

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

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

**TEMA:
COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE UNA
ANTENA MICROSTRIP PARA LA BANDA DE 18 A 28 GHZ**

**AUTORES:
KATHERINE MISHELLE CONTERO ROMÁN
EDWIN JOSUÉ SALTOS NARVÁEZ**

**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, septiembre del 2021

Cesión de derechos de autor

Nosotros, Katherine Mishelle Contero Román y Edwin Josué Saltos Narváez, con documentos de identificación N°1716682131, , N°1724125461 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 intitulado **COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP EN LA BANDA DE FRECUENCIAS DE 18 A 28 GHZ** mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, 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 entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Katherine Mishelle Contero Román
C.C: 1716682131



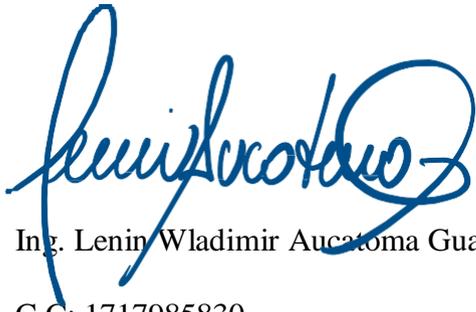
.....
Edwin Josué Saltos Narváez
C.C: 1724125461

Quito, septiembre de 2021

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP PARA LA BANDA DE 18 A 28 GHZ realizado por Edwin Josué Saltos Narváez y Katherine Mishelle Contero Román, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre de 2021



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

C.C: 1717985830

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Pedro Contero y Myrian Román ya que son el pilar fundamental en mi vida, siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral como económica, gracias por sus consejos y sobre todo su paciencia, todo lo que hoy soy es gracias a ellos.

A mis hermanos Bolívar y Natalia que más que hermanos son mis amigos, ustedes han sido mi ejemplo a seguir, brindándome su apoyo día a día en el transcurso de mi carrera universitaria, sin lugar a duda son los mejores hermanos.

Quizá en este momento no entiendas mis palabras, pero para cuando estés lista quiero que sepas que eres mi mayor motivación para seguir adelante y nunca rendirme siendo un ejemplo para ti mi princesa Paula.

A mi esposo Danilo Rodríguez por su apoyo, amor, comprensión y motivación que fueron indispensables para mi formación personal y profesional.

Dedico este esfuerzo a todas las personas que me apoyaron directa o indirectamente en esta etapa de mi vida, finalmente podré decir lo logramos.

Katherine Mishelle Contero Román

DEDICATORIA

A mis amados padres, por permitirme culminar mis estudios con tanto esfuerzo, cariño y apoyo incondicional a lo largo de todo este tiempo, reconozco que el fervor de un padre y una madre de poner todos sus sueños y anhelos en su hijo son ahora reconocido por mí y por toda la familia, dedico todo mi esfuerzo a ustedes ya que sin su apoyo no podría realizar este éxito tan maravilloso que hoy puede decir lo logré con mucho orgullo para ustedes, a Edwin mi padre que sin sus consejos, apoyo, cariño, risas y penas no podría saber cómo en realidad funciona el mundo y lo que debo enfrentar ahora como profesional, te amo papi, a ti mamá Cecilia, gracias por tus consejos de no desfallecer, de seguir adelante, de trabajar duro y tratar de ser siempre el mejor y no del montón, siempre me dio un respiro para los días que no iban tan bien las cosas, muchas gracias mami, sé que tú me amas a tu manera y yo igual siempre lo haré, a mi hermano Aarón que siempre me recibía con un chiste y su alegría para seguir adelante y culminar todos mis objetivos te agradezco mucho porque con tu llegada al mundo me diste una razón más para ser mejor y de alguna manera ser un ejemplo para ti, de perseverancia y esfuerzo de culminar todos mis objetivos, hermano tenemos muchos más retos en la vida que debemos afrontar, sé que lo haremos bien y brillaremos juntos orgulleciendo a nuestros padres, de igual manera a mis abuelitos paternos y maternos con ese cariño caracterizado de calor humano y como nieto cumplir un éxito más para que miren a su nieto ser un profesional, Elsitá tú que me has visto crecer te dedico mi éxito gracias por todo y abuelito Jorge que gusto saber que viste con tus propios ojos a tu nieto ser un profesional, amo a toda mi familia a mi manera y sé que este será uno de los tantos éxitos que sembraré gracias a su apoyo incondicional, muchas gracias.

Con amor su hijo, hermano y nieto

Edwin Josué Saltos Narváez

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar por agradecer a Dios quien ha sido mi fortaleza y mi guía para seguir adelante.

A mis padres por todo el sacrificio que hicieron por poderme dejar la mejor herencia el estudio.

En especial a mi amada madre quien con sus palabras de aliento nunca me dejo decaer para que siguiera adelante y siempre cumpla mis metas.

A mi padre por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y perseverancia todo se consigue.

A mi tutor Ing. Lenin Aucatoma amigo y excelente docente que sin su ayuda nada hubiese sido posible, gracias por sus palabras de aliento cuando más las necesité.

A mi compañero de titulación Edwin Saltos, quien apporto con información valiosa y gracias a esto pudimos culminar esta etapa.

Finalmente agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme ser parte de ella para poder estudiar mi carrera, así como también a todos los docentes que compartieron sus conocimientos día a día para salir adelante.

Katherine Mishelle Contero Román

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por darme la vida, darme a mis padres, darme a mi familia que siempre me tuvo mucho amor, apoyo y cariño para seguir mis sueños, cumplir mis metas y culminar mis objetivos, Edwin Ernesto Saltos Flores te agradezco por tantos años de esfuerzo incansable, más de 26 años juntos, papi agradezco porque nunca dejaste de creer en mí, de saber que algún día lo iba a lograr y confiar en mí, siempre supiste como entenderme y decirme siempre la verdad y tratar de mejorar mi experiencia de vida, gracias por querer y amarme tanto, por ser un padre ejemplar preocupado por su familia, entregado a sus hijos y ser tan correcto, sé muy seguro desde adentro de mi corazón y mis fuerzas que cuando yo tenga una familia seré como tú un padre amoroso y siempre un mejor ser humano que creo es lo más importante te amo, agradezco a mi mamá Cecilia Elizabeth Narváez Sánchez que siempre estuviste ahí tratando de que sea mejor, que no me dé por vencido a tu manera eso sí, siempre quieres que sea un excelente profesional, una persona de bien y un ser excepcional, sé que algún día lo seré y vas a estar muy orgullosa de ver a tu primer hijo como un hombre trabajador de buenas costumbres y fe en las convicciones que me he planteado siempre, tu apoyo siempre ha sido una gran virtud para mí, sé que próximamente verás a tu hijo triunfar y llegar más alto te amo, a mi hermano Irwin Aarón Saltos Narváez mi querido y entrañable hermano agradezco por tu vida, tu apoyo, tu forma de quererme tan inocente y sublime, ahora vamos a estar mucho más unidos, más que nunca, vamos a seguir adelante triunfando siendo unos hombres, correctos de bien y mejores igual que nuestros padres honestos y justos, gracias hermano te amo mi gordito, a Cesar Washington Narváez Pérez, Elsa Marina Sánchez Mayquez, Jorge Ernesto Saltos Castro y Gradiola Evangelina Flores Dávila, mis abuelitos que gracias a Dios en vida me vieron ser un gran profesional, viendo a su nieto cumplir un éxito más en la vida les agradezco por sus muestras de cariño, apoyo, amor muchas gracias por tenerme fe y siempre quiero que me acompañen a ver más éxitos, mi Dios dales la vida para que ellos sean felices junto a mí, muchas gracias por todo familia.

Edwin Josué Saltos Narváez

Comparación de los parámetros de dispersión de una antena Microstrip para la banda de 18 a 28 GHz

Katherine Mishelle Contero Román
Departamento de Ingeniería en
Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
kcontero@est.ups.edu.ec

Edwin Josué Saltos Narváez
Departamento de Ingeniería en
Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
esaltosn@est.ups.edu.ec

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

Abstract — This contribution details a microstrip-type antenna with a patch for the next 5G technology at resonant frequency distributed in a range of values from 18 (GHz) to 28 (GHz), with a low-cost substrate, small rectangular patch and their respective ground, in which the values found by math calculations (equations) are compared versus the values found by simulation in the Ansys HFSS program, range in three frequencies 18-23-28 (GHz) in the millimeter wave bands, at the time of simulation, values are obtained for the analysis: reflection coefficient (S_{11}), the radiation pattern and voltage standing wave ratio (VSWR), these aspects include the components that dimension the microstrip antenna in order to analyze the antenna in three blocks: patch-transmission line, substrate and ground, the adjustment in the simulation obtaining a reflection coefficient in values between -20 to -30 (dB), for 18.00 - 23.00-28.00 (GHz) a VSWR of 1.0487-1.0031-1.0560 respectively. The analysis finds a margin of error that exists between the theorist and real values, those being shown in tables their proportional values, that is, the real to the theorist, to finalize the conclusions they will let us know the variations that can be generated when searching some resonant frequency which is done by varying its parameters.

Key words — *rectangular patch, coefficient reflection, standing wave, microstrip antenna.*

Resumen — La presente contribución detalla una antena del tipo microstrip con un parche para la próxima tecnología 5G a frecuencia resonante distribuida en un rango de valores de 18 (GHz) hasta 28 (GHz), con un sustrato de bajo costo, parche rectangular pequeño y su respectiva tierra, en la cual se compara los valores hallados por cálculos matemáticos (ecuaciones) versus los valores hallados por medio de simulación en el programa Ansys HFSS, rango en tres frecuencias 18-23-28 (GHz) en las bandas de ondas milimétricas, al momento de simular se obtiene valores para el análisis: coeficiente de reflexión (S_{11}), el patrón de radiación y la relación de onda estacionaria en voltaje (VSWR), dichos aspectos engloban los componentes que dimensionan a la antena microstrip con el fin de analizar en tres bloques a la antena: parche-línea de transmisión, sustrato y la tierra, así contemplan el ajuste en la simulación obteniendo un coeficiente de reflexión en valores entre -20 a -30 (dB), para 18,00-23,00-28,00 (GHz) un VSWR de 1,0487-1,0031-1,0560 respectivamente. El análisis encuentra un margen de error que existe entre los valores teórico y real siendo así demostrado en tablas sus valores proporcionales, es decir lo

real a lo teórico, para finalizar las conclusiones nos darán a conocer las variaciones que se puede generar al momento de buscar alguna frecuencia de resonancia lo cual se realiza variando sus parámetros.

Palabras clave — *parche rectangular, coeficiente de reflexión, onda estacionaria, antena microstrip.*

I. INTRODUCCIÓN

La quinta generación de comunicaciones móviles (5G) empezó a desplegarse en Europa a principios del 2019 y se prevé que tenga un gran impacto en la sociedad digital, alta velocidad, mayor capacidad de conexión y baja latencia, estas características permitirán la puesta en marcha de productos y servicios en los que se requiera alta velocidad, como aplicaciones multimedia o de realidad aumentada, como el despliegue definitivo de internet de las cosas (IoT) y también una posible conexión masiva de dispositivos con baja latencia a su servicio [1]. Es importante recalcar que las características de dispersión dentro de un diseño de antena son muy importantes debido a que son las que nos ayudan a describir la manera en cómo se comportan los campos eléctricos, ya que evalúan la microonda y la frecuencia de resonancia [2]. Se realizó un análisis comparativo de una antena microstrip en el rango de frecuencias desde 57 (GHz) a 71 (GHz) [3]. En este punto se requiere un ajuste necesario en las dimensiones de los elementos que componen la antena [4]. Los artículos antes mencionados se basan en el estudio y análisis de altas frecuencias, en el cual se puede determinar que a una menor frecuencia se necesita una mayor proporcionalidad física de la antena y a su contrario si se tiene un rango mayor de frecuencia por consiguiente la antena será diminuta, esto también aplica a todos sus elementos y componentes de dispersión.

Con lo antes mencionado se quiere realizar un diseño con uso de fórmulas matemáticas y comparar en una simulación con el fin de establecer márgenes de error en los modelos de cada antena microstrip por el rango de frecuencias establecidas para el estudio y de esta forma establecer los parámetros de dispersión aceptados.

II. DISEÑO Y CONFIGURACIÓN

La configuración del diseño básico de la antena Microstrip tipo patch rectangular con línea de transmisión se visualiza en la Figura 1 con sus elementos: Un patch (tipo de rectangular), una línea de transmisión, un sustrato dieléctrico y un plano de tierra. La misma que opera a tres frecuencias de resonancia: 18, 23 y 28 GHz. Para estos diseños se utilizó el software ANSYS HFSS, para determinar los parámetros de dispersión mediante un análisis comparativo entre el diseño matemático en el cual se utilizaron las fórmulas para el dimensionamiento y el diseño de ajuste. A medida que se varía la frecuencia de resonancia se observó que existen desfases mínimos y máximos en cada una de las gráficas. En cada simulación se debe obtener un valor de -20 dB a -30 dB para el coeficiente de reflexión, un VSWR que va de 1 a 1.5 y un patrón de radiación sin un número significativo de nulos.

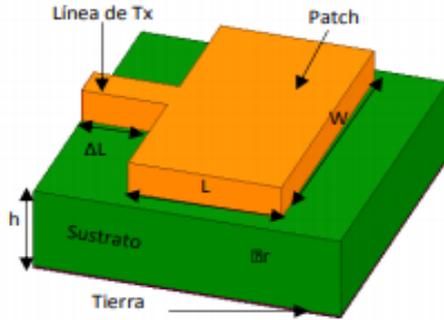


Figura 1. Estructura de la antena Microstrip (Tipo patch rectangular).

Para el cálculo de las dimensiones se realiza mediante las ecuaciones: 1,2,3,4,5 [6]

Ancho del elemento radiante

$$W_p = \frac{c}{2f_1 \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)} \quad (1)$$

Constante Dieléctrica Efectiva

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10h}{W_p} \right]^{-1/2} \quad (2)$$

Extensión de Longitud

$$\Delta L = 2 \frac{h}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

Longitud efectiva del elemento conductor

$$L_e = \frac{c}{2f_1 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (4)$$

Longitud del elemento radiante

$$L = L_e - 2\Delta L \quad (5)$$

Donde:

c = velocidad de la luz ($3 \times 10^8 m/s$)

f_1 = frecuencia de resonancia (GHz)

ϵ_r = permitividad relativa

ΔL = variación de la longitud del elemento radiante

En la Tabla 1 se muestra el resultado de las medidas obtenidas por ajuste para cada diseño en las frecuencias establecidas.

Estos diseños son los que más se acercan a los parámetros S_{11} y $VSWR$, ancho de banda y ganancia propuestas como meta en la investigación.

Tabla 1. Mediciones de los parámetros de la antena para las frecuencias de 18 GHz, 23 GHz y 28 GHz obtenidos por ajuste.

Parámetro	Unidad	18 GHz	23 GHz	28 GHz	
Línea Tx	ΔL	mm	0.43	0.6841	0.3759
Patch	L	mm	3.19	2.2851	2.13
	W_p	mm	5.3206	4.1651	3.5135
Tierra	x	mm	5.35	4.1651	3.191
	y	mm	5.35	4.2651	3.5245
	z	mm	0.01	0.01	0.01
Sustrato	h	mm	1.478	1.8832	1.4521
	r	mm	4.4	4.4	4.4
	x	mm	5.35	4.1651	3.191
	y	mm	5.35	4.2651	3.5245

III. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

Para la simulación se diseñó una antena parche microstrip en la cual se tomó tres frecuencias centrales: 18,23 y 28 GHz con un ancho de banda de (0.13 GHz, 0.28 GHz y 0.31 GHz) respectivamente, con un sustrato dieléctrico FR4-epoxy y un parche diminuto idóneo para antenas miniaturas, con una constante dieléctrica $\epsilon_r=4.4$ usada para todo el rango de frecuencias resonantes, usa una tierra plana $h=0.01$ mm de manera que todos los valores mencionados con anterioridad son usados en todas las frecuencias resonantes por defecto, la antena de 18 GHz utiliza un parche diminuto de dimensiones $L \times W_p = 3.19 \times 5.3206$ con una línea de transmisión Tx = 0.43 mm, la antena de 23 GHz utiliza un parche diminuto de dimensiones $L \times W_p = 2.2851 \times 4.1651$ con una línea de transmisión Tx = 0.6841 mm y la antena de 28 GHz utiliza un parche diminuto de dimensiones $L \times W_p = 2.13 \times 3.5135$ con una línea de transmisión Tx = 0.43 mm.

La configuración del parche, línea de transmisión, sustrato y tierra usada dentro de la simulación del programa Ansys HFSS, viene diseñada por capas en componentes de dimensiones 3D, nótese en la figura 2 como el parche viene conectado por la línea de transmisión donde se genera el campo eléctrico hacia el sustrato con su respectiva tierra.

Con el fin de realizar un análisis más detallado se segmenta la antena en tres partes:

1. Patch y línea de transmisión.
2. Sustrato.
3. Tierra.

Las mismas que se detallan a continuación:

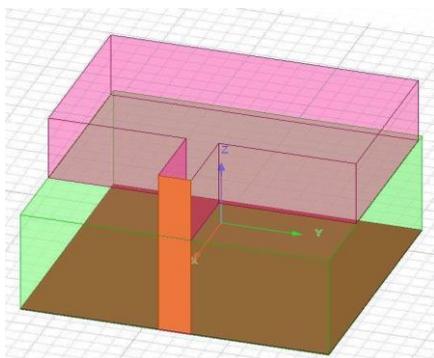


Figura 2. Diseño estructura de la antena Microstrip (Tipo patch rectangular) simulación programa Ansys HFSS.

A. Efecto de la frecuencia resonante (f_0) en el patch y línea de transmisión

En la Tabla 2 y Figura 3, se aprecia la relación que existe entre los valores teóricos y ajustados, en cuanto al valor teórico la parte del patch rectangular y la línea de transmisión se analiza que, conforme aumenta la frecuencia de resonancia tiende a decrecer el valor del ancho (W_p) y largo (L) del parche, debido al espesor del dieléctrico estos valores pueden variar dependiendo de la forma utilizada, además la longitud de la línea de transmisión (ΔL) disminuye debido a que se tiene una relación directamente proporcional en sus dimensiones.

A diferencia en el valor ajustado diseñado en la simulación se visualiza que el ancho (W_p) y largo (L) del parche disminuye, debido a que se tiene un menor efecto en la frecuencia de resonancia, a diferencia del teórico la línea de transmisión (ΔL) aumenta de 18 a 23 GHz debido a la constante dieléctrica produciendo efectos de radiación considerables y disminuye en 28 GHz teniendo un valor de desfase menor en comparación a los otros diseños.

Tabla 2. Comparativos valores matemáticos versus valores ajustados respecto a las cotas en el patch rectangular y línea de transmisión de la antena microstrip para las frecuencias de 18 GHz, 23 GHz y 28 GHz obtenidos por ajuste.

		Ancho parche W_p [mm]	Largo parche L [mm]	Longitud Línea Tx ΔL [mm]
18 GHz	Valor Teórico (VT)	5,1	3,15	0,65
	Valor Ajuste (VA)	5,3206	3,19	0,43
	% de Desfase	4,33%	1,27%	33,85%
23 GHz	Valor Teórico (VT)	3,97	2,27	0,63
	Valor Ajuste (VA)	4,1651	2,2851	0,6841
	% de Desfase	4,91%	0,67%	8,59%
28 GHz	Valor Teórico (VT)	3,26	1,68	0,62
	Valor Ajuste (VA)	3,5135	2,13	0,3759
	% de Desfase	7,78%	26,79%	39,37%

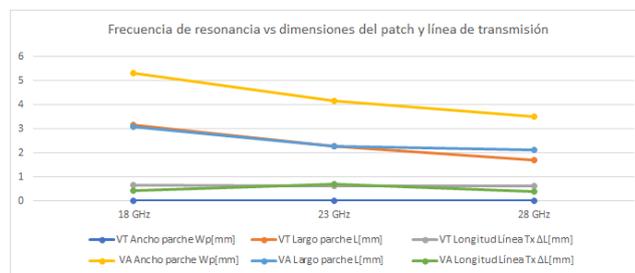


Figura 3. Frecuencia de resonancia vs dimensiones del patch y línea de transmisión.

B. Efecto de la frecuencia resonante (f_0) en el sustrato

En la Tabla 3 y Figura 4, para el alto del sustrato(h) se tomó un valor de 1,558 mm como referencia propia del material para obtener el valor teórico, en donde se observa que conforme aumenta la frecuencia de resonancia tiende a decrecer el valor del ancho (w_g), largo (L) y alto (h) del sustrato ocasionando una disminución de pérdidas por ondas de superficie, en cambio en la simulación los valores por ajuste, el ancho (w_g) y largo (L) del sustrato disminuye conforme aumenta la frecuencia de resonancia, el alto del sustrato (h) aumenta en 18 a 23 GHz incrementando el valor del ancho de banda y luego disminuye en 28 GHz debido a que se debe cumplir la relación $h < \frac{\lambda_0}{100}$.

Tabla 3. Comparativos valores matemáticos versus valores ajustados respecto a las cotas en el sustrato de la antena microstrip para las frecuencias de 18 GHz, 23 GHz y 28 GHz obtenidos por ajuste.

		Ancho sustrato w_g [mm]	Largo sustrato l_g [mm]	Alto sustrato h [mm]
18 GHz	Valor Teórico (VT)	6,47	6,47	1,558
	Valor Ajuste (VA)	5,35	5,35	1,478
	% de Desfase	17,31%	17,31%	5,13%
23 GHz	Valor Teórico (VT)	5,65	5,65	1,558
	Valor Ajuste (VA)	4,1651	4,2651	1,8832
	% de Desfase	26,28%	24,51%	20,87%
28 GHz	Valor Teórico (VT)	5,08	5,08	1,558
	Valor Ajuste (VA)	3,191	3,5245	1,4521
	% de Desfase	37,19%	30,62%	6,80%

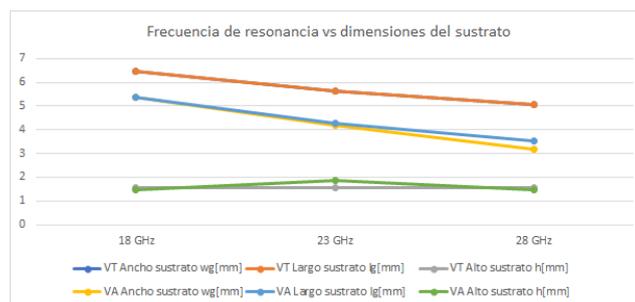


Figura 4. Frecuencia de resonancia vs dimensiones del sustrato.

C. Efecto de la frecuencia resonante (f_0) en el plano de tierra

En la Tabla 4 y Figura 5, se observa que para el alto del sustrato (h) se tomó un valor constante de 0,01mm, además en cuanto al diseño en valores teóricos conforme aumenta la frecuencia de resonancia tiende a decrecer el valor del ancho (x) y largo (y) del plano de tierra debido a que mantiene una relación con las dimensiones del sustrato.

A diferencia en el diseño de la simulación el valor ajustado, se observa que el alto del plano de tierra(h) se mantiene constante. Además, el ancho (x) y el largo (y) del plano de tierra disminuye con respecto al valor teórico teniendo un desfase promedio en el ancho (x) de 26,93% y en el largo de (y) de 24,15%.

Tabla 4. Comparativos valores matemáticos versus valores ajustados respecto a las cotas en la lámina de tierra de la antena microstrip para las frecuencias de 18 GHz, 23 GHz y 28 GHz obtenidos por ajuste.

		Ancho tierra x[mm]	Largo tierra y[mm]	Alto tierra h[mm]
18 GHz	Valor Teórico (VT)	6,47	6,47	0,01
	Valor Ajuste (VA)	5,35	5,35	0,01
	% de Desfase	17,31%	17,31%	0,00%
23 GHz	Valor Teórico (VT)	5,65	5,65	0,01
	Valor Ajuste (VA)	4,1651	4,2651	0,01
	% de Desfase	26,28%	24,51%	0,00%
28 GHz	Valor Teórico (VT)	5,08	5,08	0,01
	Valor Ajuste (VA)	3,191	3,5245	0,01
	% de Desfase	37,19%	30,62%	0,00%

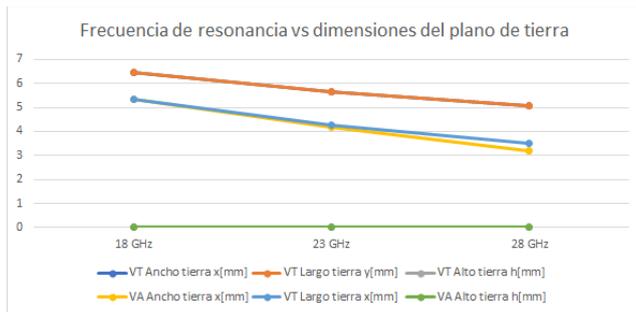


Figura 5. Frecuencia de resonancia vs dimensiones del plano de tierra.

D. Efecto de la frecuencia resonante (f_0) sobre el patrón de radiación.

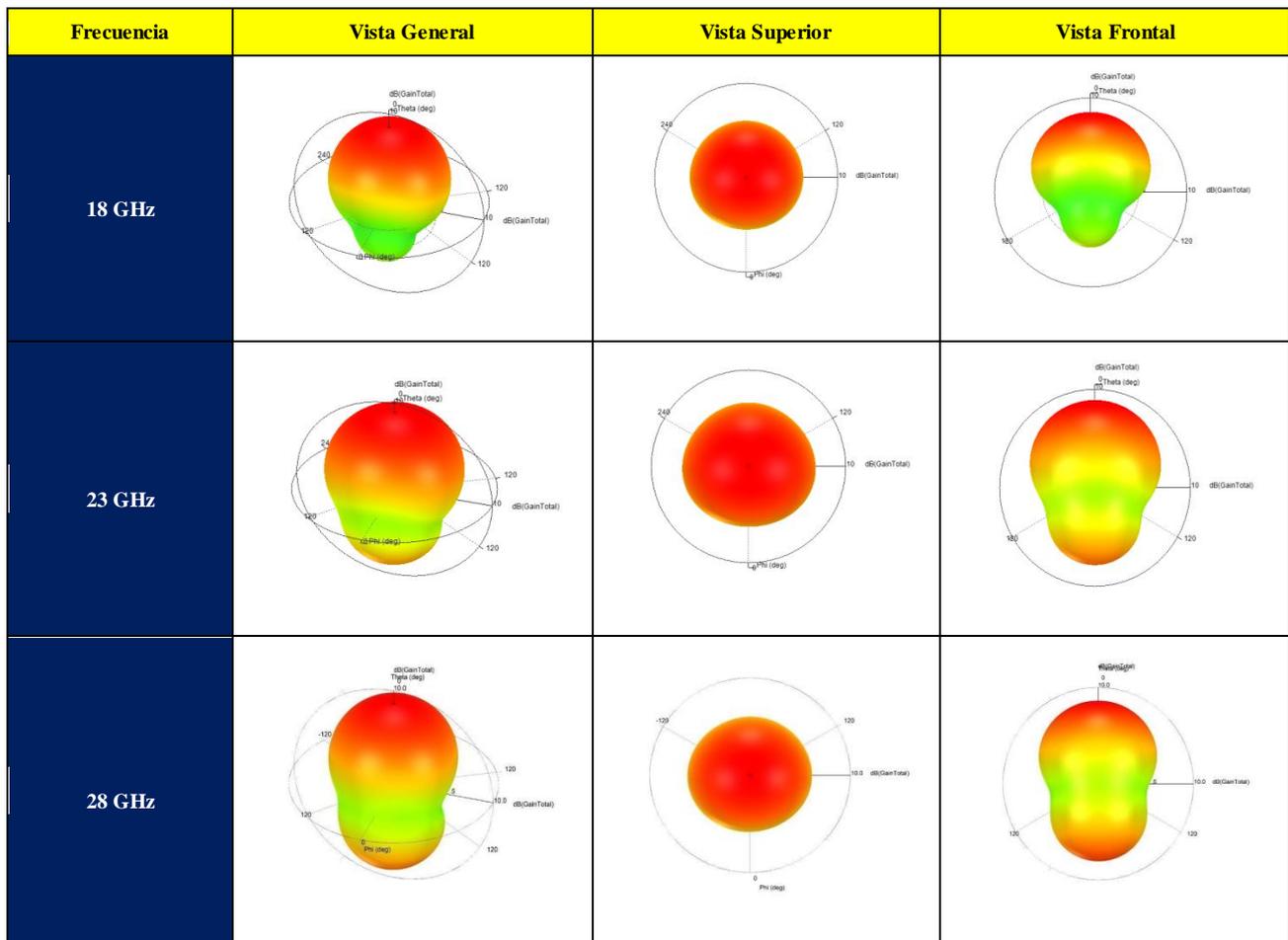
En la Figura 6. Se aprecia los patrones de radiación en 2D en el plano H con un ángulo de corte de $\Phi=90^\circ$ de las frecuencias de resonancia se observa que la energía está concentrada en el lóbulo principal, pero a medida que la frecuencia de resonancia se intensifica a -3dB al lóbulo posterior por consiguiente se vuelve más grande.



Figura 6. Patrones de radiación en 2D plano H obtenidos por ajuste en frecuencias de 18,23 y 28 GHz.

En la tabla 5. Observa los patrones de radiación en 3D de las frecuencias de resonancia en la parte de color rojo se observa el incremento de energía hacia el lóbulo principal, a medida que la frecuencia de resonancia aumenta se nota como la energía se distribuye un poco más hacia el lóbulo secundario ocasionando un incremento del mismo, debido a las superficies de borde ocasionado efectos de borde [4] que afectan específicamente en la longitud efectiva del parche va disminuyendo y causa un incremento en el lóbulo secundario, las cuales se aprecian tanto en la Figura 6.

Tabla 5. Patrones de radiación en 3D obtenidos por ajuste en frecuencias de 18, 23 y 28 GHz.



E. Comparación entre el coeficiente de reflexión y la frecuencia de resonancia (f_0)

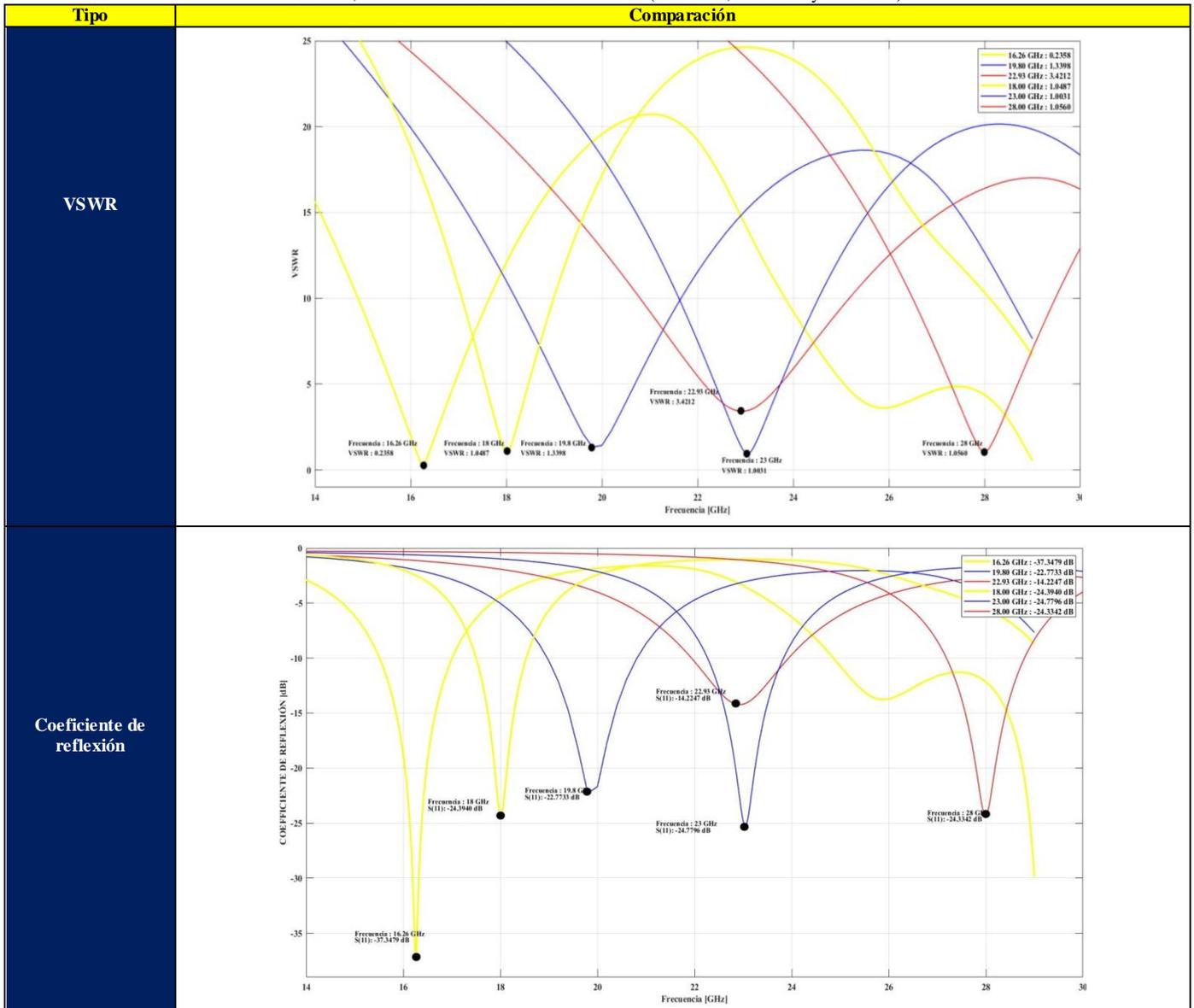
Se realizó un análisis comparativo del coeficiente de reflexión de las tres frecuencias resonantes, (parámetro S_{11} , determina la cantidad de potencia de entrada a la antena sobre la potencia reflejada).

En cada diseño obtenido por ajuste, se alcanzó valores con pérdidas de retorno por debajo de los -20 dB que corresponde a una relación de 1/100, es decir, lo que se transmite por la antena con lo que se pierde; relación que se considera aceptable para el funcionamiento de la antena, en la tabla 6 se muestra la comparación de coeficientes de reflexión versus la frecuencia de resonancia de los tres diseños, donde se obtiene valores por debajo de los -20 dB, se observa que los valores cumplen con el parámetro nominal ya que debe transferir la mayor cantidad de energía de un punto hacia otro en los diseños.

F. Comparación entre el VSWR y la frecuencia de resonancia (f_0)

La comparación del parámetro de (VSWR) versus las frecuencias de resonancia se muestra en la tabla 6 de los tres modelos propuestos, este parámetro debe tener un valor inferior a 2 para ser considerado óptimo, considerando un valor igual a 1 ideal, es decir existe un buen acoplamiento de impedancias de la línea de transmisión, siendo 50Ω la impedancia característica de este tipo de antena, dado por sentado que los valores máximos y mínimos de voltaje de la relación a la onda estacionaria se aprecia como el pico más bajo que encuentra a la frecuencia de resonancia, encontrando así el punto ideal de (VSWR).

Tabla 6. Comparación matemática y ajuste entre relación de onda estacionaria (VSWR) y coeficiente de reflexión (S_{11}) vs frecuencia de resonancia 18, 23 y 28 GHz, las cuales tienen un ancho de banda de (0.13 GHz, 0.28 GHz y 0.31 GHz).



G. Impedancias

obtenidas en los modelos matemáticos versus los modelos ajustados

Tabla 7. Comparación matemática y ajuste de los valores de impedancia para frecuencias de resonancia 18, 23 y 28 GHz.

	Matemático	Ajuste
18 GHz	48,69 - 0,30i	44,65 - 2,0i
23 GHz	58,27 - 1,04i	45,35 - 2,94i
28 GHz	72,95 + 6,83i	55,99 + 2,34i

La impedancia de entrada tiende a disminuir conforme aumenta el ancho de la antena (W). También depende del tipo de alimentación en este caso se ocupó por línea de transmisión teniendo como impedancia característica 50 Ω. En la Tabla 7 se tiene una comparación de los valores de impedancia matemática y de ajuste en donde se tiene un desfase promedio de 17,92%.

H. Variación de frecuencia de resonancia (f_0) al cambiar el material del patch, sustrato, tierra

Para diseñar a una frecuencia de 18 GHz se empleó el cobre como material del patch y línea de transmisión, para la frecuencia de 23 GHz el material es aluminio y para 28 GHz el material es grafito, el cual está situado sobre un sustrato de material FR4-epoxy, cuya permitividad relativa es $\epsilon_r = 4.4$ y un plano de tierra de material cobre para las tres frecuencias respectivamente como se observa en la Tabla 8.

Se eligieron estos materiales después de realizar los ajustes necesarios para cada frecuencia establecida, llegando así a cumplir los valores de los parámetros de dispersión establecidos en la investigación.

Tabla 8. Variación de la frecuencia al cambiar el material del patch, sustrato, tierra.

Frecuencia	Categoría	Material	Frecuencia	
		Cobre	18,0000	
18 GHz	Patch y Línea TX	Aluminio	19,2654	
		Grafito	17,8746	
		Material	Frecuencia	
	Sustrato	Rogers RO 3003	16,7893	
		FR4 epoxy	18,0000	
		Roger RO 3010	19,2568	
	Tierra	Material	Frecuencia	
		Oro	19,0365	
		Cobre	18,6278	
23 GHz	Patch y Línea TX	Hierro	18,000	
		Material	Frecuencia	
		Cobre	25,4376	
	Sustrato	Aluminio	23,0000	
		Grafito	21,0374	
		Material	Frecuencia	
	Tierra	Rogers RO 3003	24,3940	
		FR4 epoxy	23,0000	
		Roger RO 3010	22,9358	
	28 GHz	Patch y Línea TX	Material	Frecuencia
			Oro	24,6136
			Cobre	23,1016
Sustrato		Hierro	23,0000	
		Material	Frecuencia	
		Rogers RO 3003	26,7936	
Tierra		FR4 epoxy	28,0000	
		Roger RO 3010	29,6253	
		Material	Frecuencia	
Oro	28,5927			
Cobre	29,5016			
Hierro	28,0000			

IV. CONCLUSIONES

- Al hacer un análisis comparativo en lo que comprende lo matemático con lo ajustado, se evidencia que existe un rango sustancial en todos los parámetros que conforman el diseño de la antena microstrip, se visualizó que realizar un ajuste en las dimensiones del largo del parche del diseño de la antena microstrip ocasiona efectos de borde que por consiguiente afecta en mayor parte a la variación de la frecuencia de resonancia con un valor de porcentaje del 0.095 %, en cambio el ancho del parche afecta masivamente al patrón de radiación es decir controla este parámetro, haciéndolo a este elemento indispensable para un ajuste de frecuencia con un valor de porcentaje del 0.056%, para acotar, además una de las cotas más importantes en la configuración y manejo del diseño en la línea de transmisión con un porcentaje del 0.272% siendo así los valores más demandantes para el ajuste de la frecuencia de resonancia, con lo antes mencionado se menciona que al predecir que los errores que

puedan tener no sólo son en los elementos del diseño, sino también en el medio exterior que rodea la antena entre otros factores los cuales puede ayudarse en una futura investigación más profunda haciendo un análisis de las condiciones en la que a la antena se la pueda someter para obtenerse resultados más acertados al momento de escoger el mejor modelo de diseño.

- Con ANSYS HFSS se presentó un diseño para antenas microstrip rectangular a frecuencias de resonancia las cuales se alcanzó acorde a los objetivos establecidos, el software generó características de rendimiento de las antenas tales como (impedancia característica, parámetros S11, patrón de radiación y directividad), en cuanto a los valores obtenidos en para la relación de onda estacionaria de voltaje, se constata que la energía reflejada obtenida para las frecuencias son los siguientes resultados 1,0487 dB para 18GHz, 1,0031 dB para 23 GHz y 1, 0560 dB para 28 GHz teniendo una variación de 0.049%, en cuanto al coeficiente de reflexión y con lo anterior se evidencio que este tipo de antenas microstrip rectangular presentó una ganancia máxima valores por debajo de -20 dB, teniendo resultados óptimos para los diseños tales como: -24,3940 dB para 18GHz, -24,7796 dB para 23GHz, -24,3342 dB para 28 GHz, las dimensiones que predominaron la variación de la frecuencia de resonancia decae en la altura que debe tener el sustrato, además de la variación en el largo y ancho del parche siendo así las cotas más importantes para el diseño de la antena microstrip y así poseer una excelente señal de programación, es decir un buen nivel de potencia para transmitir.

V. REFERENCIAS

- [1] M. Liyanage, J. Salo, A. Braeken, T. Kumar, S. S. and M. Y. (2020). INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS 5G Y SUS RIESGOS PARA LA PRIVACIDAD (AEPDp.Page.4). <https://www.aepd.es/sites/default/files/2020-06/nota-technica-privacidad-5g.pdf>
- [2] B. Rodriguez Barrera, "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," 2019.
- [3] Chalapud Patiño, E. J. (2021). Análisis Comparativo De Los Parámetros De Dispersión De Una Antena Microstrip Para Las Bandas De 57-64, 64-71 Y 71- 76 GHz. *Tesis*, 11. <http://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>

- [4] F. Valentin y A. Selva, "Diseño y simulación de una antena microcinta rectangular a la frecuencia de 2,4 GHz".2013
- [5] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder Bahl y Apisak Ittipiboon, "Microstrip Antenna Design Handbook", pp. 2-3, pp.3, 759-760, pp. 441-453, pp. 453, Artech House, Boston, Londres
- [6] Farooq, U., & Rather, G. M. (2020). Design and analysis of dual band microstrip antenna for millimeter wave communication applications. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 90(4), 607–614. <https://doi.org/10.12785/ijcds/090408>
- [7] J. García Barranco, "Sentando las bases para el 5G: Oportunidades y desafíos" pp. 10, 2018.
- [8] B. Rodríguez Barrera, "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," 2019.
- [9] F. Valentin y A. Selva, "Diseño y simulación de una antena microcinta rectangular a la frecuencia de 2,4 GHz".2013
- [10] S. Núñez, C. Javier, "Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta generación de comunicaciones inalámbricas", 2018
- [11] Anguera, J., & Pérez, A. (2015). *Teoría de Antenas*. 335. http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook_teoría_antenas.pdf
- [12] Anguera, J., & Pérez, A. (2015). *Teoría de Antenas*. 335. http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook_teoría_antenas.pdf
- [13] Balseca Paredes, L. E. (2019). Análisis y evaluación de receptor de alta frecuencia para su utilización en redes integradas de quinta generación (5G). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- [14] Bhartia, P., K.V.S Rao, y R. S. T. (1991). "Millimeter-wave microstrip and printed circuit antennas",. In *Millimeter-wave microstrip and printed circuit antennas* (Artech hou).
- [15] Canga, F. (2016). *Antenas*.
- [16] Cárdenas, J. (2017). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Tesis, 1–100.
- [17] <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- [18] Daniel, P. R. G. (2018). Análisis comparativo de antenas tipo Patch con tecnología Microstrip en la banda X. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14099%09>
- [19] David, L., & Torres, A. (2009). Diseño e implementación de un prototipo de antena directiva de Microlínea en la banda de 2.4 GHz. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/121>
- [20] Fenton, D. (2018). Plan 5G. To Cage the Red Dragon, 153–178. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1qv2pf.12>
- [21] Frecuencia, R. (n.d.). *Antenas y Líneas de Transmisión*. 87–130. <http://wndw.net/pdf/wndw-es/chapter4-es.pdf>
- [22] Hernández, A. (2014). Capítulo 2: Teoría básica de antenas. 14–29. http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_a_r/capitulo2.pdf
- [23] Huidobro, J. M. (2013). *Antenas de telecomunicaciones*. 16. https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/020001.pdf
- [24] International Telecommunication Union 1865-2018 All Rights Reserved. (2019, November 22). WRC-19 identifies additional frequency bands for 5G - ITU News. 5G | Broadband/Network | Emerging Trends | Infrastructure | ITU-R Standards | Regulation | Smart Cities | Spectrum Management | Standards. <https://news.itu.int/wrc-19-agrees-to-identify-new-frequency-bands-for-5g/>
- [25] Martín, José Luis Jiménez, José María Rodríguez Martín, and V. G. P. (2019). Procedimiento de diseño y realización de antenas de parche en tecnología Microstrip.
- [26] TICA. (2016). *Ondas Nociones básicas generales*. 23. http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/TICA/Teorico2016/TICA_2016_Ondas_Nociones_básicas_corr.pdf
- [27] UIT 2021 Reservados todos los derechos. (2019, December 1). 5G – Quinta generación de tecnologías móviles. PROBLEMAS Y SOLUCIONES: CREACIÓN DE REDES 5G PARA EL FUTURO. <https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/5G-fifth-generation-of-mobile-technologies.aspx>
- [28] Yu, X. (2014). Diseño de antenas de tipo parche para un transceptor WiMAX basado en el chip Agradecimientos. https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/662965/Xueqing_Yutfg.pdf?sequence=1