



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**COMPARACIÓN DE UNA ANTENA DIPOLO DOBLADA DE HILOS VS UNA
ANTENA DIPOLO DOBLADA SOBRE UNA PLACA CON 2 SUSTRATOS
DIFERENTES**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Telecomunicaciones**

AUTORES: ALEXANDER PATRICIO CAMPO GUERRA

KEVIN RODNEY HERRERA OLALLA

TUTOR: LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN

Quito-Ecuador 2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Alexander Patricio Campo Guerra con documento de identificación N°1723479620 y Kevin Rodney Herrera Olalla con documento de identificación N°1208149656; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 4 de agosto del año 2023

Atentamente,



Alexander Patricio Campo Guerra

1723479620



Kevin Rodney Herrera Olalla

1208149656

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Alexander Patricio Campo Guerra con documento de identificación N° 1723479620, y Kevin Rodney Herrera Olalla con documento de identificación No. 1208149656, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del artículo académico: “Comparación de una antena dipolo doblada de hilos vs una antena dipolo doblada sobre placa con 2 sustratos diferentes”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 4 de agosto del año 2023

Atentamente,



Alexander Patricio Campo Guerra

1723479620



Kevin Rodney Herrera Olalla

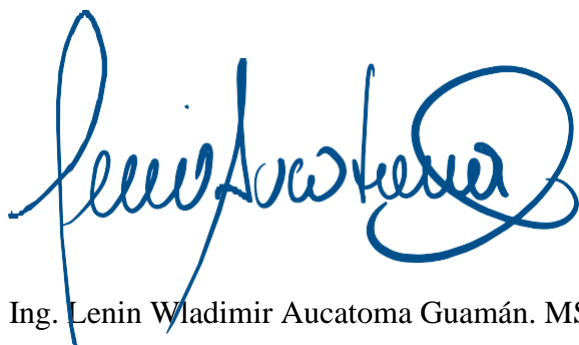
1208149656

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Lenin Wladimir Aucatoma Guamán con documento de identificación N° 1717985830, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: COMPARACIÓN DE UNA ANTENA DIPOLO DOBLADA DE HILOS VS UNA ANTENA DIPOLO DOBLADA SOBRE PLACA CON 2 SUSTRATOS DIFERENTES, realizado por Alexander Patricio Campo Guerra con documento de identificación N° 1723479620, y Kevin Rodney Herrera Olalla con documento de identificación No. 1208149656, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 4 de agosto del año 2023

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán. MSc.

1717985830

DEDICATORIA

En primer lugar, el presente artículo se lo dedico a DIOS quien siempre ha estado a mi lado guiándome en todo este proceso de aprendizaje. Y al motor fundamental por el cual mi vida tomó un rumbo que son mis padres Patricio Campo y Margarita Guerra por ser los mejores padres que la vida me ha dado, quienes, con su paciencia, comprensión y amor me han permitido llegar a ser una persona que lucha por sus sueños por más difíciles que sea, a mis queridos amigos Jhonatan Toscano, Isaí Güillín, Camila Cevallos, Johan Ortíz, Josué Escobar, Mishell Pinzón, Emily Guamba, quienes siempre han estado junto a mi alentándome, y en general a toda mi familia quienes estuvieron en los buenos y malos momentos brindándome su ayuda permitiéndome el poder culminar con mis estudios, gracias a todos.

Alexander Patricio Campo Guerra

A mis amados padres, Priscila Olalla e Iván Espinoza, y a mi querida familia, su amor, paciencia y apoyo incondicional han sido fundamentales en mi camino. Este logro es también suyo, gracias por creer en mí y por ser mi fuente de inspiración constante. Les dedico este éxito con todo mi cariño.

Kevin Rodney Herrera Olalla

AGRADECIMIENTO

El presente artículo le damos gracias a DIOS quien siempre ha caminado a nuestro lado en cada momento de nuestra existencia, dándonos fuerza para ponernos de pie y afrontar los obstáculos que se encuentren en nuestro camino.

A mis padres amados PATRICIO CAMPO QUILUMBANGO y MARIA MARGARITA GUERRA FARINANGO por su esfuerzo diario realizado para que yo pueda llegar hasta aquí y por enseñarme los valores; por su apoyo incondicional como padres que, sin duda alguna, este logro es por ellos y para ellos.

A mi amigo y compañero Kevin Herrera por brindarme su apoyo incondicional y que desde su experiencia adquirida me compartió sus conocimientos cuando la carrera se tornaba difícil.

Mi agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana, por permitirme culminar una de las metas más importantes en mi vida y en una hermosa carrera.

Gracias sinceras a todos.

Alexander Patricio Campo Guerra

A mis queridos padres, Priscila Olalla e Iván Espinoza, y a mi amada familia, también agradecer a la Ing. Adriana Riofrío por la ayuda prestada al inicio y fin de este trabajo.

Kevin Rodney Herrera Olalla

Comparación de una antena dipolo doblada de hilos vs una antena dipolo doblada sobre placa con 2 sustratos diferentes

1st Campo Guerra Alexander Patricio
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
acampog@est.ups.edu.ec

2nd Herrera Olalla Kevin Rodney
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
kherrerao@est.ups.edu.ec

3rd Aucatoma Guamán Lenin Wladimir
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
laucatoma@est.ups.edu.ec

Resumen—En la presente investigación se lleva a cabo una comparación entre dos variantes de antenas dipolo: una antena dipolo doblada de hilos y una antena dipolo doblada sobre placa con dos sustratos diferentes. El objetivo de este estudio es analizar y comparar el rendimiento de estas dos configuraciones de antenas en términos de S11, VSWR, y patrón de radiación. Para lograrlo, se utilizarán métodos de simulación en el software ANSYS HFSS, donde analizarán los parámetros de dispersión de estas antenas en la frecuencia de resonancia de 6 GHz, se propone evidenciar la influencia de los sustratos (conductores y dieléctricos), y las consecuencias de sus efectos en las antenas propuestas. Se determinó que la antena dipolo sobre la placa microstrip ofrece mejores prestaciones a nivel de parámetros objetivo, en comparación del dipolo doblado de hilos, ya que sus valores de S (1,1) es de -37.4668 y el VSWR es de 1.0271, estos datos son los más destacables en cada simulación a comparación de la antena dipolo doblado de hilos que tiene como resultado S (1,1) de -34.8782 y VSWR de 1.0367.

Palabras Clave—Antena Dipolo, Microstrip, S11, VSWR, Frecuencia.

Abstract— In the present investigation, a comparison is carried out between two variants of dipole antennas: a folded wire dipole antenna and a plate folded dipole antenna with two different substrates. The objective of this study is to analyze and compare the performance of these two antenna configurations in terms of S11, VSWR and radiation pattern. To achieve this, simulation methods will be used in the ANSYS HFSS software. Where it will analyze the dispersion parameters of these antennas at a certain resonant frequency of 6 GHz, it is proposed to demonstrate the influence of the substrates (conductors and dielectrics) and the consequences of their designs on the proposed antennas. It is determined that the dipole antenna on the microstrip plate offers a higher benefit of objective parameters compared to the folded wire dipole, since its values of S (1,1) is -37.4668 and the VSWR is 1.0271, these data are the most remarkable in each simulation compared to the doubled dipole wire antenna that results in S (1.1) of -34.8782 and VSWR of 1.0367.

Keywords—Dipole Antenna, Microstrip, S11, VSWR, Frequency.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto de las comunicaciones inalámbricas de alta frecuencia, el uso de bandas de ondas milimétricas ha ganado relevancia debido a su amplio ancho de banda disponible. En este sentido, los arreglos de antenas juegan un papel crucial para lograr un mayor rendimiento y eficiencia del sistema. Entre los arreglos más estudiados se encuentran los arreglos de antenas dipolo y dipolo doblada, los cuales presentan características distintas en términos de directividad, ganancia, ancho de banda y radiación. Estudios similares buscan solucionar la inquietud de sistemas radiantes a muy altas frecuencias, es así que como se indica en [1], los parámetros clave de análisis serían el coeficiente de reflexión, VSWR, la ganancia, directividad, ancho de banda y eficiencia de radiación de ambos arreglos.

La evolución de las comunicaciones móviles ha sido impresionante con 5G [2] y la próxima generación 6G. [3] 5G ha mejorado la velocidad, capacidad y latencia, permitiendo aplicaciones como IoT y realidad virtual. 6G promete velocidades ultra altas, baja latencia y capacidad masiva, impulsando aún más la innovación en comunicaciones inalámbricas [4].

Las antenas dipolo plegadas a altas frecuencias son ampliamente utilizadas en sistemas de comunicación inalámbrica y aplicaciones de radar. Estas antenas ofrecen ventajas significativas en términos de rendimiento y tamaño compacto. [5] Al plegar el dipolo, se logra una mayor directividad y eficiencia en comparación con un dipolo convencional. Además, la estructura plegada permite la adaptación a diferentes frecuencias, lo que hace que estas antenas sean versátiles y adecuadas para diversas aplicaciones, por tal motivo en este artículo se revisan los principios de diseño, las características y las aplicaciones de las antenas dipolo plegadas a altas frecuencias (6 GHz).

El creciente interés en las aplicaciones de banda de ondas milimétricas por los amplios anchos de banda desafía la construcción de sistemas radiantes que se acoplen de buena

manera a dichas frecuencias. En [6], se llevó a cabo una comparación detallada entre una antena dipolo convencional y una antena de dos dipolos en la banda de ondas milimétricas, donde se obtuvo que la antena dipolo doble tiene mejores características que el dipolo convencional; dando como resultado un valor de S11 -23.01 dB para la antena dipolo doble y -21.40 dB para el dipolo simple lo que corresponde a un 7% en la mejora del coeficiente de reflexión.

En [7], se llevó a cabo un estudio detallado sobre el diseño y análisis comparativo de los parámetros de una antena dipolo de media onda operando en la banda de onda milimétrica de 26 GHz. El enfoque principal del estudio se centra en la modificación de los parámetros dimensionales y los materiales conductores utilizados para sintonizar la antena a las frecuencias de resonancia deseadas. Se evidenció la necesidad de ajustar los valores dimensionales modelados matemáticamente en este caso la variación del radio del dipolo existiendo un desfase mayor al 700% de aumento, donde mejoró el ancho de banda en 3.21% y disminuyó el VSWR en un 63%.

En este trabajo se busca identificar el impacto en el S11 y VSWR con la variación de sustratos en la simulación de la antena dipolo doblado y antena dipolo doblado impreso sobre placa microstrip, con esta variación, se pretenden identificar los sustratos adecuados para la obtención de resultados óptimos en cada antena.

II. DISEÑO DE LAS ANTENAS

En la figura 1 y 2 se muestran respectivamente una antena dipolo doblada impresa en sustrato y una antena dipolo doblada de hilos. Dichas antenas van a trabajar sintonizadas a una frecuencia de 6 GHz, donde se utilizarán materiales como cobre y aluminio en los módulos del conductor, y material Fr4- epoxy, Polyester y vidrio como dieléctrico. El diseño fue realizado con ayuda del software ANSYS HFSS, con el cual se obtuvieron los valores de los parámetros de S11, VSWR y patrón de radiación.

La forma de la antena dipolo doblado se mantiene en todas las simulaciones, solo existe una pequeña variación que radica en el caso del dipolo doblado, en la longitud de resonancia (L), y en el dipolo doblado sobre placa microstrip, en la línea de transmisión (LTx), como se observará en las tablas 4, 5 y 6.

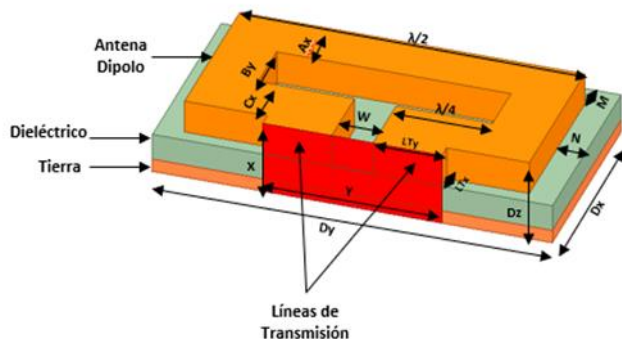


Figura 1. Diseño de la Antena Microstrip Sintonizada en 6 GHz.

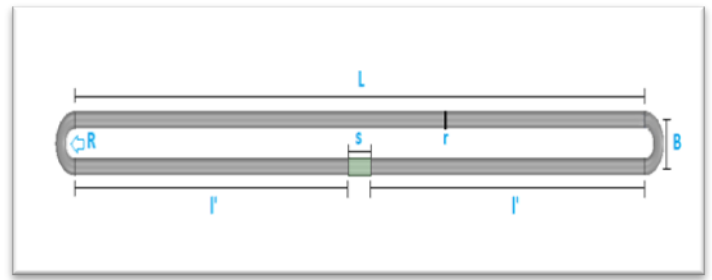


Figura 2. Diseño propuesto de la Antena Dipolo Doblada.

Para el modelamiento de estas dos antenas en la misma banda de frecuencia de 6 GHz, se utilizaron 2 materiales conductores y 3 sustratos dieléctricos que se detallan en la tabla 1.

Donde:

- ✓ c = Velocidad de la luz 3×10^8 [m/s].
- ✓ E_r = Permitividad relativa.
- ✓ F = frecuencia de resonancia [GHz].

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES		UNIDAD	
CONDUCTOR	COBRE		
	Impedancia Característica	50	Ω
	Permitividad Relativa	1	-
	Permeabilidad Relativa	0.999991	-
	Conductividad del Material	58000000	siemens/m
	ALUMINIO		
	Impedancia Características	50	Ω
Permitividad Relativa	1	-	
Permeabilidad Relativa	1.000021	-	
Conductividad del Material	38000000		
DIELÉCTRICO	FR4-EPOXY		
	Permitividad Relativa	4.4	-
	Permeabilidad Relativa	1	-
	Tangente de Pérdida	0.2	H/m
	VIDRIO (GLASS)		
	Permitividad Relativa	5.5	-
	Permeabilidad Relativa	1	-
	Tangente de Pérdida	0	-
	POLYESTER		
	Permitividad Relativa	3.2	-
Permeabilidad Relativa	1	-	
Tangente de Pérdida	0.003	H/m	

Tabla 1. Característica de los materiales utilizados

Para el diseño de la antena dipolo doblado con impedancia característica de 73Ω y la antena dipolo doblado sobre placa microstrip con impedancia característica de 50Ω , ambas en la misma frecuencia de 6 GHz, se aplicaron las ecuaciones descritas en (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) y (8), para la antena dipolo doblado de hilos; y, se aplicaron las ecuaciones (9), (10), (11) y (12) para antena dipolo doblado sobre sustrato [8] [9].

Dipolo doblado de hilos**Lambda**

$$\lambda = \frac{c}{F} \quad (1)$$

Longitud de antena

$$L = \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

Longitud de los dipolos doblados

$$l' = \frac{\lambda}{4} - \frac{S}{2} \quad (3)$$

Radio de la antena

$$R = \frac{B}{2} \quad (4)$$

Tamaño de la fuente

$$S = 0,02 * \lambda \quad (5)$$

Separación de los dipolos

$$B = 0,05 * L \quad (6)$$

Radio del brazo

$$r = \frac{\lambda}{120} \quad (7)$$

Dipolo doblado sobre placa microstrip**Ancho del elemento radiante**

$$Dy = \frac{C}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (8)$$

Constante dieléctrica efectiva

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 10 \frac{Dz}{Dy}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Extensión de longitud

$$LTx = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{Dz}{Dy} + 0.246\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{Dz}{Dy} + 0.8\right)} \quad (10)$$

Longitud Efectiva del elemento conductor

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (11)$$

Longitud del elemento radiante

$$B_x = L_{eff} - 2LTx \quad (12)$$

En las tablas 2 y 3 se visualizan los dos modelos de antenas para la frecuencia propuesta, donde se evidencian dos valores, el primero, obtenido a raíz del cálculo de dimensiones con uso de las fórmulas, que al no tener resultados cercanos a los objetivos de investigación de nivel de parámetros S11 y VSWR, tuvieron que ser ajustados, y son presentados como los modelos finales para la frecuencia de trabajo requerida.

Antena dipolo doblado de hilos							
Valores matemáticos		Valores Ajustados					
Material	T. O	Cobre			Aluminio		
Dieléctrico	FR4-EPOXY	FR4-EPOXY	VIDRIO	POLYESTER	FR4-EPOXY	VIDRIO	POLYESTER
F [GHz]	6	6	6	6	6	6	6
l' [mm]	12	10.3225	10.3475	10.3225	10.3475	10.3475	10.725
L [mm]	25	21.475	21.525	21.475	21.525	21.525	21.45
S [mm]	1	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
r [mm]	0.4166	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
R [mm]	0.625	0.5368	0.538125	0.535625	0.5381	0.5381	0.53625
B [mm]	1.25	1.0737	1.0762	1.07125	1.0762	1.0762	1.0725

Tabla 2. Valores teóricos y de ajuste del dipolo doblado de hilos.

Antena Dipolo sobre placa Microstrip														
Valores Matemáticos			Valores de Ajuste											
Componentes	Parámetros [mm]	Valores Teóricos Generales	Cobre Con Tierra			Aluminio Con Tierra			Cobre Sin Tierra			Aluminio Sin Tierra		
			FR4-Epoxy [mm]	Vidrio [mm]	Polyester [mm]	FR4-Epoxy [mm]	Vidrio [mm]	Polyester [mm]	FR4-Epoxy [mm]	Vidrio [mm]	Polyester [mm]	FR4-Epoxy [mm]	Vidrio [mm]	Polyester [mm]
Línea de Tx	LTx	0,5	1	1	2	4	3	2	0,5	6,6	0,4	0,3	0,4	0,3
	LTy	0,5	2	6	3,5	9,3	6	5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3
Antena	Ax	0,5	6	6,5	7	0,5	6	11	0,75	0,42	0,4	0,3	0,4	0,5
	By	0,5	6	7	7	0,5	5,5	5,8	1,55	2,75	0,4	0,3	0,4	0,5
	Cx	0,5	6	6,5	7	0,5	6	11	0,75	2,75	0,4	0,5	0,4	0,5
	Bx	0,5	5	2	1,59	0,9	3,7	4,1	0,5	0,5	0,4	0,3	1	0,5
	W	0,5	0,4	2	0,6	0,4	2,5	3	0,5	0,5	0,4	0,5	1	0,4
Dieléctrico	Dx	2,5	18,5	19	18,59	6,4	20,7	30,1	3	10,7	2	1,7	2,8	2,3
	Dy	26	24,26	31	30,3	26	27,53	31,89	22,55	20,2	22,65	22,45	22,21	22,46
	Dz	0,5	1	1,5	1,6	0,5	1,9	2	0,089	0,5	0,3	0,3	0,4	0,5
	M	0,5	0,5	3	1	0,5	2	2	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5
	N	0,5	0,5	3	1	0,5	2	2	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5
Fuente	Y	0,5	4,4	14	7,6	19	14,5	13	1,5	1,5	1,2	1,1	1,8	1
	Z	0,5	2	4	6,1	4,6	4,9	4	0,589	1	0,6	0,6	0,8	1
Tierra	Tz	0,5	0,5	0,5	1,5	0,5	1	1						

Tabla 3. Valores de ajuste de antena dipolo doblada sobre placa microstrip, con cobre y aluminio, y, con y sin tierra.

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los objetivos de diseño de las antenas buscaron obtener un S [1,1] menor a -10 dB, y un VSWR entre 1 y 1,5. Cabe recalcar que en el caso de la antena dipolo doblada, se requiere una impedancia 4 veces que la del dipolo normal de media onda, para lo cual se llevó a cabo un barrido de posibles dimensiones de ajuste en la banda de 6GHz, con la ayuda del software, tanto para la antena dipolo doblada de hilo y antena dipolo dobladas sobre placa microstrip [10].

III-a Coeficiente de Reflexión o Parámetro S11

En la Figura 3, se muestran los coeficientes de reflexión de todos los modelos, con diferentes materiales conductores y aislantes, donde se reflejan los valores calculados matemática y finalmente valores de ajuste, de estos, se ha seleccionado los mejores a comparar para los parámetros requeridos.

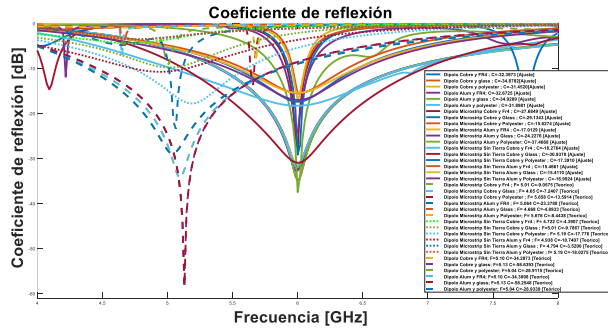


Fig. 3 Coeficientes de reflexión con cada material simulado

En la figura 4, se muestran los resultados obtenidos para diferentes materiales conductores eléctricos y aislantes utilizados en antenas a una frecuencia de 6 GHz. Donde los mejores resultados se obtuvieron con conductores de cobre y aluminio y aislantes de vidrio y poliéster. Se detallan los valores teóricos y de ajuste, y se obtuvo un coeficiente de reflexión e de -34.8782dB para la antena dipolo simulada en conductor de cobre y aislante de vidrio; para la antena dipolo doblada sobre placa microstrip, hecha de conductor de aluminio y aislante de poliéster, se observó un valor de coeficiente de reflexión de -37.4668 dB. La antena dipolo doblada sobre placa microstrip mostró mejores resultados de un 6.91% aproximadamente a nivel de S11 que la otra antena debido a la proximidad de la placa al sustrato.

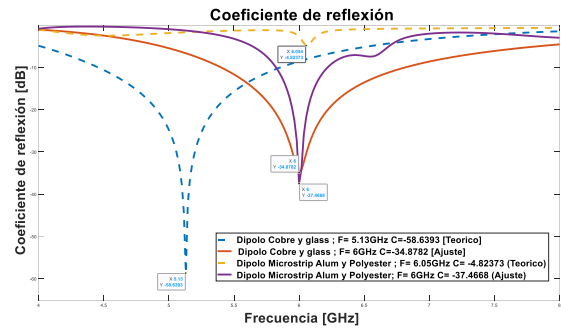


Fig. 4 Coeficientes de reflexión con frecuencia de valores teóricos, valores de ajuste y con diferentes materiales.

La placa microstrip de la antena se coloca muy cerca del sustrato, lo que mejora el acoplamiento entre la antena y el sustrato, ya que el diseño de la placa microstrip permite una mejor coincidencia de impedancia entre la antena y la línea de transmisión. La coincidencia de impedancia minimiza los reflejos y maximiza la transferencia de energía.

El uso del conductor eléctrico de cobre y aislante de vidrio contribuye a una mejora promedio de los resultados del 22.23% en general de la antena con respecto a este parámetro. El ajuste que influyó en la mejora del rendimiento de la antena fue la línea de transmisión con un ajuste aproximado del 600% partiendo del valor teórico que se muestra en la Tabla 3.

En este caso, el vidrio tiene una permitividad relativa de 5.5 y el poliéster tiene una permitividad relativa de 3.2. Cuanto mayor sea la permitividad relativa, mayor será la capacidad de almacenamiento de energía en el aislante, pero también puede aumentar las pérdidas dieléctricas. Por lo tanto, lo que se observó en la simulación fue que la antena con aislante de vidrio tuvo una mayor capacidad de almacenamiento de energía, pero también puede experimentar mayores pérdidas dieléctricas en comparación con la antena con aislante de poliéster.

III-b Relación de onda estacionaria VSWR

En la figura 5 se muestran todos los resultados obtenidos a nivel de VSWR para todos los modelos simulados, de los cuales se eligieron los 2 mejores para cada caso VSWR, buscando siempre mantener el margen de VSWR entre 1 y 2 como máximo [11].

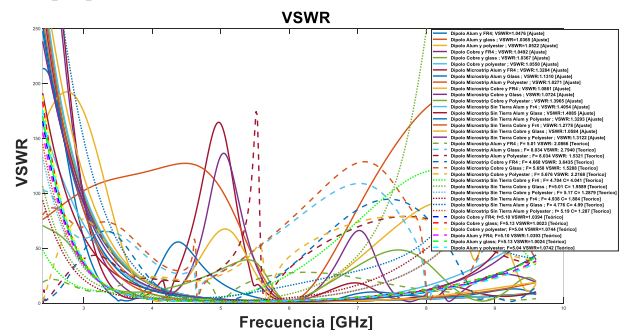


Fig. 5 Relación de onda milimétrica con valores de ajuste, valores matemáticos y con diferentes materiales.

Para sintonizar las frecuencias y obtener los valores necesarios en la comparación de las antenas dipolo doblada de hilos y antenas dipolo doblada sobre placa microstrip, se realizaron modificaciones en varios parámetros. Estas modificaciones incluyeron:

Altura y largo: Se aumentó la altura en un 300% y el largo en el caso de la antena dipolo doblada sobre placa microstrip. Estos ajustes permitieron optimizar la resonancia de la antena a la frecuencia deseada de 6 GHz. Al aumentar un 300% se llegó a ajustar la distribución de corriente y el patrón de radiación de la antena, así permitiendo una mejor adaptación a la frecuencia de 6GHz, por lo tanto, se logra el rendimiento en términos de ganancia y directividad.

Longitud de los sustratos y la tierra: Se redujo la longitud de los sustratos en 460.88%, se reducen las pérdidas dieléctricas y las reflexiones no deseadas, lo que contribuye a una mejora en la eficiencia y la calidad de la señal transmitida. Por otro lado, la longitud de tierra se redujo en un 50%, por lo que esta modificación ayudó a mejorar la adaptación de la antena a la línea de transmisión y redujo las pérdidas de señal.

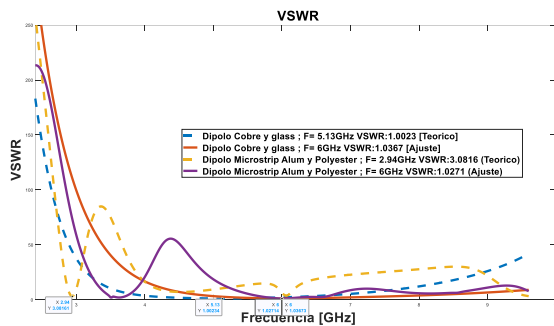


Fig. 6 Relación de onda milimétrica de valores teóricos, valores de ajuste y con diferentes materiales.

En la figura 6, se evidencian los resultados de VSWR, donde el mejor valor de la onda estacionaria corresponde a la antena dipolo doblada sobre placa microstrip con una mejora del 0.93%.

Dipolo doblado de hilos [Ajuste]						
Material	Cobre			Aluminio		
Dieléctrico	FR4-EPOXY	VIDRIO	POLYESTER	FR4-EPOXY	VIDRIO	POLYESTER
S (1,1)	-32.397	-34.878	-31.4520	-32.6725	-34.9289	-31.8981
VSWR	1.0492	1.0367	1.0550	1.0476	1.0365	1.0522

Tabla 4. Valores S11 y VSWR de ajuste de antena dipolo doblada de hilos.

Antena Dipolo Doblada Sobre Placa Microstrip [Ajuste]						
Con Tierra						
Material	Cobre			Aluminio		
Dieléctrico	FR4-EPOXY	VIDRIO	POLYESTER	FR4-EPOXY	VIDRIO	POLYESTER
S (1,1)	-27.684	-29.134	-15.6274	-17.012	-24.227	-37.466
VSWR	1.0861	1.0724	1.3965	1.3284	1.131	1.0271

Sin Tierra						
Material	Cobre			Aluminio		
Dieléctrico	FR4-EPOXY	VIDRIO	POLYESTER	FR4-EPOXY	VIDRIO	POLYESTER
S (1,1)	-18.276	-30.937	-17.391	-15.466	-15.411	-16.9924
VSWR	1.2278	1.0584	1.3122	1.4054	1.4085	1.3293

Tabla. 5 valores S11 y VSWR de ajuste de antena dipolo doblada sobre placa microstrip.

En la simulación, se realizaron un total de 18 diseños de antenas, donde se desarrollaron 6 antenas dipolos dobladas de hilos incluyendo 6 antenas dipolos dobladas sobre placa microstrip con tierra y 6 diseños sin tierra. Se utilizaron diferentes materiales, como se muestra en las tablas 4 y 5. Todas las antenas fueron sintonizadas a una frecuencia de 6 GHz y para cada caso se lograron los valores objetivo tanto para VSWR como para S11.

III-c Patrón de Radiación

En la figura 7, se observa una comparativa con respecto a los patrones de radiación teóricos versus el patrón de radiación ajustado, donde se puede observar que se logra una mejor disposición del lóbulo principal logrando un patrón de radiación sectorial en el mejor modelo con base microstrip, y una mejora a nivel de ancho de lóbulo para el modelo de antena de hilos.

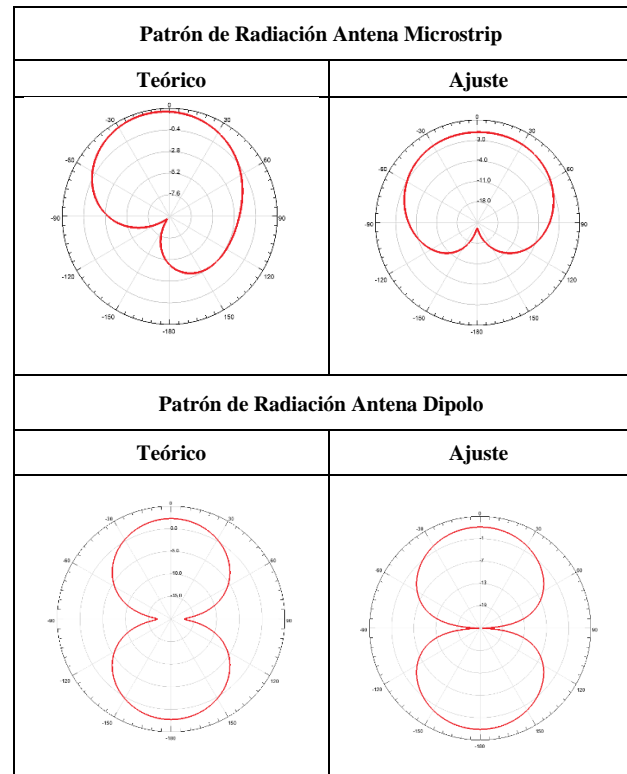


Fig. 7 Patrón de Radiación en 2D de la antena dipolo doblada y de la antena dipolo doblada sobre placa microstrip.

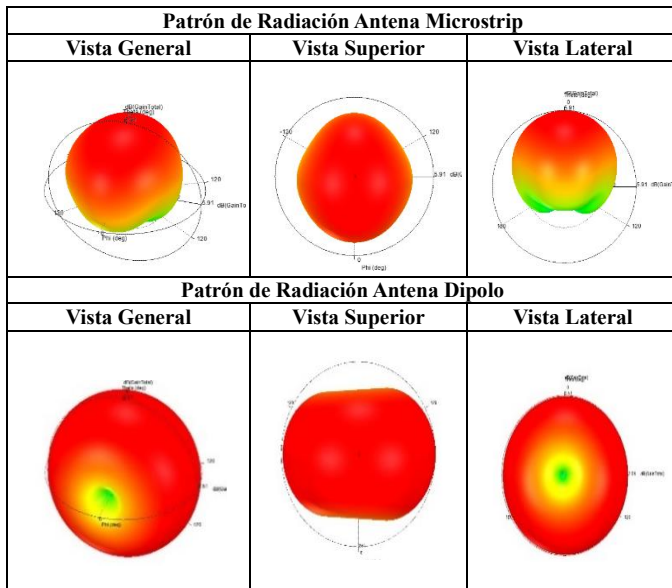


Fig.8 Comparación, mejoras de las ganancias teóricas y de ajuste de las antenas.

Como se observa en la figura 9, para el caso de la antena con base microstrip, se forma un patrón de radiación sectorial debido a la influencia de la base dieléctrica y la tierra adscritas al modelo, en cambio en el caso de la antena de hilos, se observa que se mantiene la omnidireccionalidad en cada caso.

Antenas	Ganancia [Teórica]	Ganancia [Ajuste]	Diferencia
Dipolo doblado de hilos	2.86 dB	2.51 dB	-12.23%
Dipolo doblado sobre placa microstrip	3 dB	5.91 dB	97%
Mejora / Diferencia	4.67%	57.53%	112.60%

Tabla 6. Comparación, mejoras de las ganancias teóricas y de ajuste de las antenas.

En la tabla 6, se observan los resultados de ganancia de ambas antenas, demostrando una vez más la desventaja que presenta el dipolo doblado sobre placa microstrip, esto debido a que esta última obtuvo una ganancia superior del 57% en comparación a la antena dipolo doblado de hilos, esto debido a que el dipolo doblado presenta una longitud de resonancia (relacionada con la potencia e intensidad de radiación) ajustada menor a la calculada como se muestra en la tabla 2.

II. CONCLUSIONES

Se observaron desfases en la antena dipolo sobre placa microstrip en un nivel de 300% de desviación con respecto al valor teórico calculado en la LTx, mientras que en el dipolo doblado de hilos presentó un desfase de 13.9% (reducción), en la longitud de resonancia.

El sustrato de polyester muestra mejoras significativas del 6.05% en el valor de S11 y 0.93% en VSWR debido a su baja permeabilidad magnética, incluso cuando este material tiene menores características comparado con el vidrio que se consideró el mejor sustrato para este trabajo experimental.

III. REFERENCIAS

- [1] J. mith y A. Johnson, “Comparative Analysis of Dipole and Folded Dipole Antenna Arrays in Millimeter Wave Band”, *International Journal of Antennas and Propagation*, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2984613.
- [2] Julio Cerezo y Pepe Cerezo, “EL IMPACTO DEL 5G Cuadernos de Tecnología”, *Evoca*, 2018, Consultado: el 21 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://evocaimagen.com/cuadernos-tecnologia/cuadernos-evoca-tecnologia-1.pdf>
- [3] R. C. N. M. J. G. Marina Rosso Siverino, “Hacia 6G, la futura generación de servicios móviles”, Centro Argentino de Ingenieros, Argentina, 2022. Consultado: el 21 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cai.org.ar/wp-content/uploads/2022/11/Hacia-6G-la-futura-generacion-de-servicios-moviles-CAI.pdf>
- [4] T. S. Rappaport *et al.*, “Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!”, *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335–349, 2013, doi: 10.1109/ACCESS.2013.2260813.
- [5] C. A. Balanis, *ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN THIRD EDITION*, 4a ed. Wiley, 2016. [En línea]. Disponible en: www.copyright.com.
- [6] MAYRA ALEJANDRA CADENA ALBUJA, “COMPARACIÓN DE UNA ANTENA DIPOLO CON UNA ANTENA DE DOS DIPOLOS PARA BANDA DE ONDAS MILIMÉTRICAS.”, Quito, ene. 2021.
- [7] Suquillo Yajamín y Henry Ramiro, “COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UNA ANTENA DIPOLO DE MEDIA ONDA EN LA BANDA DE 26 GHz”, Quito, 2022.
- [8] B. H. P. O. Elkin Andrés Ladino Ordoñez, “Diseño de antena Yagi-Uda a una frecuencia de 5.8 GHz”, *Universidad Católica de Colombia*, 2018.
- [9] Karen Nallely Olan Nuñez, “Diseño, Modelado y Caracterización de Arreglo de Antenas Microstrip para Aplicaciones del Internet de las Cosas”, Puebla, ago. 2019.
- [10] E. P. Superior, A. López Ibáñez, J. Córcoles, O. Ponente, J. Alfonso, y R. Cruz, “Diseño de adaptadores de impedancias en tecnología coaxial para divisores radiales de potencia”, Madrid, 2015.
- [11] “Una guía completa de VSWR de FMUSER [Actualizado en 2022]-Noticias-FMUSER Proveedor integral de transmisión de FM/TV”. <https://es.fmuser.net/wap/content/?2220.html> (consultado el 4 de julio de 2023).