



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UNA ANTENA DIPOLO DE MEDIA ONDA EN
LA BANDA DE 26 GHz**

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de
Ingeniero Electrónico

AUTOR: Henry Ramiro Suquillo Yajamín

TUTOR: Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

Quito-Ecuador

2022

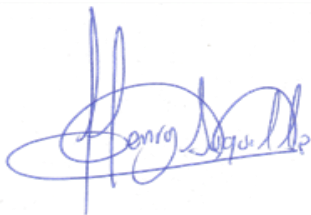
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Henry Ramiro Suquillo Yajamín con documento de identificación N° 1718723339;
manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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, 3 de marzo del año 2022

Atentamente,



Henry Ramiro Suquillo Yajamín

1718723339

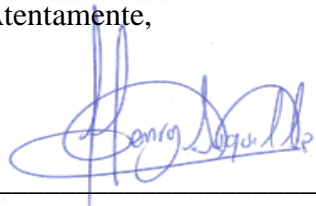
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Henry Ramiro Suquillo Yajamín con documento de identificación No. 1718723339, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Comparación de los parámetros de una antena dipolo de media onda en la banda de 26 GHz”, el cual 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 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, 3 de marzo del año 2022

Atentamente,



Henry Ramiro Suquillo Yajamín

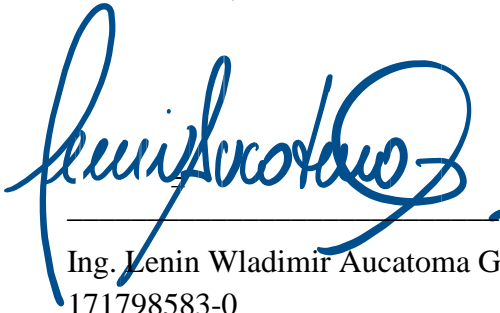
1718723339

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 LOS PARÁMETROS DE UNA ANTENA DIPOLO DE MEDIA ONDA EN LA BANDA DE 26 GHz, realizado por Henry Ramiro Suquillo Yajamín con documento de identificación N° 1718723339, 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, 3 de marzo del año 2022

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán MSc
171798583-0

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de titulación a mis padres; María Yajamín y Ramiro Suquillo ya que son el pilar fundamental de mi vida y quienes con su esfuerzo, sacrificio y amor incondicional me supieron apoyar hasta este punto de mi vida donde gracias a ellos estoy culminando esta meta.

A mi hermano Jonathan Suquillo cuyo esmero y dedicación me motivó a no rendirme pese a cualquier circunstancia difícil que se me presentó, a mi cuñada Karla Ruiz y sobrina Zoe Suquillo quienes llegaron a mi vida en los momentos más difíciles y ahora puedo compartir este logro con ustedes, a mi familia y a todas las personas que me apoyaron directa o indirectamente en esta etapa de mi vida. Finalmente, dedico este trabajo a mi compañera de vida Evelyn Chalapud quien con su amor, apoyo y comprensión me enseñó a ser mejor persona y tener algo más porque luchar, ahora podré decir lo logramos.

Henry Ramiro Suquillo Yajamín

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por no abandonarme, por rescatarme del hueco en el que me encontraba y guiarme hacia un nuevo camino acompañado con mi familia.

A mi madre María Yajamín y padre Ramiro Suquillo, quien antes de ser mis padres son mis mejores amigos, me supieron entender y me guiaron en toda lucha que libré, me enseñaron el valor de las decisiones y el sacrificio que viene antes de cumplir cualquier meta, agradezco su amor incondicional pese a las circunstancias y que siempre han estado ahí, aun cuando yo no sabía que los necesitaba.

Doy gracias a mi hermano Jonathan Suquillo por ser la clase de persona que quiere llegar algún día ser, por apoyarme como un buen amigo y no dejarme nunca, por cuidarme en momentos de desesperación y afrontar todos los problemas para que yo pueda concentrarme en mis estudios.

A una persona muy especial en mi vida como lo es Evelyn Chalapud, a quien agradezco por ser una mujer fuerte y valiente, por estar en los momentos más difíciles de mi vida y guiarme para ser mejor persona.

A mi tutor, ingeniero Lenin Aucatoma quien me dio la oportunidad para desarrollar este tema y gracias a su conocimiento impartido, constancia y profesionalismo supo dirigirme en el desarrollo del presente artículo, y a quien considero un gran maestro y un buen amigo.

Comparación de los parámetros de una antena dipolo de media onda en la banda de 26 GHz

Henry Ramiro Suquillo Yajamín
Departamento de Ingeniería en Electrónica y
Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
hsuquillo@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— Este artículo detalla el diseño y análisis comparativo de los parámetros de coeficiente de reflexión, VSWR, ganancia y ancho de banda de una antena dipolo de media onda que opera en la banda de onda milimétrica de 26 GHz en las frecuencias de resonancia: 24.25, 25.8 y 27.5 GHz. El estudio se lleva a cabo al modificar los parámetros dimensionales de las Antenas Dipolo de Media Longitud de Onda hasta sintonizarlas con las frecuencias centrales. Una vez ajustadas las antenas se realiza una variación de materiales con los 3 principales conductores, plata, cobre y oro para observar e identificar el efecto que produce en los parámetros de coeficiente de reflexión (S_{11}), relación de onda estacionaria de voltaje o también llamado VSWR y patrón de radiación. En los diseños ya ajustados mejoró el rendimiento de la antena aumentando su ancho de banda en un 3.21%, también se evidenció una relación directamente proporcional entre la frecuencia y los parámetros de VSWR y (S_{11}) sin que la antena perdiera sus propiedades dimensionales como dipolo de media longitud de onda en la banda de ondas milimétricas. De esta manera los resultados indicaron una relación proporcional y no proporcional entre los desfases y la frecuencia donde sus ajustes clave para alcanzar los valores de (S_{11}) y VSWR deseados fueron incrementar las dimensiones del parámetro del radio en 74, 80 y 150 veces para las frecuencias de 24.25, 25.8 y 27.5 GHz respectivamente y utilizar como conductor un material cuya permeabilidad relativa no esté por debajo de 0.999991.

Palabras clave—dipolo de media onda, conductor, onda milimétrica.

Abstract— This article details the design and comparative analysis of the reflection coefficient, VSWR, gain and bandwidth parameters of a half wave dipole antenna operating in the 26 GHz millimeter wave band at the resonance frequencies: 24.25, 25.8 and 27.5 GHz. The study is carried out by modifying the dimensional parameters of the Medium Wavelength Dipole Antennas until they are tuned to the central frequencies. Once the antennas have been adjusted, a variation of materials is made with the 3 main conductors, silver, copper and gold to analyze the effect it produces on the dispersion parameters such as the reflection coefficient (S_{11}), VSWR voltage standing wave ratio and radiation pattern. In the models already adjusted, the performance of the antenna improved, its bandwidth increased by 3.21%, a directly proportional relationship was also evidenced between the frequency and the VSWR parameters and (S_{11}) without the antenna losing its dimensional properties as a dipole. half wavelength in the millimeter wave band. In this way, the results indicated a proportional and non-proportional relationship between the lags and the frequency where their key adjustments to achieve the desired values of (S_{11}) and VSWR were to increase the dimensions of the radius parameter by 74, 80 and 150 times for the frequencies of 24.25, 25.8 and 27.5 GHz

respectively and use as a conductor a material whose relative permeability is not below 0.999991

Keywords — half wave dipole, conductor, millimeter wave.

I. INTRODUCCIÓN

La tendencia al incremento de un mayor número de conexiones simultáneas y la demanda de tener un tasa de transferencias de más de 10 Gbits/s contribuye a la idea la quinta generación de redes móviles, también conocido como el 5G, por tanto, se desea la implementación y el desarrollo de nuevas tecnologías que se orienten en el estudio del espectro electromagnético. Entre todas ellas, las ondas milimétricas se destacan por encima del resto [1]. Debido a que está diseñada para soportar el espectro entre 30 MHz hasta 90 GHz con una longitud de onda entre 1 y 10 milímetros. Dentro del espectro extendido destacan las bandas de 26GHz y 28 GHz las cuales cuentan con el mayor apoyo internacional ya que como son adyacentes, son compatibles con la armonización del espectro permitiendo servicios de banda ancha móviles ultrarrápidos [2]. Por esta razón el diseño de antenas es esencial para entender los requerimientos de un sistema que use esta tecnología. Algunas características importantes que tiene el diseño de antenas son el Coeficiente de Reflexión, VSWR, Ganancia y Ancho de banda que son parámetros que explican la conducta de un sistema eléctrico lineal al variar la frecuencia.

La antena con más aplicaciones en el campo es la Antena Dipolo ya que puede ser usada en cualquier rango de frecuencias. En la práctica la dimensión del dipolo es ligeramente más corta que la longitud de media onda, donde se deben aplicar cálculos cuidadosos de factorización de efectividad, diámetro y constante dieléctrica del material. En [3] se realiza un análisis para los parámetros de radiación y dispersión obtenidos en una Antena Dipolo modelada matemáticamente y sintonizada para que resuenen en las frecuencias de 60, 67 y 74 GHz al variar el conductor dieléctrico ubicado en medio de los brazos del dipolo con vidrio en lugar de aire, donde dicho material contiene una permitividad relativa alta en comparación con el aire y así obtener una mejora significativa en el ancho de banda.

En este artículo se diseñan antenas dipolo de media onda para la banda de 26 GHz, en donde teóricamente, existe una relación inversamente proporcional entre el tamaño de la antena y la frecuencia. Sin embargo, a frecuencias muy altas que corresponda a las ondas milimétricas la matemática no es compatible haciendo que las antenas se comportan de manera diferente. Con este propósito se compara los modelos de cada antena dipolo de media onda diseñados matemáticamente con modelos de antenas a los cuales se realizó un ajuste de

dimensiones y elementos sin que pierdan las características técnicas que definen el diseño de este tipo de antenas, y de esta manera llegar a los valores más óptimos de coeficiente de reflexión, VSWR, ganancia y ancho de banda que se pueden obtener con esta antena.

II. DISEÑOS DE LAS ANTENAS

La antena dipolo de media longitud de onda fue modelada en el software ANSYS HFSS a las frecuencias de 24.25, 25.8 y 27.5 GHz. Se realizó los diseños mediante el uso de fórmulas matemáticas y se obtuvieron resultados no óptimos para el funcionamiento de la antena, de esta manera se efectuó cambios en las dimensiones y material conductor con el fin que su frecuencia de resonancia sea la correcta. El objetivo de esta investigación es obtener resultados en el coeficiente de reflexión (S_{11}), valores por debajo de los -20 dB, un VSWR lo más cercano a 1 y un aumento en el ancho de banda al cambiar de material

A. Diseño estructural característico de antena dipolo de media onda.

El diseño general tradicional del dipolo de media longitud de onda se muestra en la Figura 1 donde se observan las variables que definen este modelo. La impedancia de entrada para esta antena de radio infinitamente delgado es $73 + j42\Omega$. Para eliminar la parte imaginaria de dicha impedancia, se hace una longitud algo menor $0.42\lambda \Rightarrow Z_{dip} = 72 + j0\Omega$. [4]

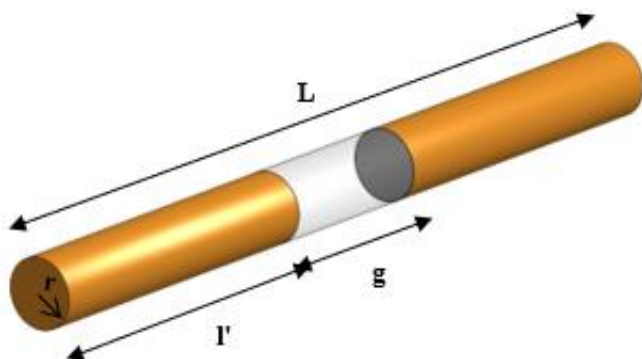


Figura 1. Diseño de Antena Dipolo de media longitud de onda.

La longitud de onda viene dada por la letra griega λ (lambda) y se determina con la ecuación 1. Donde c y f son la velocidad de propagación de la luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) y la frecuencia de la señal (Hz), respectivamente.

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

La longitud total (L) del dipolo está dada por la ecuación 2.

$$L = \frac{143}{f} \quad (2)$$

Por lo que la longitud del brazo (l') se representa por la ecuación 3:

$$l' = \frac{L}{2} - \frac{g}{2} \quad (3)$$

Y el tamaño del radio (r) está dada por la ecuación 4:

$$r = \frac{\lambda}{1000} \quad (4)$$

El espaciado que existe entre los brazos conductores también denominado gap (g) se obtiene con la ecuación 5:

$$g = \frac{L}{200} \quad (5)$$

Por medio de estas ecuaciones se obtuvieron las medidas para el diseñar la antena dipolo de media longitud de onda en las tres frecuencias propuestas. Estos datos sirvieron para verificar a que frecuencia resonaba la antena modelada a través de la matemática. Los valores son visibles en la Tabla 1.

Tabla 1. Cálculo de los parámetros dimensionales de la antena dipolo con las frecuencias 24.25, 25.8 y 27.5 GHz obtenidas por uso de fórmulas matemáticas.

Diseño matemático				
Parámetros		24,25 [GHz]	25,8 [GHz]	27,5 [GHz]
Longitud del dipolo	L [mm]	5,89	5,54	5,2
Gap	g [mm]	0,0294	0,0272	0,026
Radio	r [mm]	0,0124	0,0116	0,0109
Largo del brazo	l' [mm]	2,964	2,7577	2,587
Resonancia	f_0 [Ghz]	23,886	25,258	27,087

Se sintonizaron las antenas para que resuenen a las frecuencias de 24.25Ghz, 25.8 GHz y 27.5 GHz, haciendo ajustes en las dimensiones y cambios en el material utilizado en los brazos del dipolo, donde para obtener una mayor eficiencia de radiación se variará el material conductor ya que esta radiación está estrictamente ligada a las propiedades del material con el que se diseñará la antena, por esta razón se eligió el cobre, plata y oro como material conductor debido a que presentan mejores parámetros de permitividad para observar como influye el material en la frecuencia de resonancia.

La Tabla 2 presenta un listado de los materiales por excelencia catalogados como mejores conductores.

Tabla 2. Propiedades de tres materiales más usados en la fabricación de una antena dipolo de media onda en bajas frecuencias.

Parámetros	Plata	Cobre	Oro
Permitividad relativa	1	1	1
Permeabilidad relativa	1	0.999991	0.99996

III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

A. Desfase dimensional entre diseños modelados matemáticamente y diseños modelados por ajuste

En la Tabla 3 se visualiza una comparativa de valores obtenidos por el modelo matemático (M) y ajustado (A) de las 3 antenas dipolo de media longitud en las frecuencias de 24.25, 25.8 y 27.5 GHz respectivamente, en esta misma tabla se puede identificar el desfase porcentual que representa la diferencia que existe entre estos dos tipos de modelos con sus diferentes materiales.

Tabla 3. Desfase porcentual de los parámetros gap, radio y largo del dipolo, entre las medidas de los diseños matemáticos y de ajuste en las tres frecuencias de resonancia.

	Frecuencia [GHz]		Gap	Radio	Largo del
			g[mm]	r[mm]	brazo l' [mm]
C O B R E	24,25	M	0,0294	0,0124	2,9264
		A	0,0312	0,1052	2,8282
		[%]	6,1224%	748,38%	-3,3556%
	25,8	M	0,02715	0,01162	2,7577
		A	0,029	0,105	2,657
		[%]	6,81399%	803,614%	-3,652%
	27,5	M	0,026	0,01091	2,587
		A	0,0694	0,183	2,435
		[%]	166,92%	1577,361%	-5,875%
P L A T A	24,25	M	0,0294	0,0124	2,9264
		A	0,0301	0,1053	2,8289
		[%]	5,1020%	749,193%	-3,331%
	25,8	M	0,02715	0,01162	2,757725
		A	0,029	0,105	2,657
		[%]	6,813%	803,6%	-3,65%
	27,5	M	0,026	0,01091	2,587
		A	0,0694	0,182	2,435
		[%]	166,923%	1568,19%	-5,875%
O R O	24,25	M	0,0294	0,0124	2,9264
		A	0,0312	0,1052	2,8282
		[%]	6,122%	748,387%	-3,355%
	25,8	M	0,02715	0,01162	2,757725
		A	0,031	0,105	2,657
		[%]	14,18%	803,614%	-3,652%
	27,5	M	0,026	0,01091	2,587
		A	0,0698	0,183	2,435
		[%]	168,46%	1577,36%	-5,875%

El impacto que tuvo las medidas de los diseños matemáticos y de ajuste en las frecuencias de resonancia permiten visualizar que se cumple la hipótesis de las antenas, la cual dice que mientras la frecuencia aumenta, el tamaño de la antena se reduce.

En las frecuencias de 24.25 y 25.8 GHz no existe un desfase superior al 15% en el gap mientras que para la frecuencia de 27.5 GHz supera el 100% de desfase indicando que a frecuencias cada vez más alta las dimensiones se desbordarán haciendo más complejo utilizar la matemática para diseñar estas antenas

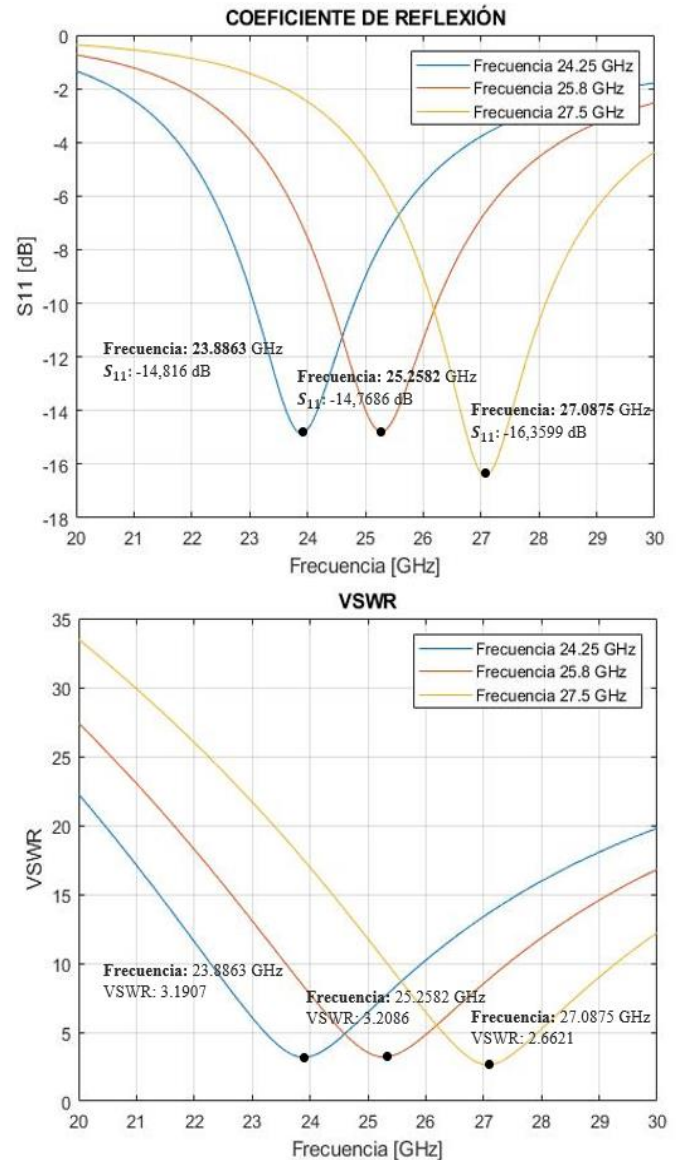
En el parámetro de radio se observa un desfase mínimo de 748,38% y máximo de 1577,361% usando el cobre como material conductor, de esta manera indica una mejora significativa en el ancho de banda debido a que el ancho de banda a bajas frecuencias está directamente relacionado con el tamaño del radio e influye de manera directa en este parámetro

B. Impacto de la frecuencia de resonancia en los parámetros de S_{11} y VSWR

El comportamiento del coeficiente de reflexión (S_{11}) y relación de onda estacionaria (VSWR) debe ser proporcional al aumento o disminución de la frecuencia de resonancia, donde los puntos mínimos de cada curva deben indicar valores entre 1 y 1.5 para VSWR y por debajo de -20 dB para (S_{11}).

Este valor de 1.5:1 correspondiente al VSWR denota un límite con respecto a la amplitud máxima de onda estacionaria que es 1.5 veces más alto que el valor límite mínimo de onda estacionaria. Tomando en cuenta que los parámetro de VSWR

y (S_{11}) están interrelacionados, como ley, al tener valores altos de pérdida por retorno se obtiene una mejora con respecto a la calidad del sistema. [5] Estos parámetros son visibles en la Figura 2.a y Figura 2.b para el diseño matemático y ajustado respectivamente tomando como prioridad el cobre como



conductor debido a que presenta dimensiones equivalentes entre sí.

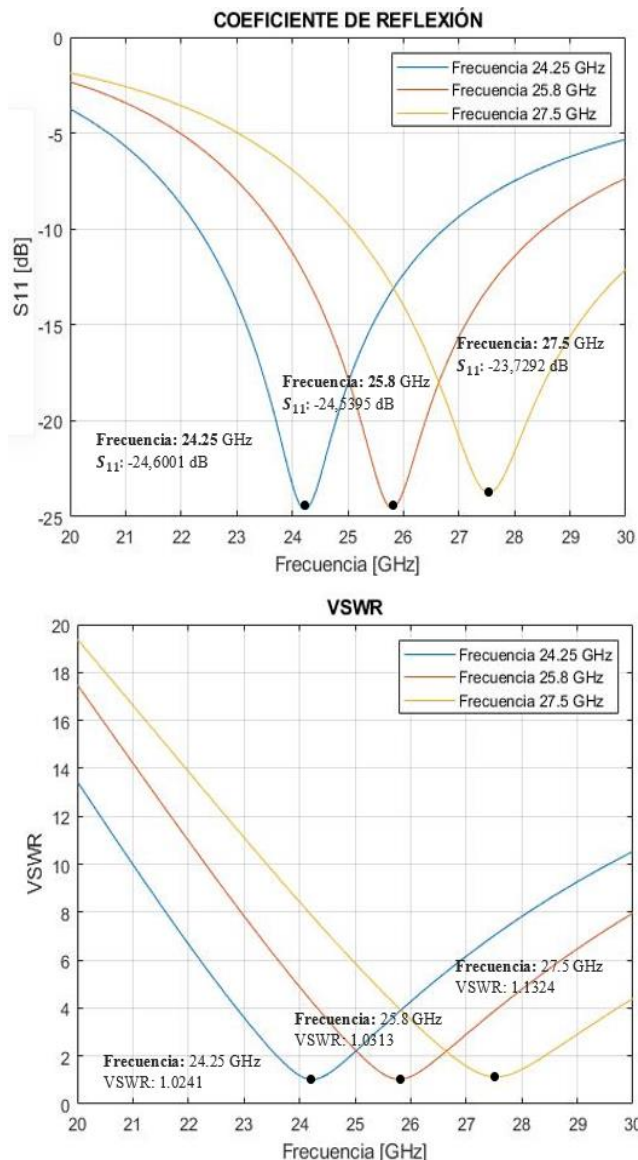
Figura 2. a. Coeficiente de reflexión (S_{11}) y relación de onda estacionaria VSWR en las 3 frecuencias utilizando el diseño matemático.

En la Figura 2.a El coeficiente de reflexión (S_{11}) es ineficiente, valores por encima de los -16 dB es un indicador de pérdidas en el diseño ya que uno de los objetivos es llegar a valores menores a este. En el mismo diseño existe una relación de onda estacionaria (VSWR) que sobrepasa a 3 y no se visualiza una relación directa o inversa de acuerdo al aumento o disminución de la frecuencia.

Los modelos presentan una frecuencia de resonancia de 23.8863 Ghz, 25.2582 Ghz y 27.0575 GHz, 1.5 a 2% menos comparado con la frecuencia requerida para este estudio.

No existe una relación creciente o decreciente continua entre la frecuencia y el parámetro VSWR, en las frecuencias

comprendidas entre 23.8863 GHz a 25.2582 GHz presenta un comportamiento acendante mientras que para las frecuencias



25.2583 GHz a 27.0875 GHz su comportamiento es descendente.

Figura 2. b. Coeficiente de reflexión S11 y relación de onda estacionaria VSWR en las 3 frecuencias utilizando el diseño ajustado.

En la Figura 2.b Los diseños sintonizados presentan mejores características de parámetros de (S_{11}) y VSWR. Se logró obtener valores significativos por debajo de los -23 dB, indicativo de bajas pérdidas por retorno con una relación de 1/100, a esto se le suma un VSWR en el rango de 1 a 1.5 el cual es un indicativo de que la antena tiene una buena eficiencia de transmisión energética, lo que se traduce en un acople casi perfecto.

C. Desfase paramétrico de dispersión en los diseños matemáticos y diseños ajustados

En la Tabla 4 se visualiza una comparativa de los parámetros del coeficiente de reflexión y VSWR obtenidos del diseño matemático (M) y ajustado (A) en oro, cobre y plata como materiales conductores.

Tabla 4. Desfase en los parámetros de (S_{11}) y VSWR en el diseño matemático y sintonizado.

Frecuencia [GHz]	S_{11}		Desfase [%]	VSWR		Desfase [%]
	M	A		M	A	
COBRE						
24,25	-14,82	-24,6	66,0%	3,1907	1,0241	-67,9%
25,8	-14,77	-24,5	66,1%	3,2086	1,0313	-67,8%
27,5	-16,36	-23,7	45,0%	2,6621	1,1324	-57,4%
PLATA						
24,25	-14,79	-24,6	66,0%	3,1978	1,0276	-67,8%
25,8	-14,75	-24,7	67,2%	3,215	1,0159	-68,4%
27,5	-16,35	-24,1	47,6%	2,6637	1,0793	-59,4%
ORO						
24,25	-14,7	-23,2	58,1%	3,2334	1,1974	-62,9%
25,8	-14,66	-22,9	56,2%	3,2498	1,245	-61,7%
27,5	-16,23	-23,3	43,5%	2,7025	1,1903	-55,9%

Con el ajuste aplicado a la antena de cobre se observó una relación inversamente proporcional para el parámetro (S_{11}) en relación al aumento a la frecuencia, para el parámetro VSWR esta relación actúa de forma contraria, al aumentar la frecuencia el valor de VSWR tiene un comportamiento creciente alejándose cada vez más de 1.

Las antenas ajustadas con plata presenta un comportamiento decreciente en el VSWR a medida que la frecuencia aumenta, sin embargo al sobrepasar los 25,8 GHz el comportamiento se ve afectado y en lugar de disminuir este valor aumenta. Por el contrario, al usar oro como conductor el VSWR tiene una relación creciente hasta los 25,8 GHz, al seguir aumentando la frecuencia el valor de VSWR disminuye.

El desfase promedio para el parámetro (S_{11}) en la frecuencia de 24,25 GHz para el cobre, plata y el oro es 63,37%, a los 25,8 GHz es 63,17% y en la frecuencia de 27,5 GHz es 45,37%, de esta manera a medida que la frecuencia va en aumento el desfase de este parámetro se verá reducido.

La antena con el material conductor modelado en cobre, plata y oro en la frecuencia 27 GHz obtuvo un VSWR de 1,1324, 1,0793 y 1,1903 respectivamente, siendo la plata el material más apropiado para ser usado como conductor en frecuencias más altas ya que su VSWR es el más cercano a 1.

D. Impacto de los parámetros de dispersión en Ancho de banda

Por lo general el ancho de banda se lo caracteriza a mncomo la banda de frecuencias en la cual la antena es capaz de funcionar de forma razonable con respecto a un parámetro dado, un ancho de banda que es muy habitual utilizar es el ancho de banda relativo a la relación de onda estacionaria VSWR. Una particularidad que opta el VSWR es con un valor menor de 1.5 en donde a base de un rango de frecuencias se elige el ancho de banda en el cual opera la antena. [6]

En la Tabla 4 se observó que en los modelos matemáticos el VSWR oscila entre 2.6621 y 3.24 haciendo imposible el análisis del ancho de banda para este diseño ya que no cumple con la recomendación de un VSWR menor a 1.5, por lo que en la Tabla 5 se presetan únicamente los diseños ajustados en cobre,cobre y plata

Tabla 5. Anchos de banda en relación con VSWR usando la especificación 1.5:1 .

	Frecuencia de Resonancia f_r [GHz]	Frecuencia inferior f_{r1} [GHz]	Frecuencia superior f_{r2} [GHz]	Ancho de Banda de Operación B_w [MHz]
COBRE	24,25	23,82	24,66	840
	25,8	25,36	26,26	900
	27,5	27,06	28,5	1440
PLATA	24,25	23,83	24,66	830
	25,8	25,35	26,26	910
	27,5	27,02	28,07	1050
ORO	24,25	23,91	24,60	690
	25,8	25,43	26,12	690
	27,5	27,03	27,94	910

Los ancho de banda de operación con un conductor de cobre tiene mejores resultados que los hechos con plata y oro a medida que su frecuencia aumenta, yendo desde los 840 MHz hasta los 1440 MHz. Por otro lado el conductor de oro presenta anchos de banda de 690 Mhz en las frecuencias de 24.25 y 25.8 GHz y 910 Mhz en 27.5 GHz, cerca del 20% menos comparado con un conductor de plata y cobre.

E. Patrón de radiación y ganancia

En la Figura 3 se aprecia el patrón de radiación en 2D y 3D con un corte bidimensional en el plano eléctrico (E) para los modelos realizados por ajuste en las frecuencias de operación de 24.25, 25.8 y 27.5 GHz respectivamente.

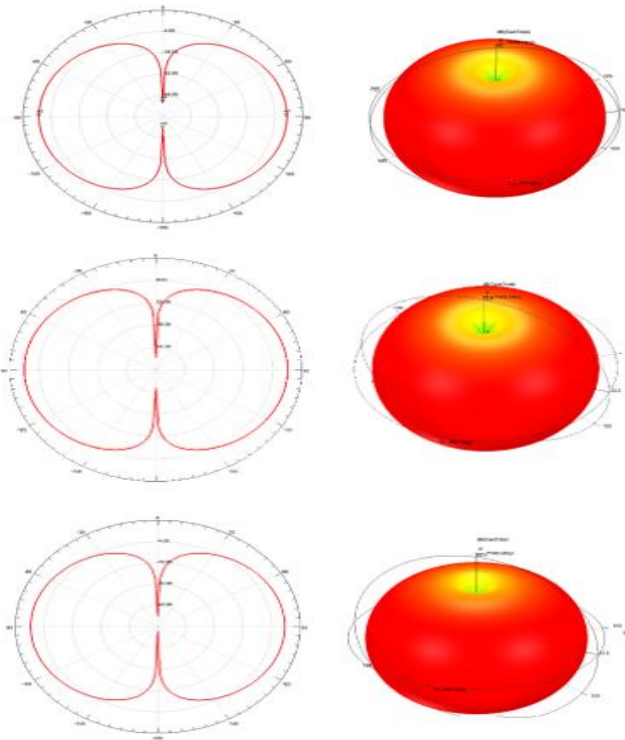


Figura 3. Patrón de radiación en 2D y 3D utilizando el diseño ajustado.

El plano 2D se aprecia que los lóbulos se expanden de manera progresiva en las 3 frecuencias de resonancia

alcanzando su directividad máxima a los 90° y -90° y mínima a los 0° y 180° . Característica principal del dipolo de media onda al asemejarse su patrón de radiación del plano E con el de una a una “dona”

La Tabla 6 corresponde a las ganancias obtenidas al comparar los diseños matemáticos con los diseños ajustados.

Tabla 6. Ganancias mínimas y máximas de cada material

		Frecuencia de Resonancia f_r [GHz]	G_{MIN} [dB]	$G_{MÁX}$ [dB]
DISEÑO MATEMÁTICO	COBRE	23.8863	-63.5389	2.0710
		25.2582	-64.3518	2.0695
		27.0875	-64.6442	2.3204
	PLATA	23.8863	-62.2890	2.0627
		25.2582	-65.2350	2.0684
		27.0875	-62.6575	2.3277
	ORO	23.8863	-62.3087	2.0424
		25.2582	-65.2545	2.0475
		27.0875	-62.6804	2.3047
DISEÑO AJUSTADO	COBRE	24.25	-51.8257	2.1350
		25.8	-61.3297	2.1639
		27.5	-57.1376	2.4254
	PLATA	24.25	-53.6982	2.1862
		25.8	-62.3855	2.1653
		27.5	-57.3656	2.4088
	ORO	24.25	-49.5374	2.1669
		25.8	-50.2984	2.1641
		27.5	-56.0048	2.4311

Dentro de los parámetros de la antena, la ganancia se expresa en términos de la energía radiada por una antena estándar, como puede ser una antena isotrópica o de dipolos resonantes de media. [7]

La ganancia máxima que alcanzó los diseños por ajuste con respecto a los diseños matemáticos oscila entre los 3 y 4.5% usando cobre como material conductor, 3.48 y 4.7% al usar plata, y 5.484 a 5.69% en el oro. Este factor indica que con el Oro se conseguiría una mejor ganancia.

En los modelos ajustados al cambiar el material conductor no se observó cambios significativos en la ganancia, en las frecuencias de 24.25 y 25.8 GHz la G_{max} no supero los 2.16 dB al contrario de la frecuencia de 27.8 que sobrepasó los 2.4 dB.

IV. CONCLUSIONES

Al variar el material conductor y aumentar la frecuencia de sintonización se evidenció que existe una diferencia significativa al comparar los valores dimensionales modelados por la matemática y las modeladas por ajuste, donde el ajuste clave y principal para obtener valores objetivos de VSWR y (S_{11}) fue la variación del radio del dipolo, con un desfase mayor al 700% de aumento donde no solo mejoró el ancho de banda en 3.21% sino también disminuyó el VSWR en un 63% acercándolo lo más posible a 1.

En las frecuencias de 24.25, 25.8 y 27.5 GHz al realizar el ajuste se obtuvo una mejora de más del 40% con respecto a (S_{11}), siendo el cobre el material conductor que mejores características presentó durante el modelamiento de la antena ya que a medida que su frecuencia aumentaba su parámetro de VSWR también aumentaba de manera proporcional.

Se obtuvieron valores óptimos del coeficiente de reflexión (S_{11}) y VSWR al usar como material conductor la plata para la frecuencia de 27.5 GHz consiguiendo un valor de VSWR de 1,0793, 7.06% menos de la media al usar cobre y oro en la misma frecuencia. Por el contrario, el oro es el material conductor que peores resultados presentó para parámetros de ancho de banda, VSWR y (S_{11}), esto indica que el material que será utilizado en los brazos del dipolo como conductor no debe tener una permeabilidad relativa baja.

V. REFERENCIAS

- [1] A. Durán, «Estudio y caracterización del canal y de la propagación en ondas milimétricas, orientada a su utilización en redes de comunicación móviles 5G,» pp. 4-12, 2017.
- [2] S. Carlos, «Caracterización de ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta generación de comunicaciones inalámbricas,» Guayaquil, 2018, pp. 36-38.
- [3] I. De la torre y L. Fausto, «Comparación de los parámetros de dispersión de la antena dipolo de media onda en las frecuencias de 60, 67, y 74 GHz,» pp. 8-12, 2021.
- [4] A. Inc., The Arrl Antenna Book For Radio Communications Handcover, Austin TX: Amer Radio Relay League, 2015.
- [5] J. D y R. J, «cisco,» 7 Agosto 2007. [En línea]. Available: https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.html. [Último acceso: 10 Agosto 2021].
- [6] C. Suárez, A. Páez, J. Gómez y M. Ferrando, «Técnica de optimización del ancho de banda en una antena PIFA,» pp. 4-5, 2009.
- [7] E. Monachesi y A. M. Frenzel, «Conceptos generales de antenas,» *edUTecNe*, pp. 4-8, 2011.