



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**COMPARACIÓN DE UNA ANTENA DIPOLO DE HILO VS UNA ANTENA DIPOLO  
IMPRESA SOBRE PLACA EN 2 SUSTRATOS DIFERENTES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingenieros en Telecomunicaciones

**AUTORES:** JOSÉ JOEL LÓPEZ TOAPANTA

ERICK FABIAN PAGUAY ESPINOSA

**TUTOR:** LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN

Quito – Ecuador

2023

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, José Joel López Toapanta con documento de identificación N° 1723561872 y Erick Fabian Paguay Espinosa con documento de identificación N° 1753903788; 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, 04 de agosto del año 2023

Atentamente,



José Joel López Toapanta  
1723561872



Erick Fabian Paguay Espinosa  
1753903788

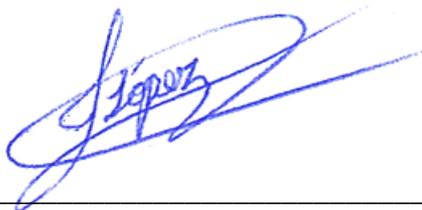
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, José Joel López Toapanta con documento de identificación N° 1723561872 y Erick Fabian Paguay Espinosa con documento de identificación N° 1753903788, 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 “Comparación de una antena dipolo de hilo vs una antena dipolo impresa sobre placa en 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, 04 de agosto del año 2023

Atentamente,



---

José Joel López Toapanta  
1723561872



---

Erick Fabian Paguay Espinosa  
1753903788

## 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 DE HILO VS UNA ANTENA DIPOLO IMPRESA SOBRE PLACA EN 2 SUSTRATOS DIFERENTES, realizado por José Joel López Toapanta con documento de identificación N° 1723561872 y por Erick Fabian Paguay Espinosa con documento de identificación N° 1753903788, 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, 04 de agosto del año 2023

Atentamente,



---

Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, MSc

1717985830

## DEDICATORIA

Con gratitud y cariño, dedico este artículo académico a mis amados padres, quienes han sido los pilares fundamentales de mi vida. A mi padre José López, quien con su sabiduría y amor incondicional, me ha enseñado el valor de la vida y la importancia de perseverar en cada desafío. A mi madre Myriam Toapanta, quien con su cariño y protección, ha sido mi guía y sostén a lo largo de mi vida. A mis dos hermanas Johanna y Erika, quienes han sido mi inspiración y cómplices en este emocionante viaje de crecimiento académico.

También quiero dedicar este logro a Víctor Hugo Segovia, el cual ha sido mi apoyo moral incondicional y un a quien considero un verdadero hermano quien supo estar siempre ahí para levantarme dándome fuerza para no rendirme jamás.

Y de manera muy especial, quiero dedicar un espacio en mi corazón y en este logro académico a mi tío Fernando Toapanta y a mi abuelito Ángel López, quienes, aunque ya no se encuentran físicamente con nosotros, su apoyo y cariño fueron un regalo inestimable en mi vida. Su legado y su vivo recuerdo perduran en mi memoria por el resto de mi existencia.

Con emoción, les dedico este logro para toda mi familia, mi querida familia, que siempre ha estado ahí para celebrar mis triunfos y apoyarme en los desafíos. Los llevo en mi corazón en cada paso de mi camino. Gracias por estar siempre a mi lado.

*José Joel López Toapanta*

## DEDICATORIA

Hoy quiero dirigirme a cada uno de ustedes con el corazón en la mano, pues siento que esta tesis no solo representa un logro académico, sino también a cada uno de ustedes, quiero expresar mi profundo agradecimiento. Esta tesis representa no solo un logro académico, sino también un tributo a la importancia que tienen en mi vida.

A mi adorada madre, Yolanda Espinosa, fuiste mi primera maestra, enseñándome con amor y paciencia las lecciones más valiosas. Gracias por ser mi guía y mi apoyo incondicional, a ti, mi amado padre, Mauricio Paguay, gracias por ser mi ejemplo de tenacidad y esfuerzo. Tus palabras de aliento me dieron la determinación para perseguir mis sueños con pasión, a mis queridos hermanos, Esteban y Carlos Paguay, son mis cómplices en cada aventura. Gracias por ser mis aliados incondicionales y llenar mi vida de amor y felicidad.

También a mis amadas abuelas, Alicia López e Irma Ramírez, sus brazos amorosos siempre han sido mi refugio y su sabiduría, un faro en tiempos de incertidumbre, a mis entrañables abuelos, Simón Paguay y Oswaldo Espinosa, su legado de integridad y perseverancia me ha inspirado profundamente.

A mis amigos del alma, Mauricio López, Anthony Semblantes, Axel Mena, Kevin Cadena, Mateo Carvajal, Alexis Bajaña, Joel López, ustedes han sido mis confidentes, cómplices de locuras y hombros en los que apoyarme. Nuestros lazos de amistad son indestructibles y cada momento compartido ha sido invaluable. Gracias por estar siempre ahí, incluso en las distancias.

Y a ti, Kerly Molina, una chica extraordinaria que llegó a mi vida y cada recuerdo compartido es un tesoro que atesoro con cariño, quiero agradecerte por haberme acompañado en mi camino.

En cada página de esta tesis, está impregnada la gratitud hacia cada uno de ustedes, mis seres queridos. Gracias por ser mi inspiración y mi razón para seguir adelante.

*Erick Fabian Paguay Espinosa*

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de este artículo académico.

En primer lugar, quiero dedicar unas palabras de gratitud a mis padres, quienes han sido la base de todo mi camino educativo y profesional. Su inquebrantable apoyo, amor y sacrificio han sido la fuerza impulsora detrás de cada paso que he dado en esta trayectoria académica. Sin su constante aliento y confianza en mí, no habría sido posible alcanzar este logro.

También, quiero agradecer sinceramente a mi compañero de titulación, Erick Paguay, por su amistad, su colaboración y por haber compartido este emocionante camino académico conmigo. Juntos, hemos enfrentado y superado obstáculos, y hemos logrado alcanzar con éxito nuestros objetivos.

Así mismo, deseo expresar mi sincero agradecimiento a mi tutor Lenin Aucatoma, amigo y excelente docente, cuya guía, paciencia y sabiduría fueron fundamentales para llevar a cabo este proyecto. Su orientación me ha permitido superar obstáculos y crecer tanto a nivel académico como personal.

Por otro lado, no puedo dejar de agradecer a todos los docentes que compartieron su valioso conocimiento conmigo a lo largo de mi trayectoria universitaria. Sus enseñanzas, experiencia y dedicación han dejado una huella imborrable en mi formación académica y enriquecido mi perspectiva en diferentes áreas del conocimiento.

Finalmente, quiero extender mi reconocimiento a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme la oportunidad de formarme como profesional y por proporcionarme un ambiente propicio para el aprendizaje y la investigación. La calidad de la educación recibida en esta institución ha sido crucial para el desarrollo de mis habilidades y conocimientos. Muchas Gracias.

*José Joel López Toapanta*

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en la realización de este artículo académico.

En primer lugar, quiero expresar mi profunda gratitud a mis padres, cuyo apoyo incondicional y amor inquebrantable han sido la piedra angular de mi camino académico y profesional. Sus palabras alentadoras y sacrificios han sido mi motivación constante para alcanzar este logro.

A mi compañero de titulación, José López, le agradezco de corazón por compartir este emocionante viaje académico conmigo. Nuestra colaboración y esfuerzo conjunto han sido clave para superar desafíos y alcanzar nuestros objetivos de manera exitosa.

De igual manera, quiero reconocer el invaluable aporte de mi tutor, Lenin Aucatoma, sus consejos y conocimientos han sido una luz en el camino hacia la culminación de esta investigación.

Agradezco también a todos los docentes que han compartido su sabiduría y experiencia conmigo durante mi formación universitaria. Sus enseñanzas han sido un pilar fundamental en mi crecimiento académico y enriquecimiento personal.

Por último, quiero expresar mi gratitud a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme las herramientas y el ambiente propicio para el aprendizaje y la investigación. La calidad de la educación que he recibido ha sido un factor determinante en mi desarrollo profesional.

A cada uno de ustedes, les agradezco por su contribución y apoyo en este importante logro. Su presencia y aliento han sido un regalo invaluable en mi camino hacia el conocimiento y el éxito académico. ¡Gracias por ser parte de este emocionante viaje!

*Erick Fabian Paguay Espinosa*

# Comparación de una antena dipolo de hilo vs una antena dipolo impresa sobre placa en 2 sustratos diferentes

José Joel López Toapanta  
Departamento de Ingeniería en  
Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
jlopezt4@est.ups.edu.ec

Erick Fabian Paguay Espinosa  
Departamento de Ingeniería en  
Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
epaguaye@est.ups.edu.ec

Lenin Wladimir Aucatoma Guamán  
Departamento de Ingeniería en  
Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
laucatoma@ups.edu.ec

**Resumen** – El presente artículo presenta una comparación de un modelo de antena de hilos con respecto a una antena dipolo sobre una base microstrip en la banda de 6 GHz. Se diseñaron y analizaron varias configuraciones de antenas, utilizando diferentes sustratos (FR4-epoxy, vidrio y poliéster), con características dieléctricas y geométricas específicas, con lo anterior, mediante software de simulación se obtuvieron mediciones de parámetros como: S11, VSWR, ganancia y patrón de radiación, evidenciando que el modelo de hilos presenta mejores parámetros con un desfase del 9.6% con respecto al modelo sobre base microstrip.

**Palabras clave:** Antenas microstrip, Antenas dipolo de hilos, Rendimiento.

**Abstract** – This article investigated the improvement in the performance of microstrip antennas compared to wire dipole antennas in the 6 GHz band. Three antenna configurations were designed and analyzed, using different substrates (FR4-epoxy, glass, and polyester) with specific dielectric and geometric characteristics. Measurements and calculations of parameters such as S11, VSWR, gain, and bandwidth, where the two wires model has better parameters with a gap of 9.6% in comparison with the model with microstrip base.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la creciente demanda global por una transmisión y recepción de datos más eficiente, rápida y segura, impulsada por el avance de las tecnologías, las comunicaciones inalámbricas, el Internet de las cosas (IoT), y la evolución del 5G, ha generado la necesidad de buscar alternativas en el diseño de nuevas antenas para ondas milimétricas [1]. En este contexto, las antenas microstrip se presentan como una opción prometedora, ya que permiten trabajar en altas frecuencias y ofrecen un ancho de banda más amplio, lo cual mejora la velocidad de transmisión de datos [2].

Se plantea el diseño de una antena combinada que permita analizar el impacto en los parámetros de S11, VSWR y patrón de radiación [3], para lo cual es fundamental lograr un acoplamiento eficiente entre la antena dipolo y la línea de transmisión de la antena microstrip, esto implica ajustes en la geometría de la

antena y así obtener los parámetros deseados [4] [5]. Si bien las antenas dipolo de hilos son una opción popular debido a su fácil diseño y rendimiento, las antenas microstrip son compactas y capaces de integrarse en dispositivos electrónicos [6]. Por ende, es de vital importancia desarrollar arreglos en antenas, ya que esto contribuye significativamente al avance en el diseño de antenas con un rendimiento mejorado y una mayor versatilidad. Los arreglos en antenas permiten optimizar la dirección de radiación, la ganancia y el patrón de radiación, lo que se traduce en una mayor eficiencia y capacidad de adaptación a diversas condiciones de uso [7].

El enfoque del diseño propuesto es llevar a cabo una comparación entre la antena dipolo de hilos y la antena dipolo sobre base microstrip, con el objetivo de obtener información valiosa para futuras implementaciones y optimizaciones de sistemas de comunicación inalámbrica.

## II. DISEÑO DE LA ANTENA

El diseño de la antena dipolo sobre base microstrip se fundamentó en análisis matemático mediante el uso de fórmulas que definen a estos modelos.

La antena dipolo de hilos fue calculada considerando la longitud total del dipolo y la frecuencia de operación deseada como se muestra en la figura 1.

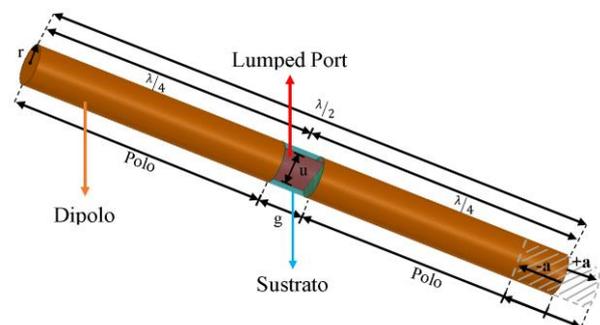


Figura 1. Componentes de la antena dipolo sobre una base microstrip

En el proceso de diseño, se consideraron las siguientes fórmulas:

$$\lambda = \frac{C [m/s^2]}{f [1/s]} \quad (1)$$

$$g = u = 2r \quad (2)$$

$$r = \frac{\lambda}{120} \quad (3)$$

$$Polo = \frac{\lambda}{4} - \frac{g}{2} \pm a \quad (4)$$

El diseño de la antena dipolo sobre base microstrip se originó en la base matemática que define a cada modelo: dipolo de dos hilos y microstrip.

En la figura 1 se muestra la disposición de elementos y dimensiones del modelo de antena de dos hilos. [9].

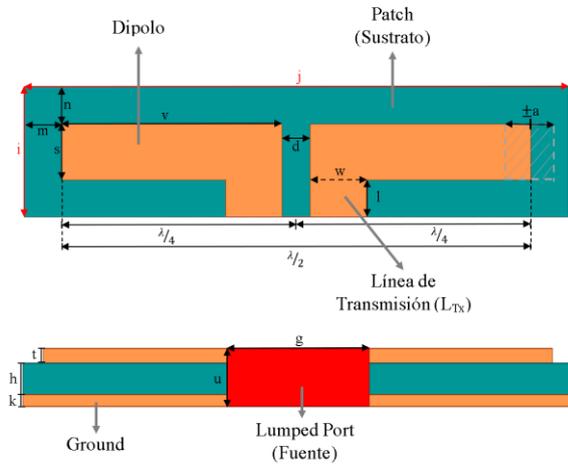


Figura 2. Componentes de la antena dipolo sobre una base microstrip

En la figura 2, se muestra el modelo final de la antena que combina las características de la antena de dos hilos y la antena microstrip [9] [10].

Tabla 1. Característica de los materiales

Características de los materiales						
Conductor	Material	Cobre		Aluminio	Unidad	
	Permitividad relativa	1		1	F/m	
	Permeabilidad relativa	0.999991		1.000021	H/m	
	Conductividad del material	58000000		38000000	siemens/m	
Dieléctrico	Material	Aire	FR4	Glass	Polyester	Unidad
	Permitividad relativa	8.842x10 <sup>-12</sup>	4.4	5.5	3.2	F/m
	Permeabilidad relativa	1.257x10 <sup>-12</sup>	1	1	1	H/m
	Conductividad del material	-	0.2	0	0.003	-

Es importante destacar que además de las dimensiones físicas y la elección del material conductor, las propiedades dieléctricas del sustrato desempeñan un papel crucial en el diseño de las antenas, por lo que se considera la impedancia característica del medio de transmisión y la permitividad relativa de los sustratos, los cuales se pueden visualizar en la Tabla 1 [10].

Ambos cálculos matemáticos se usaron en el proceso de diseño de la antena dipolo sobre base microstrip para lograr los

valores objetivo de los parámetros S11 cuyo valor sea inferior a -10 dB, y el VSWR entre 1 y 1.5 [11].

En el proceso de diseño, se consideraron dos parámetros para la antena: el ancho del sustrato (h) que es igual 0.5 [mm] y la media longitud de onda (W). Con estos parámetros se calcularon los siguientes aspectos de diseño de la antena: constante dieléctrica efectiva (5), extensión de longitud (6), longitud efectiva del elemento conductor (7), longitud del elemento radiante (8) [12].

$$\epsilon_{reff} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \left(1 + 10 \left(\frac{h}{W}\right)\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$l = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.246\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \left(1 + 10 \left(\frac{h}{W}\right)\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (7)$$

$$s = 2l - L_{eff} \quad (8)$$

En la Tabla 2, se presentan los resultados de las mediciones realizadas en el diseño de la antena dipolo de hilos. De los ocho diseños de antenas dipolo de hilos simulados, se realizó un análisis detallado de cada parámetro y se determinó que la antena dipolo de cobre con sustrato de vidrio, destacó por presentar valores favorables de S11, VSWR y una ganancia satisfactoria [13].

Tabla 2. Medidas del modelo de hilos

Antenas dipolo de hilos				
Sustrato		Matemática	Ajuste	%
Aire		Glass	Glass	
Unidad		[mm]	[mm]	
Material		Cobre	Cobre	
Antena	Polo	12.0833	10.9233	9.6 % (reducción)
	a	0	-1.16	1.16 % (reducción)
	r	0.4167	0.4167	
Fuente	g	0.8333	0.8333	0 %
	u	0.8333	0.8333	
Tamaño	lambda/2	25	22.68	9.28% (reducción)

De la misma forma en la tabla 3, se presentan las mediciones del diseño obtenido de las antenas dipolos sobre una base microstrip de forma matemática y experimental [14], donde se destacó la antena con material de cobre y sustrato de vidrio sin placa de tierra. A pesar de no ser una práctica común quitar la placa de tierra de una antena [15], esta decisión resultó una solución que ayudó a plantear un modelo diferente generando un impacto positivo para los parámetros de S11, VSWR, patrón de radiación y ganancia.

Tabla 3. Medidas del modelo sobre base microstrip

Antenas dipolo de hilos sobre base microstrip				
	Matemática	Ajuste	%	
Sustrato	FR4-epoxy	Glass		
Unidad	[mm]	[mm]		
Material	Cobre	Cobre		
Antena	s	0.9	5.1699	474.43%
	v	12.25	11.700	4.48 % (reducción)
	t	0.25	0.58	132 %
	d	0.5	1.599	219.8 %
	a	0	0	0 %
L <sub>tx</sub>	l	0.46	2	334.8 %
	w	0.5	3.5	600 %
Patch	i	1.82	8.4699	365.38 %
	j	25.92	27.6	6.48 %
	h	0.5	1.7	240 %
	m	0.46	1.3	183.6 %
n	0.46	1.3		
Fuente	g	1.5	8.599	473.27 %
	u	0.76	2.28	200 %
Tierra	k	0.01	-	N/A

## II. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Basado en el análisis matemático realizado para el diseño de las antenas dipolo de hilos y dipolo sobre base microstrip, en la Tabla 4 se presenta una comparación entre estas antenas y los 20 diseños ajustados posteriormente.

Tabla 4. Parámetros S11, VSWR y Ganancia

Parámetros				
Material	F	S11	VSWR	GAIN
Unidad	[GHz]	[dB]	-	[dB]
<b>Dipolo de hilos con cobre</b>				
Matemática	5.424	-32.4347	1.0490	10
Aire	6	-32.8408	1.0467	
FR4		-41.8299	1.0163	
Glass		-54.1298	1.0039	
Polyester		-37.8903	1.0258	
<b>Dipolo de hilos con aluminio</b>				
Matemática	5.424	-32.661	1.0477	10
Aire	6	-32.9049	1.0463	
FR4		-42.3033	1.0155	
Glass		-49.7523	1.0065	
Polyester		-37.9874	1.0255	
<b>Dipolo sobre base microstrip de cobre con tierra</b>				
Matemática	4.884	-2.0547	8.4941	5
FR4	6	-26.6204	1.0979	
Glass		-29.3907	1.0702	
Polyester		-16.6037	1.347	
<b>Dipolo sobre base microstrip de aluminio con tierra</b>				
Matemática	4.848	-2.2301	7.8326	5
FR4	6	-24.4921	1.1268	
Glass		-32.9186	1.0462	
Polyester		-16.4916	1.3523	
<b>Dipolo sobre base microstrip de cobre sin tierra</b>				
Matemática	4.884	-19.2191	1.2457	5
FR4	6	-27.4199	1.0889	
Glass		-34.7641	1.0372	
Polyester		-22.5283	1.1616	
<b>Dipolo sobre base microstrip de aluminio sin tierra</b>				
Matemática	4.884	-19.2035	1.2462	5
FR4	6	-27.3967	1.0892	
Glass		-34.4104	1.0388	
Polyester		-22.3835	1.1645	

Estos ajustes se llevaron a cabo considerando tanto los materiales conductores y sustratos utilizados como las

dimensiones de las antenas, las cuales resumen los valores de S11 y VSWR para cada modelo de antena investigado.

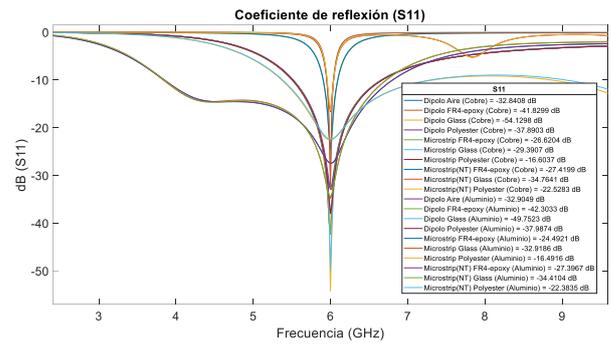


Figura 3. Resultado del Coeficiente de reflexión (S11) de las veinte antenas simuladas

En la figura 3, se presentan los resultados de la dispersión de potencia (S11) para una variedad de antenas dipolo de hilos y dipolo sobre base microstrip, con diferentes materiales y configuraciones, incluyendo la presencia o ausencia de una placa de tierra. De todos los modelos evaluados, el dipolo de cobre con sustrato de vidrio resalta con un valor de S11 de -54.1298 dB. Además, el dipolo de cobre sobre base microstrip con sustrato de vidrio sin placa de tierra también se destaca con un valor de S11 de -34.4104 dB. Estos diseños de antenas lograron una menor reflexión de onda en comparación con los demás diseños realizados.

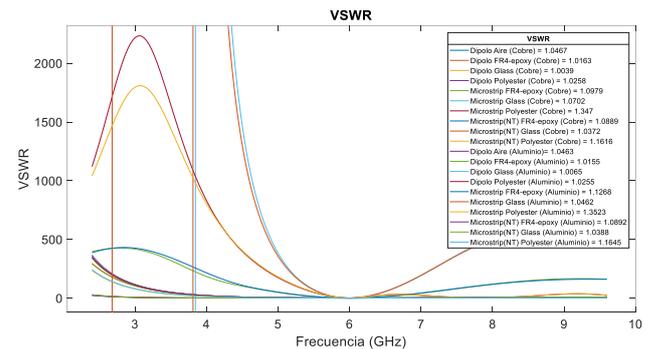


Figura 4. Resultado del VSWR de las veinte antenas simuladas

En la figura 4, se presentan los resultados del VSWR para las mismas antenas a 6 GHz. La antena dipolo de cobre con sustrato de vidrio obtiene un valor de VSWR de 1.0039, mientras que el dipolo de cobre sobre base microstrip con sustrato de vidrio sin placa de tierra se destaca con un VSWR de 1.0372. Estos valores indican que las antenas presentan una excelente adaptación de impedancia, lo que se traduce en mínimas pérdidas y reflejos de señal en su frecuencia de resonancia.

La combinación de cobre y vidrio como materiales en la construcción de antenas ha demostrado una adaptación óptima de impedancia y una reducción significativa en la reflexión de onda, lo que resulta en una mayor eficiencia y mejor rendimiento de las antenas en la frecuencia de 6 GHz.

### Coficiente de Reflexión S11

Como se muestra en la figura 5, los cálculos matemáticos no proporcionaron un rendimiento satisfactorio. Fue necesario llevar a cabo ajustes experimentales, además de incorporar un sustrato de vidrio, el cual generó una mejora mínima, se procedió a

disminuir los polos en un 9.6%, como se detalla en la Tabla 2, y se lograron los resultados deseados; además, se redujo y se ajustó el valor de -32.4347 dB a -54.1298 dB en la frecuencia de 6 GHz, en comparación con los 5.424 GHz iniciales.

Por otro lado, la antena dipolo sobre base microstrip calculada matemáticamente no arrojó resultados satisfactorios, por lo que también fue necesario realizar ajustes experimentales en las dimensiones de la antena. Estos cambios se reflejan en la Tabla 3, donde se aumentó el ancho de los polos en un 474.43%, así como el ancho y largo de la línea de transmisión en un 600% y 334.8% respectivamente. Otro factor favorable para mejorar el rendimiento de la antena fue la eliminación de la placa de tierra en el diseño de la antena. Estos ajustes llevaron al cambio en la atenuación de -2.0547 dB en la frecuencia de 4.884 GHz a -34.7641 dB en la frecuencia de 6 GHz.

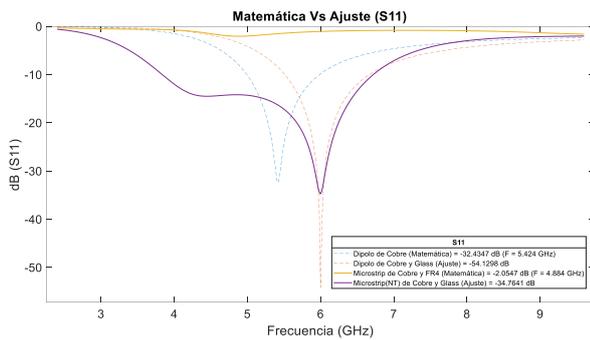


Figura 5II. Comparación de los resultados matemáticos versus ajustados (S11)

### Parámetro VSWR

La figura 6 muestra los resultados del ajuste experimental realizado en la antena dipolo de hilos mencionado previamente. Se logró reducir y ajustar el valor inicial del VSWR de 1.0490 en 5.424 GHz a 1.0039 a la frecuencia de 6 GHz; es decir, al disminuir un 9.28% del tamaño calculado inicialmente para la antena, se obtuvo una mejor adaptación de impedancia y se logró reducir el VSWR.

En el caso de la antena dipolo sobre base microstrip, el ajuste experimental resultó en la reducción y ajuste del valor de VSWR de 8.4941 encontrada en 4.884 GHz a 1.0372 en la frecuencia de 6 GHz, para esto, los ajustes más relevantes que llevaron a esta mejora en el VSWR se detallan en la Tabla 4.

Una posible desventaja de la antena dipolo sobre base microstrip es que el proceso de ajuste experimental y las modificaciones necesarias en las dimensiones de la antena pueden ser más complejas y requieren un enfoque más cuidadoso en comparación con un diseño basado en hilos, esto se debe a la combinación de elementos y la necesidad de encontrar un equilibrio adecuado en las dimensiones y características de cada componente.

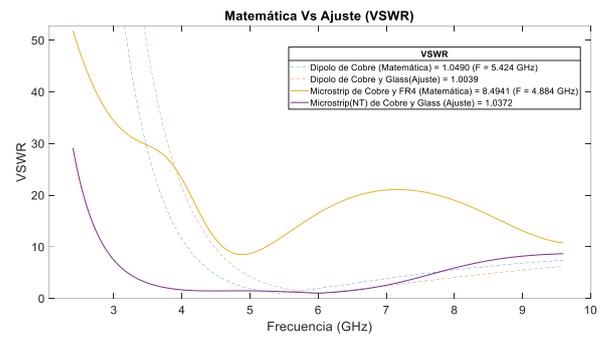


Figura 6. Comparación de resultados de VSWR de los modelos matemáticos versus ajuste.

### Patrón de radiación y ganancia

A partir del análisis de la figura 7, se puede observar que la antena dipolo de hilo exhibe un patrón de radiación omnidireccional, lo que implica que la energía se distribuye de manera uniforme en todas las direcciones en el plano horizontal. Esta característica se atribuye a la estructura simétrica del dipolo de hilo, el cual irradia energía en todas las direcciones perpendiculares a su eje.

Por otro lado, se observa que las antenas dipolo sobre base microstrip generan un patrón de radiación sectorial. Esta característica está influenciada por el material y el diseño específico mencionado anteriormente de estas antenas.

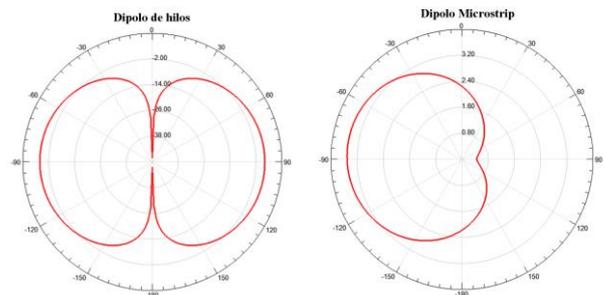


Figura 7. Patrón de radiación de la antena dipolo de hilos y la antena dipolo sobre base microstrip

Un punto interesante del modelamiento se evidencia en la antena dipolo de hilo ajustada, donde se obtuvo una ganancia máxima de aproximadamente 10 dB, lo cual representa una ganancia alta para este tipo de modelos.

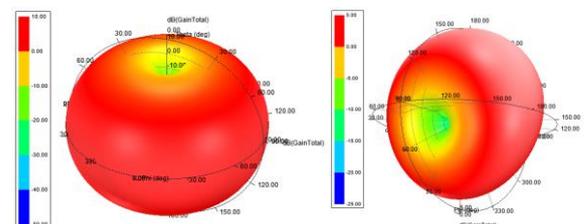


Figura 8IIIV. Gráfico 3D de la Antena Dipolo de hilos y la Antena Dipolo sobre base Microstrip

En el caso de las antenas dipolo sobre base microstrip, el tamaño del sustrato es un factor de diseño que influye en los resultados obtenidos, como se puede apreciar en la Tabla 5, se observa que el grosor del sustrato varía y aumenta en más del 200% cuando se retira la capa de tierra del diseño de la antena,

especialmente en materiales dieléctricos con una mayor permitividad, como el FR4-epoxy y el vidrio.

En el caso del sustrato de poliéster cuya permitividad relativa es de 3.3 aumenta y se mantiene experimentalmente un 80% para todos los modelos de antenas sobre placa microstrip simulados, con la diferencia que disminuye su ganancia de 10 dB con tierra a 2.5 dB sin la presencia de la misma.

Tabla 5. Grosor del sustrato

Grosor del sustrato				
Antena	Dipolo sobre base Microstrip			
Material	Cobre y Aluminio			
Ground	Si	No		
Variable	h			
Unidad	[mm]	%	[mm]	%
Matemática	0.5	-	0.5	-
FR4	0.5	-	1.597	219.4%
Glass	0.5	-	1.7	240%
Polyester	0.9	80%	0.9	80%

#### IV. CONCLUSIONES

En el caso de la antena dipolo de hilos, la reducción del tamaño de los polos en un 9.6% fue importante para obtener los resultados a nivel de S11 y VSWR, mientras que en la antena dipolo de hilos sobre base microstrip, se realizaron modificaciones considerables en el ancho y largo de la línea de transmisión, así como también en el ancho de los polos, aumentando en un 474.43% y un 600%, respectivamente. Además, la eliminación de la placa de tierra en el diseño de la antena microstrip demostró una mejora de los valores de S11 y VSWR.

El diseño de la antena dipolo sobre base microstrip presentó dificultades al seguir únicamente el análisis matemático, lo que requirió ajustes experimentales significativos para lograr resultados satisfactorios, se mostró que el tamaño del sustrato es un factor crítico en el diseño de la antena. Además, al retirar la placa de tierra del diseño, se observa un aumento significativo en el grosor del sustrato, especialmente en materiales dieléctricos con alta permitividad, como el FR4-epoxy y el vidrio, donde el aumento supera el 200%. En el caso del sustrato de poliéster, se evidenció un aumento del 80% en su grosor sin importar el material conductor utilizado.

#### REFERENCIAS

- [1] D. Thiel y M. Kanesan, «Antenas dipolo impresas sobre sustratos reforzados con fibra conductora unidireccional,» Memphis, 2016.
- [2] R. Carvalho, R. Brito, N. Pereira, A. Lima y S. Lanceros, «Mejora del rendimiento de las antenas dipolo basadas en el papel mediante la concentración de flujo electromagnético,» Rio de Janeiro, 2023.
- [3] R. I. S. Casa, «Estudio de estructuras radiantes planas en tecnología impresa para la obtención de antenas con polarización circular a la frecuencia de operación de 1,5Ghz,» Quito, 2022.
- [4] A. Navarro, I. G. Galí y G. C. Rodríguez, «Diseño de una antena sensor en sustratos flexibles,» Barcelona, 2020.
- [5] A. R. Vioque, «Diseño, fabricación y caracterización de una antena dipolo fractal,» Barcelona, 2022.

- [6] B. E. R. Barrera, «Diseño y simulación de una antena microstrip de rango de operación de super altas frecuencia (3.5 GHz a 6 GHz),» Bogotá, 2019.
- [7] S. Charinsak y S. Phuchaduek, «Dipolo en forma de cápsula impreso en 3D con antena multirranura basada en material de filamento metálico,» Isan, 2021.
- [8] G. Fernández, «Diseño de una Antena Impresa Circular omniazimutal con adaptación mejorada,» Quito, 2017.
- [9] A. P. Ruiz, M. M. G. Cunduri y L. W. Aucatoma, «Diseño de una antena microstrip con material grafeno en dos frecuencias de la banda de onda milimétrica,» Quito, 2023.
- [10] Á. M. Granero, «Diseño, construcción y medida de prototipos de antena: Las Antenas Dipolo,» Madrid, 2019.
- [11] M. A. Cadena, «Comparación de una antena dipolo con una antena de dos dipolos para banda de ondas milimétricas,» Quito, 2021.
- [12] R. Jannah, «Antena Dipolo Impresa,» *Revista de Desarrollo de Tecnologías en Antenas*, vol. III, n° 8, p. 81, Mayo 2019.
- [13] C. Reig, «Diseño de un arreglo de antenas dipolo impresas para un sistema de radar pasivo,» *Revista Internacional de Antenas y Propagación*, vol. IV, n° 41, p. 89, Enero 2023.
- [14] R. S. M. Arteaga, «Diseño, modelado y caracterización de arreglo de Antenas Microstrip,» INAOE, México D.F., 2019.
- [15] S. Rodríguez, «Diseño de Antenas Microstrip sobre sustrato textil,» Tarragona, 2017.