuador  
enaranjo11@est.ups.edu.ec

Ortiz Sánchez Gabriel Andrés  
Ingeniería Electrónica  
Universidad Politécnica  
Salesiana  
Quito, Ecuador  
gortizs1@est.ups.edu.ec

**Resumen**—Este artículo presenta el análisis comparativo entre una antena microstrip y una antena microstrip con resonador en la banda de onda milimétrica (mmW). Se analizó el impacto de la forma, el tamaño, y el material del resonador mediante pruebas realizadas en el software ANSYS HFSS. Las formas geométricas elegidas para determinar el impacto del resonador en la antena microstrip fueron: cuadrado, cilíndrico, cónico, y triangular. A su vez que los materiales simulados fueron: Cerámica (Be<sub>2</sub>O), Cobre, Oro, Silicon y Epoxy (FR4). En cuanto al tamaño se varió las dimensiones de un resonador cuadrado, para de esta manera realizar su respectivo análisis.

**Abstract**— This paper presents the comparative analysis between a microstrip antenna and a resonant microstrip antenna in the millimeter wideband (mmW). The impact of the geometric shape, size, and material was analyzed through different tests on ANSYS HFSS software. The chosen geometric shapes were: Square, cylinder, conic, and triangle in order to determine the impact of the resonator in the microstrip antenna. At the same time the simulated materials were: Ceramic (Be<sub>2</sub>O), copper, gold, silicon, and epoxy (FR4). Regarding size, the dimensions of a square resonator were changed, and in this way carry out their respective analysis.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el espectro radioeléctrico bajo la frecuencia de 3GHz tiene una creciente demanda, lo cual deriva en una saturación progresiva de dicha región del espectro, colmada por una multitud de servicios como: radiodifusión, televisión, mandos a distancia, telefonía móvil o las redes wifi, además de usos militares y científicos. Implicando una creciente necesidad de grandes velocidades de datos en las comunicaciones móviles. El uso de frecuencias mayores es una opción viable frente a este problema, específicamente frecuencias consideradas de onda milimétrica, puesto que, el uso de altas frecuencias supone un aumento en la velocidad de transmisión, y disponibilidad de anchos de banda mayores. [1]

La relación existente entre frecuencia y longitud de onda hace que las antenas que operan en la banda EHF están en el orden de los milímetros o fracciones de milímetro [2]. Siendo así, que las antenas microstrip desde sus inicios estuvieron concebidas para diseños con dimensiones muy reducidas, idóneas para ser utilizadas en longitudes de onda que se encuentran en el rango de los milímetros (EHF), y que pudieran ser fácilmente implementadas en cualquier dispositivo. [3]

Una variante de las antenas microstrip convencionales son las microstrip de modelo resonante, que ofrecen algunas ventajas como por ejemplo un alto grado de versatilidad en su diseño para distintas aplicaciones en

comunicaciones inalámbricas, y cuyo efecto en los parámetros de dispersión, y patrón de radiación de la antena es todavía objeto de estudio. [4]

En este estudio se analiza el impacto del resonador en una antena microstrip, variando su forma geométrica, tamaño y material, para así identificar el efecto que tiene en los parámetros de dispersión: VSWR (característica propia de la antena que ayuda a determinar el nivel acople entre la línea de transmisión y la carga. [5]), patrón de radiación (indica la forma geométrica generadas por las ondas electromagnéticas, las cuales son radiadas al espacio) [6], S11 (expresa la relación entre la onda incidente y la onda reflejada generadas por la antena.) [7]

## II. DISEÑO DE LA ANTENA

En la presente investigación se valió de una antena microstrip la cual se compone de tres elementos: La línea microstrip, un sustrato y la tierra, la cual ha sido diseñada para operar en la frecuencia de 60 GHz. La tierra tiene forma de un paralelepípedo de base cuadrada de dimensiones: base = 5mm y altura = 0.254mm. El sustrato tiene la misma forma y es un elemento de resina de vidrio (FR4\_EPOXY) de dimensiones: base = 5mm y altura = 0.1mm. Finalmente, la línea microstrip tiene como dimensiones: largo = 3.08mm, ancho = 0.565mm y altura = 0.1mm. Sobre esta base se plantean distintos modelos de resonador en los que se varía tamaño, forma geométrica y material del mismo para generar los diferentes tipos de antenas a analizar. [8]

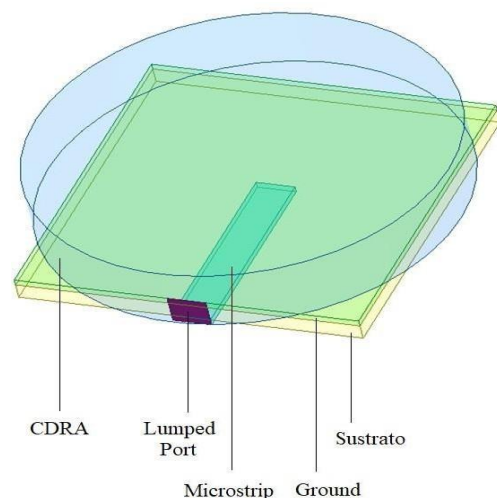


Figura 1. Antena resonante con dieléctrico cilíndrico. [8]

### III. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

Se diseñó la antena microstrip con diferentes variantes en el resonador, con el fin de identificar el comportamiento de la antena microstrip para cada variante del mismo; se analizó cada uno de los diseños con sus respectivos resultados, y se tomó especial importancia en la comparación de los parámetros de dispersión que cada simulación dio como resultado. Es decir, S11, VSWR y Ganancia.

#### A. Simulación de antena microstrip con variación en el tamaño del resonador.

En la tabla 1 se muestran los diseños correspondientes a la variación de tamaño del resonador.

Tabla 1. Dimensiones de las antenas resonantes.

	Largo [mm]	Ancho [mm]	Altura [mm]	Material
<b>Diseño (1)</b>				
Microstrip	3,08	0,565	0,1	Cobre
Sustrato	5,0	5,0	0,254	FR4_epoxy
Tierra	5,0	5,0	0,1	Cobre
Resonador	-	-	-	-
<b>Diseño (2)</b>				
Microstrip	3,08	0,565	0,1	Cobre
Sustrato	5,0	5,0	0,254	FR4_epoxy
Tierra	5,0	5,0	0,1	Cobre
Resonador	1,0	1,0	0,75	Be_O
<b>Diseño (3)</b>				
Microstrip	3,08	0,565	0,1	Cobre
Sustrato	5,0	5,0	0,254	FR4_epoxy
Tierra	5,0	5,0	0,1	Cobre
Resonador	2,5	2,5	0,75	Be_O
<b>Diseño (4)</b>				
Microstrip	3,08	0,565	0,1	Cobre
Sustrato	5,0	5,0	0,254	FR4_epoxy
Tierra	5,0	5,0	0,1	Cobre
Resonador	5,0	5,0	0,75	Be_O

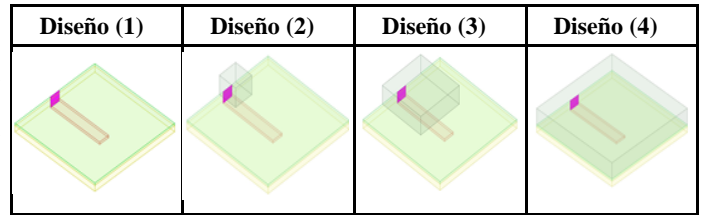


Figura 2. Diseños de antena microstrip con distintos tamaños del resonador.

Los valores de los parámetros de dispersión en una antena microstrip con resonador cuadrado variando las dimensiones del mismo se hacen evidentes en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de las simulaciones con variación en el tamaño del resonador.

Diseño #	Tipo de antena	Frecuencia (GHz)	S11 (dB)	VSWR (dB)	Ganancia máx (dB)	Material del resonador	Dimensiones del resonador
1	Microstrip sin resonador	60.0444	-20.7493	1.5981	2.3	-	-
2	Microstrip con resonador cuadrado	60.0444	-20.5776	1.6302	2.7	Be_O	L=1mm H=0.75mm
3	Microstrip con resonador cuadrado	60.0444	-21.6249	1.4441	2.92	Be_O	L=2.5mm H=0.75mm
4	Microstrip con resonador cuadrado	60.0444	-21.0946	1.5355	2.2	Be_O	L=5mm H=0.75mm

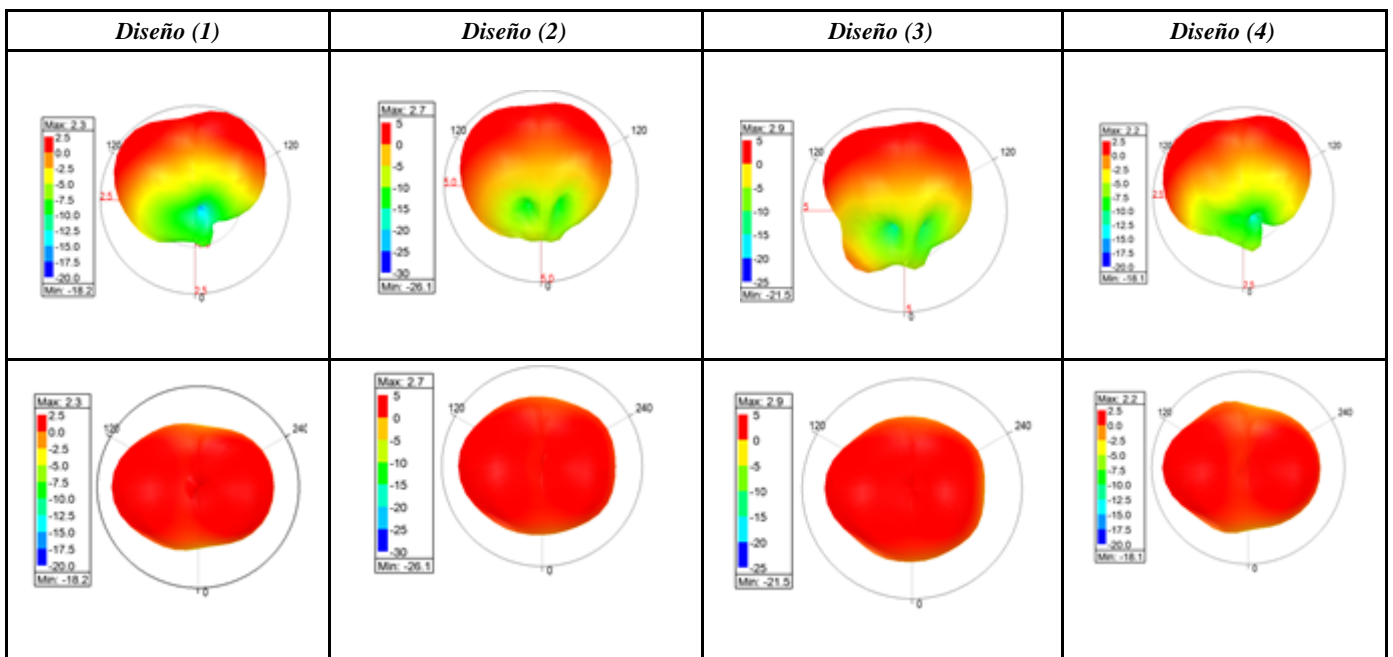


Figura 3. Simulación en HFSS del patrón de radiación (diseños 1-4)

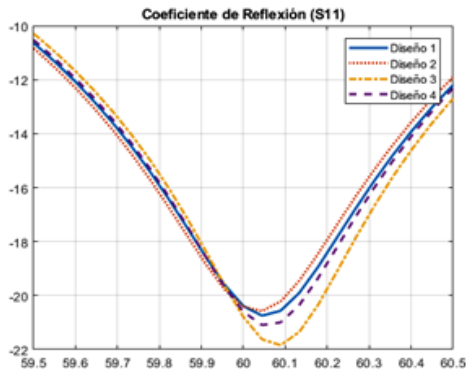


Figura 4. Parámetro de dispersión "S11" (diseños 1-4)

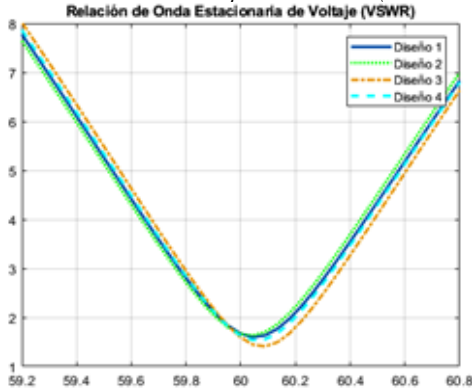


Figura 5. Parámetro de dispersión "VSWR" (diseños 1-4)

### B. Simulación de antena microstrip con variación en el material del resonador.

La tabla 3 muestra los diseños correspondientes a la variación del material del resonador.

Tabla 3. Materiales de las antenas resonantes.

	Largo [mm]	Ancho [mm]	Altura [mm]	Material
<b>Diseño (5)</b>				
Microstrip	3,08	0,565	0,1	Cobre ( $\epsilon_r = 1$ )
Sustrato	5,0	5,0	0,254	FR4_epoxy ( $\epsilon_r = 4.4$ )
Tierra	5,0	5,0	0,1	Cobre ( $\epsilon_r = 1$ )
Resonador	2,5	2,5	0,75	Be_O ( $\epsilon_r = 6.8$ )
<b>Diseño (6)</b>				
Microstrip	3,08	0,565	0,1	Cobre ( $\epsilon_r = 1$ )
Sustrato	5,0	5,0	0,254	FR4_epoxy ( $\epsilon_r = 4.4$ )
Tierra	5,0	5,0	0,1	Cobre ( $\epsilon_r = 1$ )
Resonador	2,5	2,5	0,75	Cobre ( $\epsilon_r = 1$ )
<b>Diseño (7)</b>				
Microstrip	3,08	0,565	0,1	Cobre ( $\epsilon_r = 1$ )
Sustrato	5,0	5,0	0,254	FR4_epoxy ( $\epsilon_r = 4.4$ )
Tierra	5,0	5,0	0,1	Cobre ( $\epsilon_r = 1$ )
Resonador	2,5	2,5	0,75	Oro ( $\epsilon_r = 1$ )
<b>Diseño (8)</b>				
Microstrip	3,08	0,565	0,1	Cobre ( $\epsilon_r = 1$ )
Sustrato	5,0	5,0	0,254	FR4_Epoxy( $\epsilon_r = 4.4$ )
Tierra	5,0	5,0	0,1	Cobre ( $\epsilon_r = 1$ )
Resonador	2,5	2,5	0,75	FR4_Epoxy ( $\epsilon_r=4.4$ )
<b>Diseño (9)</b>				
Microstrip	3,08	0,565	0,1	Cobre ( $\epsilon_r = 1$ )
Sustrato	5	5	0,254	FR4_epoxy ( $\epsilon_r = 4.4$ )
Tierra	5	5	0,1	Cobre ( $\epsilon_r = 1$ )
Resonador	2,5	2,5	0,75	Silicón ( $\epsilon_r = 11.9$ )

Los valores de los parámetros de dispersión en una antena microstrip con resonador cuadrado variando el material del mismo se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: (Resultados de las simulaciones con variación en el material del resonador)

Diseño #	Tipo de antena	frecuencia (GHz)	"S11" (dB)	VSWR" (dB)	Ganancia máx(dB)	Material del resonador	Dimensiones del resonador
5	Microstrip con resonador cuadrado	60.0889	-21.8422	1.4083	2.92	Be_O ( $\epsilon_r = 6.8$ )	L=2.5mm H=0.75mm
6	Microstrip con resonador cuadrado	60.0444	-20.4109	1.6620	2.7	Cobre ( $\epsilon_r = 1$ )	L=2.5mm H=0.75mm
7	Microstrip con resonador cuadrado	60.0889	-20.6638	1.5822	2.72	Oro ( $\epsilon_r = 1$ )	L=2.5mm H=0.75mm
8	Microstrip con resonador cuadrado	60.0889	-20.9968	1.5530	2.57	FR4_epoxy ( $\epsilon_r = 4.4$ )	L=2.5mm H=0.75mm
9	Microstrip con resonador cuadrado	60.0444	-20.5711	1.6314	2.6	Silicón ( $\epsilon_r=11.9$ )	L=2.5mm H=0.75mm

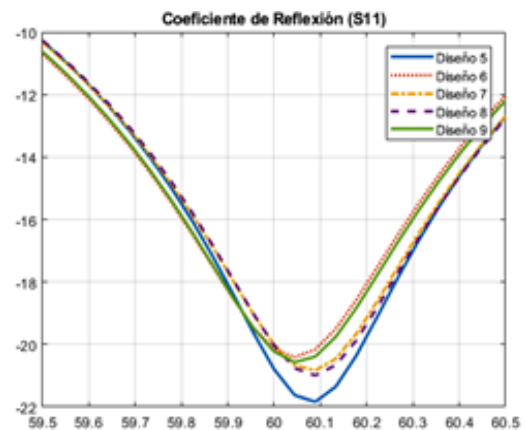


Figura 6. Parámetro de dispersión "S11" (diseños 5-9)

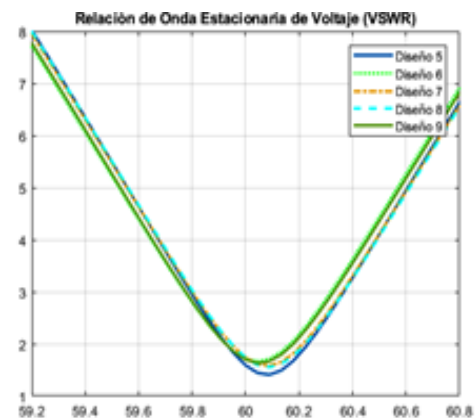


Figura 7. Parámetro de dispersión "VSWR" (diseños 5-9)

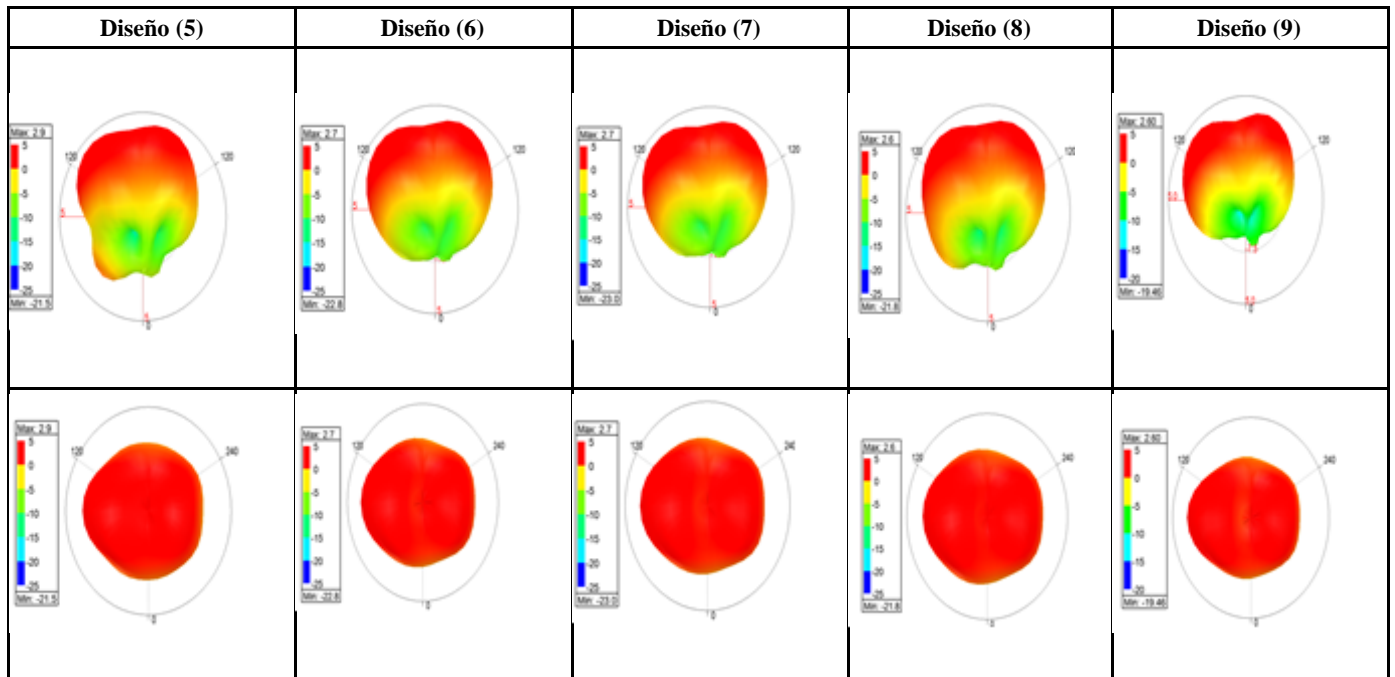


Figura 8. Patrón de radiación simulado en HFSS (diseños 5-9)

**C. Simulación de antena microstrip con variación en la forma geométrica del resonador.**

**Tabla 5.** Formas geométricas del resonador de las antenas.

Diseño de antena #	Tipo de antena	Material del resonador	Dimensiones del resonador
10	Microstrip con resonador cilíndrico	Be_O	R = 3mm H = 1mm
11	Microstrip con resonador cuadrado	Be_O	L=5mm H=1.1309mm
12	Microstrip con resonador triangular	Be_O	L=5mm H=0.95mm
13	Microstrip con resonador cónico	Be_O	R=3mm r=1mm H=1.1309mm

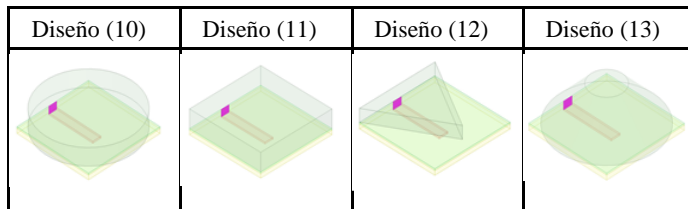


Figura 9. Diseños de antena microstrip con distintas formas geométricas del resonador.

En la tabla 6 son presentados los resultados simulados correspondientes a los valores de los parámetros de dispersión en una antena microstrip con resonador variando la forma geométrica del mismo.

**Tabla 6:** (Resultados de las simulaciones con variación en la forma del resonador)

Diseño #	Tipo de antena	Frecuencia (GHz)	S11 (dB)	“VSWR” (dB)	Ganancia máx (dB)	Material del resonador	Dimensiones del resonador
10	Microstrip con resonador cilíndrico	60.0444	-20.2197	1.5134	2.3	Be_O	R = 3mm H = 1mm
11	Microstrip con resonador cuadrado	60.0889	-21.7632	1.4212	1.9	Be_O	L=5mm H=1.13mm
12	Microstrip con resonador triangular	60.0000	-21.9154	1.5677	2.2	Be_O	L=5mm H=0.95mm
13	Microstrip con resonador cónico	60.0444	-20.9809	1.5558	2.55	Be_O	H=2mm R=3mm r=1mm

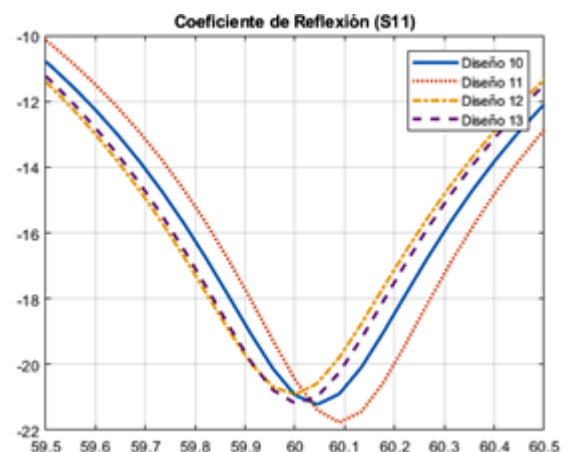


Figura 10. Parámetro de dispersión “S11” (diseños 10-13)

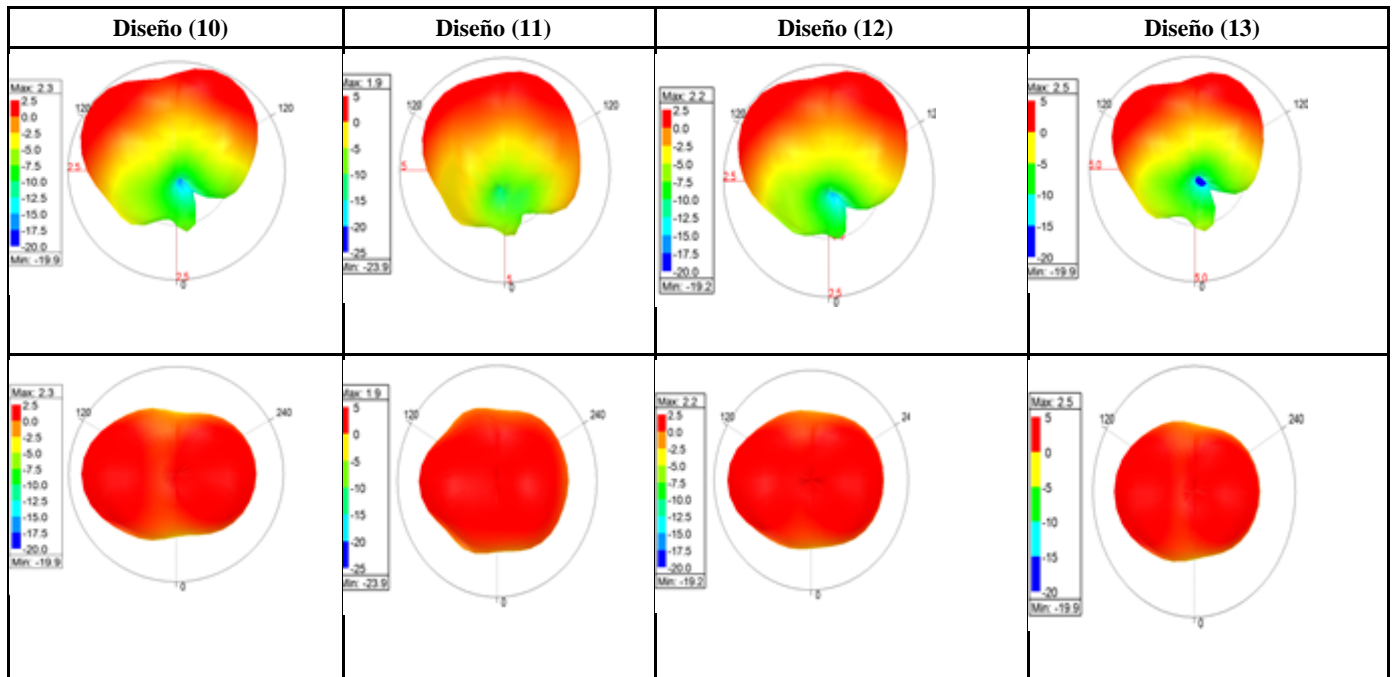


Figura 11. Patrón de radiación simulado en HFSS (diseños 10-13)

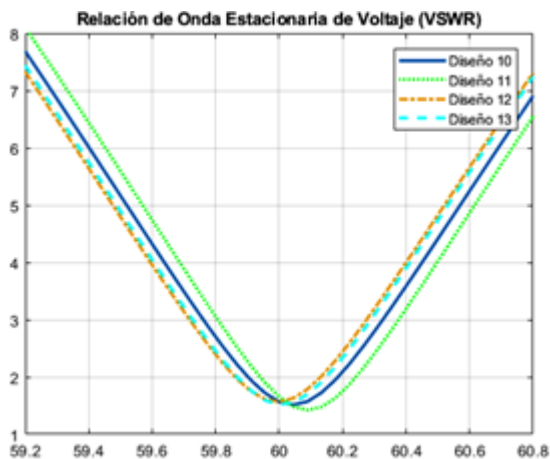


Figura 12. Parámetro de dispersión "VSWR" (diseños 10-13)

La antena microstrip con resonador cuadrado es la única de las formas analizadas que presenta un desplazamiento en el eje de frecuencias tanto para la curva de VSWR vs. Frecuencia como S11 vs. Frecuencia, donde el valor mínimo en ambos casos se obtiene en 60.0889GHz mientras que en las otras formas esto sucede en los 60.044GHz, es decir, la antena se aleja 44.5Mhz.

La forma geométrica del resonador genera diferentes valores en sus parámetros de dispersión, siendo la forma cónica aquella que presenta mayor nivel de ganancia, debido a sus características de diseño con acabados curvos, ya que se observa que las formas con acabados lineales tienden a desmejorar su nivel de ganancia máxima, pero aumenta la calidad del acople; en contraste con el resonador de forma cuadrada, el cual genera un menor nivel de ganancia. Sin embargo, su parámetro VSWR se aleja del acople ideal el cual se encuentra representado entre 1dB y 1.5dB.

A su vez, cuando el parámetro S11 tiende a acercarse a  $-20\text{dB}$  la relación de onda estacionaria de voltaje aumenta, de manera que el acople entre la antena y la línea de transmisión dista más de ser un acople ideal; a medida que el parámetro S11 disminuye, el acople mejora, ya que el parámetro VSWR se mantiene en el rango de 1dB a 1.5dB.

#### IV. ANÁLISIS

El parámetro S1,1 (coeficiente de reflexión), debe representar un valor en el cual la energía transmitida sea mayor a la energía que se refleja, se establece un límite de  $-20\text{dB}$  donde las antenas microstrip con valores de s1,1 menores a este umbral son considerados adecuados en términos de energía transmitida vs. reflejada. [9]

#### A. Análisis de parámetros de dispersión según el tamaño del resonador

A partir de los valores obtenidos en la tabla 4, se observa que en resonadores en los cuales la superficie de la tierra es cubierta en mayor porcentaje, no presentan una mejora en el rendimiento de la antena microstrip. De igual manera, cuando se utiliza resonadores que recubren una parte muy reducida de la superficie, el rendimiento de la antena también se ve afectado. Sin embargo, al cubrir la mayor parte de la microstrip pero no toda la superficie de la tierra, tanto la relación de onda estacionaria, como la ganancia de la antena se ven favorecidas notablemente, lo que se traduce en un mejor desempeño de la antena microstrip.

#### B. Análisis de parámetros de dispersión según el material del resonador

El resonador al ser un material dieléctrico proporciona mayor eficiencia de radiación, ya que, no existen pérdidas por conductividad [10].

En base a los valores mostrados en la tabla 4, se observa que la permitividad relativa de los materiales del resonador influye directamente en el funcionamiento de la antena, si bien se observa mejoría en los parámetros de dispersión proporcional al incremento del  $\epsilon_r$  del material, no existe una relación lineal; y a su vez, el incremento exagerado en la permitividad relativa origina valores de parámetros de dispersión menos eficientes.

Entre los materiales de resonador utilizados en la presente investigación, se observa que el funcionamiento de la antena tiene su punto de desempeño más eficiente cuando se simula el resonador cerámico, pero al cambiar a un resonador que supere este valor de  $\epsilon_r$ , el coeficiente de reflexión, VSWR y ganancia, se alejan de los valores óptimos, por ende, el funcionamiento de la antena desmejora.

#### C. Análisis de parámetros de dispersión según la forma geométrica del resonador

En resonadores con acabados curvos (cilíndrico, cónico) se obtiene una ganancia de la antena mayor, sin embargo, el parámetro de relación de onda también tiende a aumentar de manera que en este tipo de formas el resonador posee un peor acople, pero mayor ganancia. Mientras que en resonadores con acabados lineales (cuadrado y triangular) el parámetro VSWR se acerca a 1dB (acople ideal), pero dejan de tener ganancias significativas. Este efecto en la ganancia y relación de onda estacionaria se incrementa en función del número de lados, o vértices en la forma del resonador.



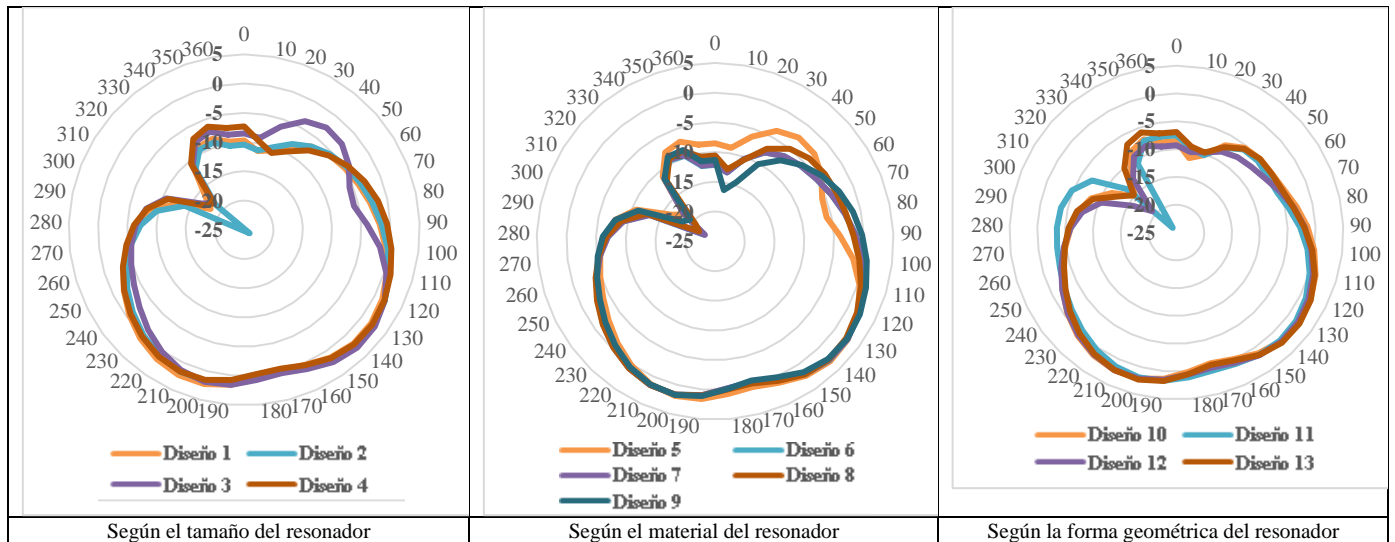


Figura 13. Lóbulos de radiación de los diseños 1-13

#### D. Análisis de patrones de radiación

La representación gráfica de la forma en que los distintos diseños simulados emiten radiación son mostrados en figura 13. Los lóbulos de cada uno de los patrones de radiación comprenden las regiones donde la ganancia llega a ser mayor -3dB.

Se hace evidente en la totalidad de los casos, que los patrones de radiación obtenidos en la simulación presentan formas similares, es decir, llegan a su mayor valor de ganancia alrededor de 140°, y su mínimo valor en 310°.

Además, los diseños 3 y 5 son los únicos que presentan un lóbulo adicional cercano a los 40° a diferencia de todos los demás modelos simulados.

#### V. CONCLUSIONES

El modelo de antena microstrip sin resonador (diseño 1) presentó un coeficiente de reflexión de  $-20.7493\text{dB}$  y relación de onda estacionaria de  $1.5981\text{dB}$ , para un valor de frecuencia de  $60.0444\text{ Ghz}$ . Sin embargo, al incorporar un resonador como el correspondiente al diseño 3 (el que presenta en general el mejor desempeño de todos los modelos simulados), se puede observar una mejora del  $4.049\%$  en el coeficiente de reflexión (S11), un  $10.66\%$  en la relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR), y una ganancia  $21.233\%$  mayor. De esta manera queda en claro que el incorporar un resonador sobre el plano de la tierra en una antena microstrip permite mejorar los parámetros de dispersión y ofrece un alto grado de versatilidad al tener la capacidad de modificar la forma, tamaño y material de dicho elemento resonante.

La permitividad relativa de cada material afecta positiva o negativamente al rendimiento de la antena, y de acuerdo a las simulaciones se observa una relación proporcional al elevar el  $\epsilon_r$  del material, sin embargo, ésta no tiene un comportamiento lineal para todos los valores de permitividad, pues llega a empeorar si se excede un cierto punto del  $\epsilon_r$ , esto se da ya que, si la permitividad relativa del material tiende al infinito, o en otras palabras se la incrementa demasiado, dicha variable se vuelve independiente a los parámetros de dispersión, es decir, deja de influir directamente en el funcionamiento de la antena microstrip.

#### VI. REFERENCIAS

[1] González, J., & Salamanca, O. (2016). El camino hacia la tecnología 5G. Revista Electrónica de Estudios Telemáticos Telematique, Edición No1. <http://www.telematiquejournal.com/index.php/th/article/download/223/225>

[2] Hoidrobo, J., (2013). Antenas de telecomunicaciones. Revista ACTA [https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/020001.pdf](https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/020001.pdf)

[3] Hernández, R., (2008). Diseño, simulación y construcción de antenas tipo parche para bluetooth y WI-FI, bandas 2.4 ghz y 5.8 ghz. Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica. Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/hernandez\\_a\\_r/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_a_r/)

[4] Petosa A. (2007) Dielectric Resonator Antenna Handbook Capítulo 1. Introduction to Dielectric Resonator Antennas pp. 3

[5] Vaca, J., (2017). Diseño y Medición de una Antena Wearable, Cap1. Fundamentos. Quito - Ecuador, <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17422>

[6] Tellez C., (2019). Diseño y simulación de una antena microstrip de rango de operación de super altas frecuencia (3.5 ghz a 6 ghz) para la evaluación de la tasa de absorción específica en tejidos humanos. Capítulo 2. Marco referencial. Bogotá - Colombia <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23934/1/T.Grado%20Brayan%20Estevens%20Barrera.pdf>.

[7] Mohammed E., (2016). Diseño y Medición de una Antena Wearable. Capitulo 2 Parámetros característicos, pp.17 [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/106668/mohamed.el.bouchti\\_119201.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/106668/mohamed.el.bouchti_119201.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[8] Bustamante, B., & Tates, S., (2020). Diseño de una antena modelo resonante para banda de onda milimétrica mediante el análisis de parámetros de dispersión.

[9] Bosca A., (2011) Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz. Gandía - España <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11028/Trabajo%20Final%20Carrera.pdf?sequence=1&fbclid=IwAR3cVurJdMeHJrS0nZkxQ-ukjuIhtAQIFt77S3WHLlyDdG4w8wZ15Lcfpo>

[10] Lai O., Almpanis G., Fumeaux C., Benedickter H., Vahldieck R. (2008). Comparison of the Radiation Efficiency for the Dielectric Resonator Antenna and the Microstrip Antenna at KaBand <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/4685919>