



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA ACTIVA DE
BANDA ANCHA PARA LAS FRECUENCIAS DE LA
TECNOLOGÍA STARLINK”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR:

FRANCIS ALEXANDER PÉREZ BARRENO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA ACTIVA DE
BANDA ANCHA PARA LAS FRECUENCIAS DE LA
TECNOLOGÍA STARLINK”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR: FRANCIS ALEXANDER PÉREZ BARRENO

DIRECTOR(A): ING. HUGO OSWALDO MORENO AVILÉS. PhD

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Francis Alexander Pérez Barreno

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Francis Alexander Pérez Barreno, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

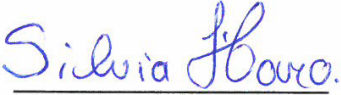

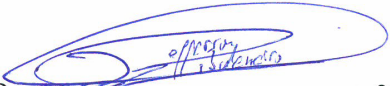
Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de noviembre de 2023

Francis Alexander Pérez Barreno
1804704185

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA ACTIVA DE BANDA ANCHA PARA LAS FRECUENCIAS DE LA TECNOLOGÍA STARLINK**”, realizado por el señor: **FRANCIS ALEXANDER PÉREZ BARRENO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Silvia Mariana Haro Rivera PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-11-15
Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés; PhD DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR		2023-11-15
Ing. Jefferson Ribadeneira Ramírez; PhD ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR		2023-11-15

DEDICATORIA

Con gratitud y amor, dedico esta tesis a mis padres Raúl Pérez y Zoila Barreno, por su guía, su ayuda, su apoyo incondicional, aliento y paciencia en este viaje académico, pues han sido la brújula que me ha guiado en los momentos desafiantes y en las celebraciones más dulces, también de manera muy especial se la dedico a usted Marianela, por su paciencia, su comprensión, por estar siempre a mi lado en todos y cada uno de los escalones superados, al darme ánimos con su amor, dulzura y delicadeza, para así, lograr cumplir una de las metas planteadas, superando cualquier obstáculo en el camino, esta tesis no solo representa mi logro académico, sino también nuestra perseverancia y la promesa de un futuro que construiremos juntos, esta tesis es un tributo a la búsqueda, excelencia y en recordatorio a que todo se puede lograr con dedicación, determinación y esfuerzo, esta dedicación refleja el amor y la gratitud que siento por ustedes, y que inspire a otros a perseguir sus metas con el mismo compromiso y pasión que me han enseñado.

Francis Alexander Pérez Barreno

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que han sido parte fundamental en la realización de este logro, a mis padres: Raúl y Zoila, como a mis hermanos: Mónica, Mercedes, Israel, Jessenia., por su constante apoyo, aliento, paciencia y creencia en mí a lo largo de este proceso importante en mi vida, pues han sido las fuerzas impulsoras detrás de cada paso que he dado, gracias por ser mi red de seguridad en los momentos más difíciles y por compartir mis alegrías en los triunfos, además, a mis profesores por compartir su conocimiento y orientación, y por desafiarme a superar mis propios límites, agradezco sinceramente su compromiso en ayudarme crecer tanto intelectual como personalmente, con cada consejo y cada lección han dejado una marca duradera en mí, este logro no habría sido posible sin ustedes, gracias por ser parte de este capítulo inolvidable de mi vida.

Francis Alexander Pérez Barreno

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	2

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	4
1.1. Planteamiento del problema	4
1.1.1. <i>Formulación del problema</i>	4
1.1.2. <i>Sistematización del problema</i>	4
1.2. Justificación	4
1.2.1. <i>Justificación Teórica</i>	4
1.2.2. <i>Justificación Aplicativa</i>	6
1.3. Objetivos	7
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	7
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	7

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Comunicación Satelital	8
2.1.1. <i>Comunicación</i>	8
2.1.2. <i>Comunicación Satelital</i>	8

2.1.3. <i>Ventajas de la Comunicación por satélite</i>	9
2.1.4. <i>Red Satelital</i>	9
2.2. Internet Satelital	10
2.2.1. <i>Funcionamiento del Internet Satelital</i>	10
2.2.1.1. <i>Órbitas</i>	10
2.2.2. <i>Ventajas y Desventajas del Internet Satelital</i>	12
2.2.2.1. <i>Ventajas del Internet Satelital</i>	12
2.2.2.2. <i>Desventajas del Internet Satelital</i>	12
2.2.3. <i>Proveedores de Servicio de Internet Satelital</i>	13
2.2.3.1. <i>Cobertura y orbitas de proveedores de Internet Satelital</i>	13
2.3. Tecnología Starlink	14
2.3.1. <i>Definición</i>	14
2.3.2. <i>Funcionamiento Satélites Starlink</i>	15
2.3.3. <i>Aspectos Técnicos de las comunicaciones satelitales de Starlink</i>	16
2.3.3.1. <i>Frecuencias</i>	16
2.3.3.2. <i>Modulaciones</i>	16
2.3.3.3. <i>Técnicas de enlace ascendente y descendente</i>	17
2.3.4. <i>Cobertura global y conectividad</i>	17
2.3.5. <i>Starlink vs otras tecnologías</i>	18
2.3.5.1. <i>Starlink vs 4G</i>	18
2.4. Antenas	19
2.4.1. <i>Patrón de Radiación</i>	19
2.4.2. <i>Directividad</i>	20
2.4.3. <i>Ganancia</i>	20
2.4.4. <i>Ancho de banda</i>	20
2.4.5. <i>Antenas con Seguimiento</i>	21
2.5. Amplificadores	21
2.5.1. <i>Amplificador de alta potencia</i>	21
2.5.2. <i>Amplificadores de Bajo Ruido</i>	22

2.6.	Software para Diseño de Antenas	22
2.6.1.	<i>Ansoft Designer</i>	23
2.6.2.	<i>HFSS (High-Frequency Structure Simulator)</i>	23
2.6.3.	<i>CST Studio Suite</i>	24

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	25
3.1.	Introducción	25
3.2.	Diseño de la Antena	26
3.2.1.	<i>Elección sustrato FR4</i>	26
3.2.2.	<i>Diseño parche Triangular</i>	26
3.2.3.	<i>Línea de transmisión</i>	27
3.2.4.	<i>Parche Triangular y Línea de Transmisión</i>	28
3.2.5.	<i>Diseño Acoplador Chebyshev</i>	29
3.2.6.	<i>Prototipo antena final</i>	34
3.3.	Diseño Amplificador	36
3.3.1.	<i>Dispositivos electrónicos a utilizar</i>	37
3.3.1.1.	<i>Amplificador PMA2-183LN+</i>	37
3.3.1.2.	<i>Capacitores cerámicos 100pF y 0,1uF</i>	37
3.3.2.	<i>Creación pistas para ensamblado final</i>	38
3.4.	Implementación	39
3.4.1.	<i>Implementación de la Antena</i>	39
3.4.2.	<i>Implementación del Amplificador</i>	41
3.5.	Equipos a Utilizar	44
3.5.1.	<i>Network Analyzer Keysight E5071C</i>	44
3.5.2.	<i>Generador de señales Anritsu MG3690C</i>	45
3.5.3.	<i>Analizador de Espectros Anritsu MS2724C</i>	45
3.6.	Esquemas de Escenarios para pruebas	46

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	48
4.1.	Resultados Prueba 1.....	48
4.2.	Resultados Prueba 2.....	54

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
5.1.	CONCLUSIONES.....	59
5.2.	RECOMENDACIONES.....	61

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Parámetros Uplink para tecnología Starlink.	5
Tabla 1-2. Parámetros Downlink para tecnología Starlink.	5
Tabla 3-1. Datos para el Diseño del Acoplador Chebyshev.	30
Tabla 3-2. Dimensiones Teóricas y Optimizadas de la Antena.	35

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1.	Tipos de Órbitas.	11
Ilustración 2-2.	Logos de SpaceX y Starlink.....	14
Ilustración 2-3.	Satélites mega constelación Starlink (color rojo), y otros.	15
Ilustración 2-4.	Mapa Disponibilidad de Servicio Starlink-SpaceX.....	18
Ilustración 2-5.	Diagrama de Radiación.....	19
Ilustración 2-6.	Antenas seguimiento Starlink.	21
Ilustración 2-7.	Logotipo Ansoft Designer.	23
Ilustración 2-8.	Logotipo HFSS.....	24
Ilustración 2-9.	Logotipo CST Studio Suite.....	24
Ilustración 3-1.	Diagrama del Sistema Radiante.	25
Ilustración 3-2.	Parche Triangular.	27
Ilustración 3-3.	Línea de Transmisión.	28
Ilustración 3-4.	Parche Triangular y Línea de Transmisión.	29
Ilustración 3-5.	Estructura diseño del acoplador Chebyshev.....	29
Ilustración 3-6.	Acoplador Chebyshev.....	34
Ilustración 3-7.	Antena Parche más Acoplador Chebyshev.	35
Ilustración 3-8.	Diseño final de la antena en 2D y 3D.	36
Ilustración 3-9.	Diagrama del circuito propuesto por el fabricante.	37
Ilustración 3-10.	Amplificador PMA2-183LN+	37
Ilustración 3-11.	Capacitor Cerámico.	38
Ilustración 3-12.	Diseño Final Amplificador Placa PCB.	39
Ilustración 3-13.	Antena impresa y procedimiento de remoción de excedentes.....	40
Ilustración 3-14.	Par de antenas, luego del proceso de remoción de excedentes.....	40
Ilustración 3-15.	Perforación antena y modelado final.	41
Ilustración 3-16.	Ensamblado de la Antena presentada Final.....	41
Ilustración 3-17.	Pegatina del diseño para pistas del amplificador.....	42
Ilustración 3-18.	Antena impresa y procedimiento de remoción de excedentes.....	42
Ilustración 3-19.	Proceso de soldado de los elementos mediante lupa de aumento.....	43
Ilustración 3-20.	Diseño Final de Amplificadores.	43
Ilustración 3-21.	Diseño final Amplificadores.....	44
Ilustración 3-22.	Network Analyzer Keysight E5071C.....	45
Ilustración 3-23.	Generador de señales Anritsu MG3690C.	45
Ilustración 3-24.	Analizador de Espectros Anritsu MS2724C.	46

Ilustración 3-25.	Escenario 1 para pruebas de laboratorio.	46
Ilustración 3-26.	Escenario 2, para pruebas de laboratorio.	47
Ilustración 3-27.	Escenario 2 modificación, para pruebas de laboratorio.....	47
Ilustración 4-1.	Escenario armado de la prueba 1.	48
Ilustración 4-2.	Antena instalada dentro de la cámara anecoica.	49
Ilustración 4-3.	Resultados software parámetro S11.	49
Ilustración 4-4.	Resultados Analizador de Redes Vectoriales (VNA).....	50
Ilustración 4-5.	Resultados Simulador vs VNA.	51
Ilustración 4-6.	Resultados Simulador vs VNA ancho de banda.....	52
Ilustración 4-7.	Patrón de Radiación, (a) software para el diseño de antenas, (b)analizador de redes vectoriales.	53
Ilustración 4-8.	Patrón radiación, (a) software para el diseño de antenas, (b) analizador de redes vectoriales.	53
Ilustración 4-9.	Escenario armado de la prueba 2.	54
Ilustración 4-10.	Antena diseñada con amplificador.	55
Ilustración 4-11.	Resultados Sin amplificar vs Un amplificador vs Dos amplificadores.....	56
Ilustración 4-12.	Resultados Sin amplificar vs Un amplificador vs Dos amplificadores para 11,83GHz.....	57
Ilustración 4-13.	Resultados Sin amplificar vs Un amplificador vs Dos amplificadores para 14,25GHz.....	57
Ilustración 4-14.	Valores promedio de amplificación.	58

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DATASHEET FR-4

ANEXO B: DATASHEET MONOLITHIC AMPLIFIER PMA2-183LN+

ANEXO C: ESPECIFICACIONES CAPACITOR 100 pF, CIRCUITO AMPLIFICADOR

ANEXO D: ESPECIFICACIONES CAPACITOR 0.1uF, CIRCUITO AMPLIFICADOR

ANEXO E: TABLA DE DATOS DE PRUEBAS REALIZADAS SIN AMPLIFICADOR Y CON AMPLIFICADORES.

ANEXO F: ANALIZADOR DE ESPECTRO MS2724C.

ANEXO G: GENERADOR DE SEÑALES MG3690C.

ANEXO H: NETWORK ANALYZER KEYSIGHT E5071C.

ANEXO I: PRUEBAS FUNCIONAMIENTO DE ANTENAS.

ANEXO J: SOLDADO DE ALIMENTACIÓN AMPLIFICADORES.

ANEXO K: PRUEBAS REALIZADAS DENTRO DE LA CAMARA ANECOICA DEL DISPOSITIVO IMPLEMENTADO.

RESUMEN

En el presente Trabajo de Integración Curricular se realizó el diseño e implementación de una antena activa de banda ancha para las frecuencias de la tecnología Starlink centrándose en el enfoque de frecuencias Downlink y Uplink, de 11.83 GHz y 14.25 GHz respectivamente. La antena se desarrolló aplicando la metodología de diseño de antenas parche triangular con un acoplador Chebyshev para una mejora en el ancho de banda, dicho diseño depende de las frecuencias antes mencionadas y el material substrato a utilizar, se utilizó parches triangulares para obtener una directividad máxima en la antena, además del diseño de un acoplador Chebyshev con una cantidad de 3 secciones para realizar el acoplamiento a 50Ω , con la implementación de un amplificador de bajo ruido se obtuvo una mejora en la transmisión y recepción del sistema radiante, se fabricaron dos ejemplares de la antena optimizada y amplificadores destinados a funcionar como antena transmisora y receptora separadas por una distancia de 30 cm con una potencia de entrada de 10 dBm, con la realización de las pruebas dentro de la cámara anecoica con un amplificador se obtuvo un promedio de amplificación en la frecuencia deseada de 6,4868 dB y con dos amplificadores tanto en Transmisión y Recepción se obtuvo una mejora considerable en la potencia promedio de 11,0532 dB en el sistema, los resultados de las mediciones tanto en el analizador de redes vectoriales (VNA) dentro de la cámara anecoica, como las pruebas realizadas con el analizador de espectros y generador de señales muestra que las antenas opera en el rango de frecuencias deseadas teniendo una mejora de potencia por la amplificación. Se concluye que la antena activa de banda ancha implementada funciona de acuerdo con los requisitos planteados de diseño.

Palabras clave: <ANTENAS>, <TECNOLOGÍA STARLINK>, <AMPLIFICADOR>, <ANALIZADOR DE REDES VECTORIALES (VNA)>, <CÁMARA ANECOICA>, <ÓRBITAS>, <ACOPLADOR>, <ACOPLADOR CHEBYSHEV>.

ABSTRACT

In this Curricular Integration Work, a broadband active antenna for Starlink technology frequencies was designed and implemented, focusing on Downlink and Uplink frequencies of 11.83 GHz and 14.25 GHz, respectively. The antenna was developed using the triangular patch antenna design methodology with a Chebyshev coupler to enhance bandwidth. This design depends on the frequencies mentioned above and the substrate material used. Triangular patches were employed to achieve maximum directivity, along with a Chebyshev coupler comprising three sections to achieve a 50Ω coupling. By implementing a low-noise amplifier, improvements were achieved in the transmission and reception of the radiating system. Two optimized antenna specimens and amplifiers were fabricated, designated to function as separate transmitting and receiving antennas, positioned 30 cm apart with an input power of 10 dBm. Testing conducted within the anechoic chamber with one amplifier yielded an average amplification of 6.4868 dB at the desired frequency. With two amplifiers, one for transmission and one for reception, a significant enhancement of 11.0532 dB in the system's average power was obtained. Measurement results from the Vector Network Analyzer (VNA) within the anechoic chamber and tests conducted with the spectrum analyzer and signal generator show that the antennas operate within the desired frequency range, demonstrating power enhancement through amplification. It is concluded that the implemented broadband active antenna operates by the specified design requirements.

Keywords: <ANTENNAS>, <STARLINK TECHNOLOGY>, <AMPLIFIER>, <VECTOR NETWORK ANALYZER (VNA)>, <ANECHOIC CHAMBER>, <ORBITS>, <COUPLER>, <CHEBYSHEV COUPLER>.



Lic. Lenin Iván Lara Olivo
0602546103

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, hemos sido testigos de un avance significativo en el campo de las comunicaciones por satélite. La tecnología Starlink, desarrollada por SpaceX, ha revolucionado la forma en que nos conectamos con el mundo. Con su promesa de brindar acceso a Internet de alta velocidad y baja latencia en cualquier parte del planeta, Starlink se ha convertido en una opción atractiva para millones de personas en áreas remotas o con una infraestructura de comunicaciones limitada.

Sin embargo, para garantizar la eficiencia y la calidad del servicio de Starlink, es crucial contar con antenas diseñadas específicamente para aprovechar al máximo las frecuencias utilizadas por esta tecnología. Es aquí donde entra en juego el enfoque central de esta tesis: el diseño e implementación de una antena activa de banda ancha para las frecuencias de la tecnología Starlink.

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una antena que permita la recepción y transmisión de señales en las frecuencias utilizadas por los satélites Starlink. Esto implica superar los desafíos técnicos asociados con la implementación de una antena capaz de operar en un rango de frecuencias tan amplio, asegurando un rendimiento óptimo en términos de ganancia, directividad y eficiencia.

Para lograr este objetivo, se llevará a cabo la revisión detallada de los requerimientos y características de la tecnología Starlink. A partir de este análisis, se propondrá un diseño innovador que permita cumplir con los estándares y especificaciones establecidas por Starlink, mientras se optimiza la eficiencia y la funcionalidad de la antena.

Asimismo, se realizará una implementación práctica del diseño propuesto, donde se construirá y se evaluará un prototipo de antena. Esta etapa experimental permitirá validar el rendimiento teórico de la antena, así como identificar posibles mejoras o ajustes necesarios.

En resumen, esta tesis se enfoca en el diseño e implementación de una antena activa de banda ancha específicamente diseñada para aprovechar al máximo las frecuencias utilizadas por la tecnología Starlink. A través de un análisis exhaustivo y una implementación práctica, se busca contribuir al avance y la mejora de las comunicaciones por satélite, permitiendo a más personas beneficiarse de los servicios de Internet de alta velocidad en cualquier rincón del mundo.

ANTECEDENTES

La necesidad de comunicarse en la actualidad provoca la utilización de sistemas más sofisticados, pero importante también es el llegar a lugares de difícil acceso para comunicación, lo que encadena un impacto global que logró Starlink, dicho servicio se instaló para pocos territorios privilegiados, según la compañía, se logró buenos resultados en la latencia como en la velocidad de descarga. Como resultados este servicio no pretende competir con las conexiones 5G o la fibra óptica, que son las redes disponibles en la actualidad, si no complementar ambas, Starlink no se basa en la velocidad si no en el abastecimiento de internet. Finalmente sabemos que el internet satelital tiene un enfoque diferente a lo tradicional, ya que busca la disponibilidad en sectores donde nunca antes existía dicha posibilidad de acceder al internet. Como usuarios obsesionados con la tecnología y en especial del internet, esperamos que Starlink tenga muchos éxitos (Cárdenas et al., 2022 págs. 1-2).

La Industria Espacial Española en el contexto europeo y mundial, trata sobre muchos temas sobre el sector espacial siendo este un sector estratégico que viene desarrollándose con fuerza creciente en los últimos años y teniendo un impacto cada vez mayor en la economía, y menciona que el satélite debe servir para cubrir la brecha digital en aquellas partes del territorio donde las redes terrestres no alcanzan o lo hacen de forma insuficiente, entre ellos destacan los proyectos Starlink, Oneweb y Kuiper, y realiza un enfoque que solo la constelación Starlink de SpaceX supone 42000 satélites, de los cuales hay ya más de mil en órbita (Ministerio de Defensa Gobierno de España, 2021 pág. 17).

En el Ecuador, la Universidad de Guayaquil en la Facultad de Ingeniería Industrial en la Carrera de Ingeniería en Teleinformática realizó en abril del 2021, el “Análisis de Factibilidad en el uso de la Red Satelital Starlink como medio para el acceso al Internet y Transmisión de Datos.”, en el cual analizan la posibilidad de prestación de servicio de la red satelital Starlink en Ecuador, pues menciona que, según investigaciones analizadas se estipula que aproximadamente a más tardar en el año 2022 Starlink podrá ofrecer sus servicios de internet satelital en todo el país, por otro lado Elon Musk director ejecutivo de SpaceX ha sido muy discreto al momento de dar detalles con respecto este proyecto, lo que sí se puede afirmar es que son 12.000 satélites los cuales estarán en órbita para esta fecha, lo que espera de la red es que sea de banda ancha, confiable y accesible específicamente en zonas con difícil acceso a conectividad. Por su parte el proyecto Starlink aparte de ser un buen servicio para las localidades lejanas, termina siendo una buena opción como proveedor de internet tanto la parte rural como en la urbana, ya que, según datos estadísticos presentadas por la Arcotel, los proveedores de servicio de internet con los que

cuenta el país en la actualidad presentan múltiples inconvenientes en sus prestaciones por lo que muchos usuarios a diario presentan quejas de las cuales el 42% corresponden al acceso al internet. Estos inconvenientes presentados por la Arcotel terminan siendo una ventaja para Starlink (Navarro Hurtado, 2021 pág. 65)., entre los países que actualmente Starlink tiene cobertura se tienen los países y regiones marcados en su mapa como «disponibles», esto al visitar la fuente oficial “www.starlink.com”, incluidas partes de Australia, Brasil, Chile, Estados Unidos, Canadá y la mayor parte de Europa. El servicio se ha expandido constantemente desde que salió de la versión beta el año pasado, con disponibilidad en 12 países a partir de septiembre de 2021 y 25 países en febrero pasado (Bastarrica, 2022 pág. 1).

Starlink es uno de los últimos proyectos que ha propuesto Elon Musk, consiste en un servicio de internet alimentado por una red de satélites ubicados en órbita terrestre baja enfocados precisamente en lugares de difícil acceso. El objetivo de proyecto Starlink es disponer de un gran número de satélites de Internet para proporcionar una red de banda ancha en todo el mundo, es decir, de alta latencia, a partir de antenas conectadas a satélites. El soporte de satélite de la ITU de Starlink incluyen las bandas de frecuencias 10,7 – 12,7 GHz, 14 – 14.5 GHz, 17,8 – 18,55 GHz, 18,8 – 19,3 GHz, 27,5 – 29,1 GHz y 29,5 – 30 GHz (Das et al., 2018 págs. 1-2).

Ahora bien, se puede decir que no existen trabajos previos realizados que podrían ser utilizados como referencia al diseño de una antena para frecuencias de comunicación satelital basada en la tecnología Starlink.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 *Formulación del problema*

¿Cómo Diseñar e implementar una antena activa de banda ancha para las frecuencias de la tecnología Starlink?

1.1.2 *Sistematización del problema*

¿Cuáles son los fundamentos teóricos sobre la comunicación satelital en la actualidad en comparación con las nuevas tecnologías de comunicación terrestre?

¿Cómo diseñar una antena activa mediante software de simulación que permita utilizar la frecuencia de la Tecnología Starlink?

¿Cómo implementar la antena activa satelital para obtener el patrón de radiación de la antena en el interior de la cámara anecoica que se encuentra en el laboratorio de microondas de la FIE?

¿Cómo evaluar el funcionamiento de la antena diseñada, mediante la utilización del analizador de redes vectoriales, generador de señales y analizador de espectro?

1.2 Justificación

1.2.1 *Justificación Teórica*

Elon Musk ha decidido llevar a cabo la mayor mega constelación satelital de todos los tiempos. Su proyecto Starlink, se ha catalogado como el mayor desafío espacial, en cuanto a comunicaciones por satélite se refiere. Dicho proyecto se encuentra en fase beta a día de hoy y aún no se han lanzado el 20% de los satélites objetivo. La idea es lanzar un gran número de satélites con el objetivo de que se pueda acceder a internet desde cualquier rincón del mundo (Nuñez, 2021 pág. 8).

Haciendo uso de las patentes publicadas por parte de Space Exploration Technologies Corp, se deberá comenzar a entender cómo funcionaba la antena y el sistema de Starlink. El primer paso era conocer las frecuencias de trabajo del sistema, donde el enlace Downlink se encuentra en el rango de 10.7 a 12.7 GHz y el enlace Uplink se encuentra en el rango de 14 a 14.5 GHz (Nuñez, 2021 pág. 8). En las siguientes tablas se detallan varios parámetros de ambos enlaces:

Tabla 1-1. Parámetros Uplink para tecnología Starlink.

Frecuencia (Uplink) = 14 – 14,5 GHz	
Modo	Transmisión (TX)
Polarización	Circular a izquierdas
Máxima PIRE	38.2 dB
Modulación	64QAM
Frecuencia Central	14,25 GHz
Máxima Ganancia	34,6 dBi

Fuente: (UNITED STATES OF AMERICA FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION RADIO STATION AUTHORIZATION, 2020)
Realizado por: Pérez F., 2023

Tabla 1-2. Parámetros Downlink para tecnología Starlink.

Frecuencia (Downlink) = 10,7 – 12,7 GHz	
Modo	Recepción (RX)
Polarización	Circular a derechas
Modulación	64QAM
Frecuencia Central	11,83 GHz
Máxima Ganancia	33,2 dBi

Fuente: (UNITED STATES OF AMERICA FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION RADIO STATION AUTHORIZATION, 2020)
Realizado por: Pérez F., 2023

Starlink, una constelación de satélites de órbita terrestre baja (LEO) que forma parte del complejo industrial controlado por Elon Musk (Tesla, SpaceX, entre otros), se está centrando en soluciones de baja latencia como la negociación de alta frecuencia (mejor conocida en el ámbito financiero por su nombre en inglés high-frequency trading), proporcionando conectividad para naves y

aviones, y el Backhaul o transporte de datos complementarios, para las redes 4G y 5G. Tiene sentido, desde el punto de vista económico, si se considera que estos proyectos deben recuperar inversiones masivas en Investigación y Desarrollo, incluyendo la construcción y el lanzamiento de miles de satélites o cientos de miles de nuevas estaciones con bases inalámbricas en el caso de 5G (Bloom et al., 2020 pág. 136).

El patrón de radiación de una antena es la representación gráfica de las propiedades de radiación, como es la, directividad, intensidad de campo y la polarización o fase, en función de las coordenadas espaciales. Un patrón de radiación describe los valores de campo y potencia normalizados con respecto a sus valores máximos, esto se lo determina en la región de campo lejano o Fard-field (Balanis, 2005 pág. 25).

La generación de la señal en un sistema de medición del patrón de radiación, se lo realiza mediante el uso de un analizador de redes vectoriales (VNA), estos son instrumentos de medida de precisión que permiten conocer le desempeño en frecuencia de un cierto dispositivo. Estos instrumentos tienen un sistema tipo estimulo-respuesta compuesto por una fuente de RF y múltiples receptores de medida los cuales permiten medir parámetros como los coeficientes de reflexión, características de transmisión o parámetros S11 (Technologies, Keysight, 2018 pág. 7).

1.2.2 Justificación Aplicativa

Para la implementación de la antena activa de banda ancha se utilizará principalmente materiales como Roger o Duroid, pues dichos materiales son materiales dieléctricos para frecuencias altas, además para el diseño se utiliza software para diseño de antenas, además de todos estos materiales se utilizará un analizador de redes vectoriales (VNA), el cual permite medir la fase y amplitud, permitiendo caracterizar componentes de RF y antenas, dicho VNA tiene características de traer incorporado un analizador de espectro y generador de señales, teniendo un rango de frecuencias amplio el cual va desde los 300 KHz hasta los 20 GHz, finalmente pero no menos importante se utilizará la cámara anecoica, donde se realizarán las pruebas pertinentes, todos los equipamientos se encuentran disponibles en el laboratorio de microondas de la Facultad de Informática y Electrónica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar e implementar una antena activa de banda ancha para las frecuencias de la tecnología Starlink.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar los fundamentos teóricos sobre la utilización de comunicación satelital en la actualidad, en comparación con las nuevas tecnologías de comunicación terrestre.
- Diseñar una antena activa mediante software de simulación que permita utilizar la frecuencia de la Tecnología Starlink.
- Implementar la antena activa diseñada para obtener el patrón de radiación de la antena en el interior de la cámara anecoica que se encuentra en el laboratorio de microondas de la FIE.
- Evaluar el funcionamiento de la antena diseñada, mediante la utilización del analizador de redes vectoriales, generador de señales y analizador de espectro.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Comunicación Satelital

2.1.1 Comunicación

Antes de saber que es comunicación, se debe comprender que comunicación se deriva del latín “*communicare*”, que significa “*compartir algo*”, siendo la comunicación un fenómeno denominado inherente a la relación que los seres vivos mantienen cuando se agrupan, entonces se puede decir que, a través de la misma, personas o animales en parte obtienen información respecto al entorno, logrando compartirla con los demás participantes (Pérez et al., 2008 pág. 1).

La comunicación básicamente implica la emisión de señales como sonidos, gestos, señas, entre otras, con la única intención de dar a conocer el mensaje. Para que exista una comunicación y esta sea exitosa, el receptor debe contar con las mejores habilidades para decodificar el mensaje, el proceso es inverso cuando el receptor responde pues este se convierte en emisor, y el otro en receptor (Pérez et al., 2008 pág. 2).

2.1.2 Comunicación Satelital

La comunicación satelital, principalmente es el uso de la tecnología satelital para realizar comunicaciones, los servicios más comunes prestados por satélite son llamadas de voz y video, internet, fax, televisión y canales de radio, estas comunicaciones satelitales alcanzan largas distancias, operando bajo escenarios inoperables para otras formas de comunicación (Icy Science, 2023 pág. 1).

El funcionamiento principal de la comunicación satelital es que un satélite recibe las señales de las estaciones terrenas, seguidamente estas señales son procesadas para finalmente ser transmitidas en zonas de cobertura, pues el satélite es un repartidor activo en el espacio, que, recibe y transmite las señales que se reciben de la tierra, teniendo una vida útil que depende del combustible almacenado, mismo que se utiliza para el control de órbita, de la degradación de las células solares y del grado de redundancia y fiabilidad del módulo de comunicaciones (Calderón Ramos, 2009 pág. 15).

El sistema de satélites o un satélite, opera en una o más bandas de frecuencia, dependiendo de las necesidades y su capacidad de tráfico, cada una de estas bandas de frecuencias, dispone parte de esta para enlace ascendente y enlace descendente, es decir, Tierra-satélite y satélite-Tierra, respectivamente, con la finalidad de evitar inconvenientes en la comunicación (Calderón Ramos, 2009 pág. 23).

2.1.3 Ventajas de la Comunicación por satélite

La comunicación Satelital tiene muchas ventajas entre las más principales se tiene:

- **Enlaza sitios lejanos:** siendo esta una de las mayores ventajas, pues el lograr conectar aquellas zonas inaccesibles a través de telefonía satelital o por internet por satélite, logrando que esta comunicación se de en tiempo real entre personas o lugares (Wibo, 2019 pág. 1).
- **Uso de redes de sensores vía satélite:** Las empresas son exclusivas de esta ventaja, específicamente aquellas que manejan la energía y también las empresas mineras (Wibo, 2019 pág. 1).
- La comunicación a través del teléfono satelital en zonas rurales y apartadas está creando desarrollo y espacios sostenibles (Wibo, 2019 pág. 1).
- **Confiable:** Todos y cada uno de los procedimientos satelitales son posibles gracias a proveedores que poseen este servicio, siendo confiable al momento de emitir y transmitir señales asegurando que llegará a su destino, entonces se demuestra que es un método seguro y confiable (Wibo, 2019 pág. 1).

2.1.4 Red Satelital

La Red Satelital en telecomunicaciones, principalmente establece con el propósito de transmitir y recibir señales, se debe tener en cuenta que estas deben tener características específicas entre la agrupación determinado de estaciones que se encuentran alejadas entre sí, la red de satélites o un satélite único, estos se los puede usar para permitir que se establezca a través de él una sola red o un número indeterminado de redes de telecomunicación independientes entre sí (Rosado et al., 1998 pág. 10).

Se dice que la Red satelital o sistema de satélites se puede dotar de servicios públicos completos hasta el usuario final, un claro ejemplo seria la televisión directa que se da a los hogares, las redes pequeñas pueden ser compuestas por solo tres estaciones terrenas, y las más grade con millones de ellas, se debe tener en cuenta que, una red pequeña puede ocupar más capacidad de un satélite

que una red mucho mayor en número de estaciones, esto se debe al tipo de señales que este maneje, la magnitud y el tipo de datos que maneje (Rosado et al., 1998 pág. 6).

2.2 Internet Satelital

2.2.1 Funcionamiento del Internet Satelital

El Internet Satelital principalmente utiliza de un canal de comunicación, pero también es una nueva perspectiva, esto significa, la existencia de un cambio en la mentalidad dichos cambios son alcances que aún no se las puede medir con certeza (González Islas, 2006 pág. 10).

Hablar de Internet satelital implica principalmente en un mito, sobre todo para la gente que trabaja en los medios o campos relacionados con la comunicación, la utilizad de satélites representan el vínculo material de dos amplias áreas del conocimiento como la ingeniería y comunicación. La mayoría de personas ignora de las nuevas tecnologías de comunicación e intentan conservar los mismos principios básicos para métodos de comunicación que siempre han tenido, cabe recalcar que el uso de la tecnología ha permitido transmitir mucha información con mayor exactitud y eficiencia, esto con una gran velocidad y un precio cada vez más accesible (González Islas, 2006 pág. 11).

El internet satelital se puede definir simplemente como un paquete electrónico de comunicación puesto en órbita, el objetivo principal es la de ayudar en la comunicación es decir la transmisión de comunicación en un punto a otro, esta información por lo general corresponde a voz, video, y datos digitales, para la comunicación dichos satélites están diseñados para repetir en otra frecuencia otra señal que se le envíe, o principalmente la de dotar o transmitir internet a lugares poco accesibles con la utilización de un satélite en órbita y una antena parabólica en la Tierra, como se menciona el satélite actúa como un repetidor para transmitir la señal de internet a una antena terrestre, convertida a una señal de datos que principalmente puede ser utilizado por computadoras, teléfonos y otros dispositivos que utilizan la red internet para la navegación (González Islas, 2006 pág. 12).

2.2.1.1 Órbitas

Se dice que un sistema satelital consta de un segmento espacial y uno de Tierra, el segmento espacial está compuesto por satélites, que pueden clasificarse en órbita Geoestacionaria y órbita no geoestacionaria, incluida la órbita terrestre MEO y satélite de órbita baja LEO, esto según la altitud de la órbita sobre la superficie de la Tierra (Hu et al., 2001 pág. 154).

La distancia de órbita MEO, desde la superficie de la tierra es de 3000 Km, con un retardo de propagación de ida y vuelta de 110 a 130 ms, mientras que los LEO se encuentran entre 200 y 3000 Km sobre la superficie de la Tierra, para un satélite LEO el retardo de ida y vuelta es de 20 a 25ms, que se podría decir que es comparable a la de un enlace terrestre (Hu et al., 2001 pág. 155).

- De altitud baja (LEO, Low Earth Orbit), este tipo de órbitas es para distancias entre 500 y 1500 Km, estas no pueden ser más bajas para evitar coberturas y pequeñas fricciones con la capa superior de la atmósfera, pero tampoco pueden ser mayores pues deben evitar el primer cinturón de radiación, aquí se utilizan constelaciones para cubrir el área de servicio (René Fernández et al., 2022 pág. 15).
- De altitud media (MEO, Medium Earth Orbit), este tipo de órbitas entre 6000 y 11000 Km, estos ubicados entre el primer y segundo cinturón de radiación, cabe recalcar que también se encuentran en torno a los 20000 Km de altitud, estas orbitas denominadas MEO circulares se denominan ICO (Intermediate Circular Orbit) (René Fernández et al., 2022 pág. 15).
- Órbita geostacionaria (GEO, Geostationary Orbit), esta se encuentra situada a 35788 Km, el satélite gira solidariamente con la Tierra, esto aparenta estar en un punto fijo (René Fernández et al., 2022 pág. 15).
- Órbitas Elípticas (HEO, High Elliptical Orbit), estas son orbitas como su nombre lo indica Elípticas, como función principal es que cubren regiones no alcanzables por GEO (René Fernández et al., 2022 pág. 15).

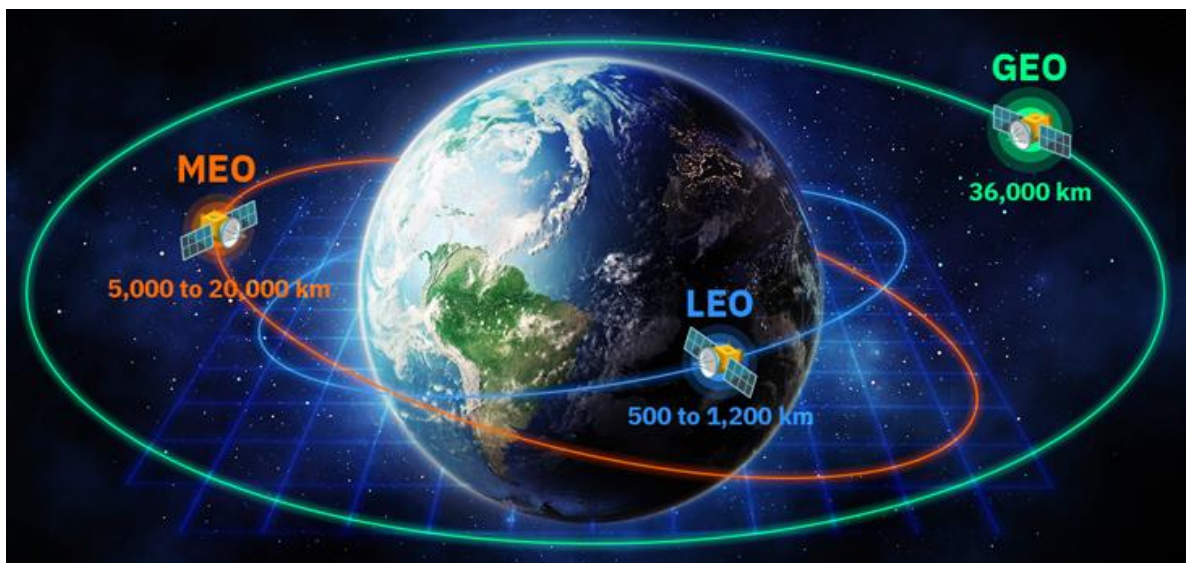


Ilustración 2-1. Tipos de Órbitas.
Fuente: (Sergieieva, 2023)

2.2.2 Ventajas y Desventajas del Internet Satelital

Entre las principales ventajas y desventajas de la utilización de internet Satelital se tiene:

2.2.2.1 Ventajas del Internet Satelital

- Permite conectarse a Internet desde zonas remotas dado que no necesita una conexión física como la necesita el ADSL o la fibra óptica (Reta Gutierrez et al., 2021 pág. 5).
- Lo más llamativo del internet satelital es que ofrecen una mayor cobertura, esto pues se pueden añadir áreas rurales o en cualquier parte del mundo (Reta Gutierrez et al., 2021 pág. 6).
- El Internet satelital ofrece una intensidad de ancho de banda mayores, es decir mucho mayores a los que ofrece la conexión de internet ADS, aunque no se compara con los números que ofrece la fibra óptica (Reta Gutierrez et al., 2021 pág. 6).
- En el internet satelital no depende de cables, ni de ninguna conexión por teléfono o por televisión, pues se toma de una señal que se dirige al satélite y no es necesario reiniciar la conexión (Reta Gutierrez et al., 2021 pág. 6).
- El Internet satelital, siendo una conexión fácil, solo es necesario instalar la antena y el modem, sin tener la necesidad de utilizar gran cantidad de cables (Reta Gutierrez et al., 2021 pág. 6).
- El tipo de internet satelital, en este se puede conectar más de 2 dispositivos al mismo tiempo, esto quiere decir que si el servicio está saturado aún se puede realizar descargas (Reta Gutierrez et al., 2021 pág. 6).
- Existen diferentes empresas de internet que utilizan grandes cantidades de cableado, y a la presencia de un accidente, el servicio deja de funcionar y el tiempo de reparación es alto, mientras que con el internet satelital al ser inalámbrico no tendrá dichos inconvenientes (Reta Gutierrez et al., 2021 pág. 6).

2.2.2.2 Desventajas del Internet Satelital

- El internet satelital suele tener un precio elevado en comparación a las tecnologías más comunes, estas son tipos de conexión a internet como ADSL y fibra óptica (Reta Gutierrez et al., 2021 pág. 6).
- Entre más latencia, más se tardará en transmitir un paquete dentro de la red, es decir la página web tardaría más en cargarse, el servicio de internet satelital al tener mayor latencia, no es recomendable para transmisiones en tiempo real (Reta Gutierrez et al., 2021 pág. 6).

- La velocidad que se puede llegar a alcanzar utilizando esta tecnología, puede variar considerablemente, esto dependiendo de la distancia que nos encontremos del satélite más cercano (Reta Gutierrez et al., 2021 pág. 6).

2.2.3 *Proveedores de Servicio de Internet Satelital*

El internet satelital conecta hogares a través de un satélite en órbita, logrando que esta disponibilidad exista en todo el país, siendo la mejor opción para las áreas rurales que carecen de acceso a redes, en lugar de usar cables terrestres para proporcionar su señal, este se conecta a través de una antena instalada en la casa o cerca de ella. Los dos principales proveedores de internet satelital son Viasat y HughesNet, pero hoy en día existen nuevos proveedores como Starlink que han ingresado al mercado de Internet satelital (Messink, 2022 pág. 1).

2.2.3.1 *Cobertura y orbitas de proveedores de Internet Satelital*

- **Viasat:** La tecnología de Internet vía satélite, ha tenido un gran alcance en la cobertura, pues a medida que este lanza más satélites en órbita, el internet logra estar en disponibilidad en más partes del mundo, conectando a personas que antes tenían conexión limitada o inexistente con internet de gran velocidad, con el lanzamiento del ViaSat-2 en 2017, logrando proveer de cobertura a México, la zona septentrional de América del Sur, América Central y el Caribe, pues fuera de las grandes ciudades no existía acceso a Internet y en la mayoría de estas poblaciones no podían adquirir los planes tradicionales ofrecidos en los Estados Unidos y Canadá (Viasat, 2020 pág. 1).
Viasat, siendo el proveedor más caro, teniendo planes desde \$99.99 al mes, que ofrece velocidades de hasta 25 Mbps con límites de datos de 100GB por mes, con una tarifa de instalación de \$99, utilizando para dicho servicio la órbita Geoestacionaria (Frackiewicz, 2023 pág. 1).
- **HughesNet:** Luego de que la empresa llegue a México, al cumplir 3 años se dice que cuentan con más de 1.5 millones de suscriptores en el Continente Americano y casi 400 mil en seis países de Latinoamérica, Ecuador, Chile, Colombia, Perú y México, incluyendo a Brasil. (Arévalo , 2022 pág. 1). Además, Hughes empezó la cuenta regresiva para el lanzamiento de JUPITER 3, dicho satélite es de última generación estando en órbita a principios del 2023, ofreciendo conectividad en todo el continente americano (González, 2022 pág. 1).

HughesNet, siendo un proveedor de servicio de internet que dispone de planes desde \$59.99 por mes de servicio, ofreciendo una velocidad de hasta 25 Mbps con límites de datos de 50GB por mes, con una tarifa de instalación de \$99, utilizando para dicho servicio la órbita Geoestacionaria (Frackiewicz, 2023 pág. 1).

- **Starlink:** Siendo este un proveedor relativamente nuevo, ofreciendo internet de alta velocidad sin límites de datos, ofreciendo planes desde \$99 por mes, con velocidades de descarga de hasta los 100 Mbps y velocidades de carga de 20 Mbps, utilizando para dicho servicio la órbita de altitud baja (LEO, Low Earth Orbit) (Frackiewicz, 2023 pág. 1).

2.3 Tecnología Starlink

2.3.1 Definición

Starlink es un proyecto desarrollado por la empresa SpaceX con el objetivo de crear una red satelital capaz de dar servicio de internet de banda ancha a usuarios localizados en cualquier parte del mundo, cabe recalcar que su principal mercado es a lugares aislados del planeta donde no se logra llegar con infraestructura cableada, pero también es la de proporcionar a los mismos tiempos de latencia bajos y un precio asequible (Figueroa Hernán, 2021 pág. 4).



Ilustración 2-2. Logos de SpaceX y Starlink.
Fuente: (Figueroa Hernán, 2021)

Siendo esta la enorme constelación de satélites de SpaceX del multimillonario Elon Musk, que promete una mayor eficacia de internet proveyendo de un mayor alcance en todo el mundo, provocando un cambio en el cielo como se lo conoce (National Geographic, 2022 pág. 1).

A continuación, en la Ilustración 3-2. Indica la gráfica de los satélites de la mega constelación Starlink en color rojo, mientras que las diferentes constelaciones se ilustran en color diferente.

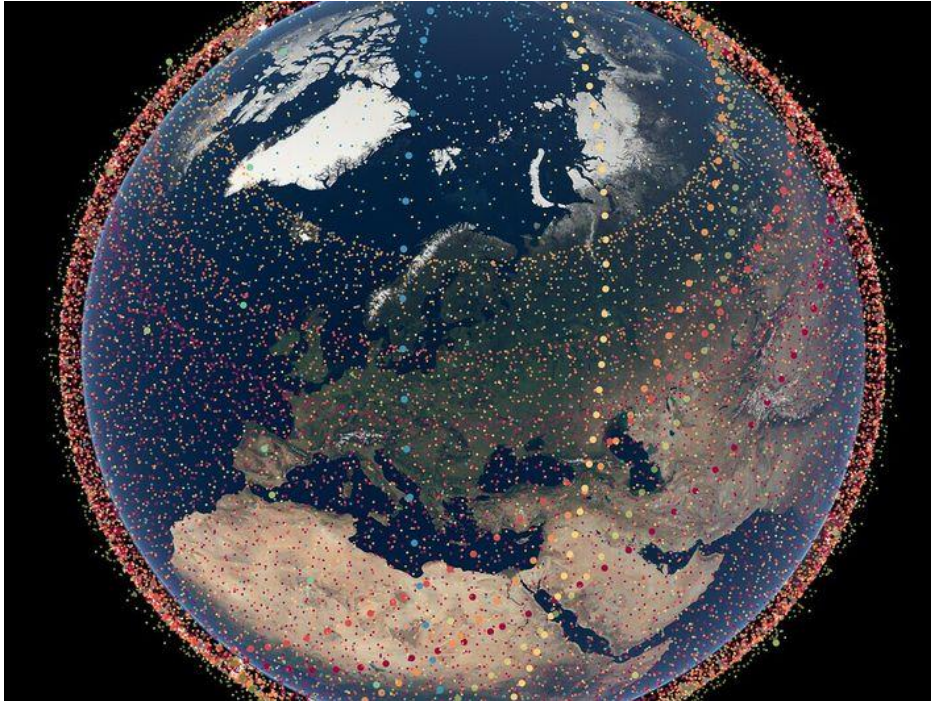


Ilustración 2-3. Satélites mega constelación Starlink (color rojo), y otros.
Fuente: (National Geographic, 2022)

La empresa de servicios de transporte espacial fundada por Elon Musk, denominada SpaceX, lanzó en mayo de 2019, el primer grupo de 60 satélites de telecomunicaciones, se dice que la mega constelación formada ya supera los 3400 satélites en órbita terrestre. Como función principal de los mencionados son el dotar de internet de banda ancha de velocidad alta vía a enlace satelital en todo el planeta, la empresa desarrolladora menciona que el servicio podrá soportar transmisiones, juegos en línea, videollamadas, dicho servicio principalmente está destinado a regiones que no tiene acceso a la conexión, estas podrían ser las denominadas zonas Rurales (National Geographic, 2022 pág. 1).

2.3.2 Funcionamiento Satélites Starlink

En la mayoría de servicios de internet satelital proceden con la utilización de equipamiento o dispositivos en la órbita GEO, es decir orbitan aproximadamente a más de 35000 kilómetros de altura, al estar a esta altura en la órbita mencionada como principal característica se tiene que los satélites cubren la misma región del planeta pues estos giran a la misma velocidad de la Tierra, la desventaja es la distancia pues dificulta el uso en actividades que requieren un tiempo de retardo de comunicación bajo es decir una baja latencia, como por ejemplo juegos o videoconferencias (National Geographic, 2022 pág. 1).

Por otra parte, los satélites de la empresa SpaceX, corresponden su órbita a una altura de 550 Kilómetros de la Tierra, estos cubren todo el planeta, se puede decir que siempre hay un equipo

sobre una determinada región de la Tierra pues hay miles de satélites en órbita baja, permitiendo con esto que exista una comunicación más rápida y constante pues están más cerca, como dato importante o destacado se tiene que la velocidad de comunicación entre el satélite y los dispositivos terrestres es de 20 milisegundos en comparación con los sistemas de comunicación en órbita geostacionaria que tardan más de 600 milisegundos (National Geographic, 2022 pág. 1).

Los Satélites Starlink tendrán un movimiento simultaneo en sus órbitas y transmitirán internet desde y hacia la superficie en áreas determinadas, dicha señal transmitida va hacia un conjunto de antenas de radio, dichas antenas principalmente pueden transmitir en múltiples direcciones y frecuencias sin moverse, los sistemas funcionan con energía solar, cada uno de estos dispone de una sola matriz solar, con esto logrando reducir las fallas y costos (Primicias, 2019 pág. 1).

2.3.3 Aspectos Técnicos de las comunicaciones satelitales de Starlink

2.3.3.1 Frecuencias

Las bandas de frecuencia más utilizadas en la actualidad para transmisión y recepción de las antenas satelitales están en la banda C (4 – 8 GHz), Ku (11 – 20 GHz), Ka (26,5 – 40 GHz). (Buenaño, 2022 pág. 1)., dicho esto, con la información publicada por las patentes por parte de Space Exploration Technologies Corp., se conoce el funcionamiento de la antena y el sistema de Starlink, es importante conocer las frecuencias de trabajo del sistema, donde el enlace Downlink se encuentra en el rango de 10,7 a 12,7 GHz mientras que el enlace Uplink se encuentra en el rango de 14 a 14.5 GHz, siendo estas las bandas de frecuencia Ku (Nuñez, 2021 pág. 8).

2.3.3.2 Modulaciones

Starlink utiliza una combinación de modulaciones adaptativas, como la modulación de amplitud en cuadratura QAM y modulación de fase en cuadratura QPSK, pues estas permiten transmitir múltiples bits por símbolo, lo que aumentaría la eficiencia espectral, permitiendo una mayor tasa de transferencia de datos, además, estas modulaciones se adaptan a condiciones del canal para optimizar la eficiencia y la calidad de la transmisión, cabe recalcar que Starlink utiliza modulación adaptativa, esto quiere decir que selecciona la modulación óptima en función de las condiciones del canal en tiempo real (Nuñez, 2021 pág. 8).

2.3.3.3 Técnicas de enlace ascendente y descendente

La red presentada por Starlink, utiliza una variedad de otras tecnologías para garantizar que todas y cada una de las señales de estos satélites llegue al destino, aquí se incluyen la multiplexación pues esta tecnología utiliza la técnica de multiplexación por división de tiempo (TDM), esta es una técnica en la que se asigna un intervalo de tiempo a cada uno de los usuarios para transmitir datos, en el caso de Starlink, los satélites asignan y coordinan intervalos de tiempo específicos para enviar y recibir datos de cada usuario, logrando con esto principalmente el tener a múltiples usuarios compartiendo el mismo enlace satelital de manera eficiente, con un uso eficaz del ancho de banda, permitiendo a Starlink atender un gran número de peticiones y usuarios simultáneamente (Marcin, 2023 pág. 1).

Además, utiliza una codificación, conocida como LDPC, denominada codificación de canal de baja densidad de paridad, para la transmisión de datos en su red de satélites, esta codificación es un tipo de codificación para la corrección de errores que se utiliza para mejorar la calidad y confiabilidad del enlace en la transmisión de datos (Marcin, 2023 pág. 1).

El sistema está diseñado para ser altamente confiable y seguro, pues los satélites están equipados con tecnología de encriptación avanzada de extremo a extremo, la cual garantiza que los datos que el usuario siempre se mantenga seguros, esto a posibles ataques de robo de información, con esto se garantiza que los suscriptores realicen sus actividades confidenciales en línea sin la preocupación de que la información sea o este comprometida (Marcin, 2023 pág. 1).

2.3.4 Cobertura global y conectividad

Dicho servicio denominado internet satelital Starlink de SpaceX, estaría disponible en 32 países esto hasta finales de mayo del 2022, estos incluyen la mayor parte de Europa y América del Norte, así como algunas partes de América del Sur, Australia y Nueva Zelanda, pues para este servicio y proveer de conectividad dispone de dos mil satélites diseñados para ofrecer internet de alta velocidad y baja latencia (Romero, 2022 pág. 1).

Para abril del 2023 la empresa de internet satelital Starlink, ha logrado llevar conectividad a zonas con menos cobertura, Starlink ha trabajado para mejorar la conectividad en América Latina, teniendo como resultado llegar a proveer de servicio de Internet a ocho países los cuales son:

- México
- República Dominicana
- Puerto Rico

- Colombia
- Ecuador
- Brasil
- Perú
- Chile (MiStarlink, 2023 pág. 1).

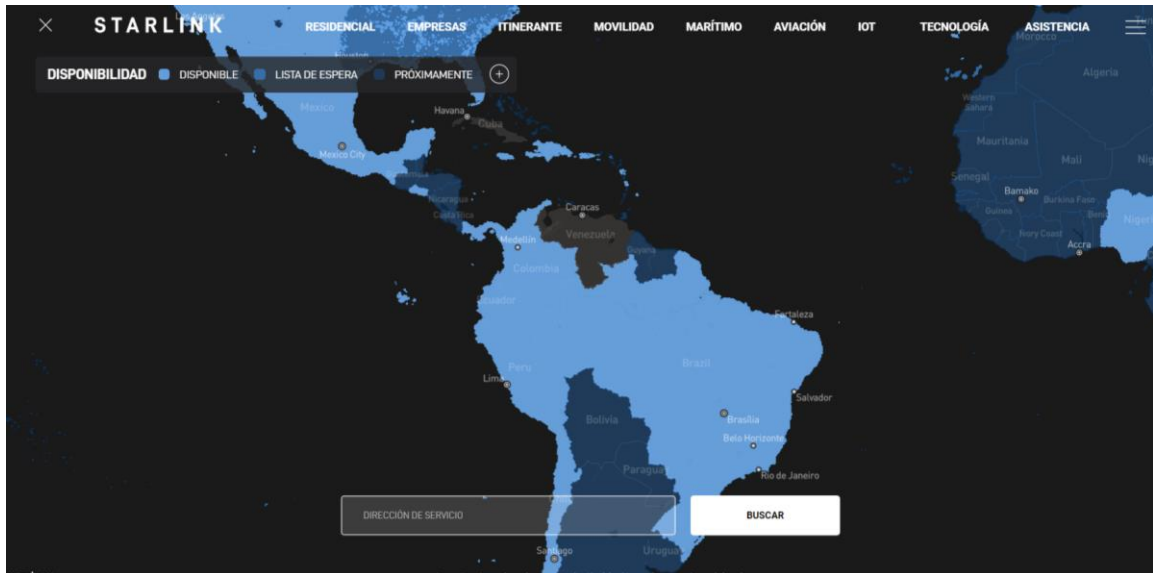


Ilustración 2-4. Mapa Disponibilidad de Servicio Starlink-SpaceX.
Fuente: (SpaceX, 2023)

2.3.5 *Starlink vs otras tecnologías*

Los dispositivos de Starlink podrán dar un servicio de internet confiable y asequible, pues principalmente tiene el propósito de llegar a lugares distantes con un difícil acceso a la Red, teniendo una ventaja en la propuesta de Elon Musk al proponer una latencia de 25 milisegundos, es decir una calidad muy similar a 4G y conexiones de fibra óptica (Primicias, 2019 pág. 1)

2.3.5.1 *Starlink vs 4G*

Se puede decir que los dos servicios pueden proveer de conectividad de internet de banda ancha a ubicaciones rurales sin necesidad de cobre, cable o fibra, pero sin embargo los dos ISP hacen las cosas de manera diferente, pues en el caso de 4G utiliza la red celular para proporcionar conectividad a internet de alta velocidad, mientras que Starlink ofrece la conexión a internet a través de la constelación de satélites de órbita baja, cabe mencionar que el costo de suscripción de servicio a la red 4G es más económico frente a la suscripción de internet satelital Starlink (Renée, 2022 pág. 1).

- Similitudes: Starlink y 4G son inalámbricos, pueden intercambiar datos utilizando señales denominadas señales de radiofrecuencia, requieren de un equipo de red con una antena adecuada para brindar el acceso a internet, brindan internet de banda ancha a lugares remotos y rurales, son y brindan conexiones de alta velocidad y baja latencia, dichas tecnologías pueden ser utilizadas para juegos, contenido en línea, teleconferencias, entre otras (Renée, 2022 pág. 1).
- Diferencias: Como principal diferencia se tiene que Starlink es una tecnología basada en satélites mientras que 4G es redes móviles, esta necesita de una estación base celular que esté más o menos cerca de donde se usa el servicio, en cambio Starlink puede acceder al servicio desde cualquier lugar de la Tierra mientras exista disponibilidad de satélites en órbita, Starlink provee de servicio de internet en su cobertura a más de 40 países, mientras que 4G limita el acceso a internet por operador móvil, por consecuencia este es más barato en la suscripción frente a Starlink (Renée, 2022 pág. 1).

2.4 Antenas

2.4.1 Patrón de Radiación

Se define como una función matemática o un gráfico que representa las propiedades de la radiación de la antena, esto en función de las coordenadas espaciales, este se determina en la región de campo lejano y es representado en función de coordenadas direccionales, se debe tener en cuenta que las propiedades de radiación incluyen la densidad de flujo de potencia, la intensidad de radiación, intensidad de campo, directividad, como también la fase o polarización (Balanis, 2016 pág. 25).

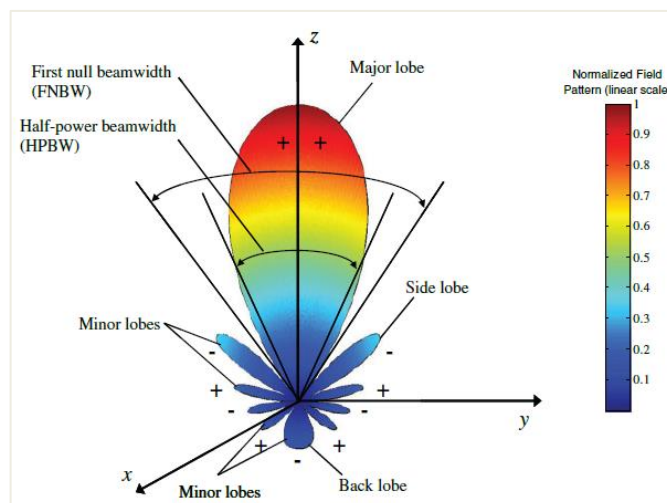


Ilustración 2-5. Diagrama de Radiación.
Fuente: (Balanis, 2016)

Los patrones de radiación tienen partes que se denominan lóbulos, y estos se pueden subclasificar en lóbulos principal, menor, lateral y posterior, es importante conocer que los lóbulos menores generalmente representan radiación en direcciones no deseadas y deben minimizarse, los lóbulos laterales son normalmente más grandes que los lóbulos menores (Balanis, 2016 pág. 45).

2.4.2 Directividad

La directividad de una antena se define como la relación de la intensidad de radiación en una dirección establecida desde la antena a la intensidad de radiación promediada, la intensidad de radiación promedio es igual a la potencia total radiada por la antena dividida por 4π , se debe tener en cuenta que, cuando no se especifica la dirección, se da a entender la dirección de máxima intensidad de radiación, es decir de manera simple la directividad de una fuente no isotrópica es igual a la relación de su intensidad de radiación en una dirección dada sobre la de una fuente isotrópica en forma matemática (Balanis, 2016 pág. 41).

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}}$$

Siendo:

D : Directividad.

U : Intensidad de Radiación.

U_0 : Intensidad de Radiación antena isotrópica.

P_{rad} : Total potencia radiada.

2.4.3 Ganancia

La ganancia de la antena está estrechamente relacionada con la directividad, esta es una medida que tiene en cuenta la eficiencia de la antena, así como sus capacidades direccionales, la directividad es una medida que describe solo las propiedades direccionales de la antena, y está controlada solo por el patrón, la ganancia de una antena en cambio es la relación de intensidad, en una dirección dada, a la intensidad de radiación que se obtendría si la potencia aceptada por la antena fuera radiada isotrópicamente (Balanis, 2016 pág. 61).

2.4.4 Ancho de banda

El ancho de banda se define como el rango de frecuencias dentro del cual el rendimiento de la antena, con respecto a alguna característica, se ajusta a un estándar especificado, este puede considerarse como el rango de frecuencias, a ambos lados de una frecuencia central, esta

denominada frecuencia de resonancia para un dipolo, donde las características de la antena están dentro de un valor aceptable de los de la frecuencia central, pueden ser de banda ancha o banda estrecha, esto depende de las especificaciones que establecen en cada caso para satisfacer las necesidades de la aplicación concreta (Balanis, 2016 pág. 40).

2.4.5 Antenas con Seguimiento

Dichas antenas son diseñadas como un facilitador para las nuevas constelaciones LEO/MEO siendo estas de alto rendimiento que aprovechan los vehículos espaciales, dichas antenas de seguimiento actualmente se encuentran disponibles para las bandas L, S, X, C, X, Ku, Ka y la E que varían entre los 60 y los 6 cm (Llorente, 2017 pág. 1).

En el caso de Starlink este dispone de motores para su seguimiento hacia el ángulo de visión óptimo, por consecuencia no es necesario un instalador experto, pues solo se necesita la conexión, una línea de vista directa, amplia y clara al cielo (Orellana, 2020 pág. 1).



Ilustración 2-6. Antenas seguimiento Starlink.
Fuente: (Orellana, 2020)

2.5 Amplificadores

2.5.1 Amplificador de alta potencia

El amplificador de alta potencia (HPA), también conocido como amplificador de potencia, desempeña un papel fundamental al suministrar la potencia necesaria para la señal de radiofrecuencia (RF) transmitida. Su principal función es combinar la señal de entrada

proveniente de la antena con la ganancia de la misma, lo que resulta en la generación de la potencia equivalente isotrópica radiada requerida para establecer el enlace ascendente (Uplink) con el satélite (Electrónica Lugo, 2022 pág. 1).

Un amplificador de potencia es un dispositivo electrónico que tiene la función de incrementar la potencia de una señal de entrada específica. Su objetivo es elevar la potencia de dicha señal a un nivel adecuado para poder manejar cargas en dispositivos de salida, tales como parlantes, auriculares, transmisores de RF, entre otros. A diferencia de los amplificadores de voltaje o corriente, el amplificador de potencia está diseñado para impulsar directamente las cargas y se utiliza como el último componente en un circuito amplificador (Electrónica Lugo, 2022 pág. 1).

Los amplificadores de alta potencia en las terminales de usuario permiten aumentar la señal de RF para mejorar la calidad de la comunicación entre las antenas y los satélites, especialmente en condiciones atmosféricas adversas o en áreas con obstrucciones. Estos amplificadores ayudan a compensar la atenuación de la señal que ocurre durante la transmisión a través del espacio y la atmósfera (Electrónica Lugo, 2022 pág. 1).

2.5.2 Amplificadores de Bajo Ruido

Un amplificador de bajo ruido (LNA) es un dispositivo electrónico que se emplea para aumentar la amplitud de señales extremadamente débiles, como aquellas provenientes de antenas donde la señal apenas es perceptible. Su función principal es amplificar estas señales sin añadir ruido adicional, ya que cualquier ruido adicional podría ocasionar la pérdida de información crucial. Los LNA son componentes fundamentales en circuitos receptores de radio y otros sistemas de recepción de señales, desempeñando un papel crucial en la mejora de la calidad de las señales débiles (Pérez Quintana, 2009 pág. 51).

2.6 Software para Diseño de Antenas

Un software dedicado al diseño de antenas es un programa informático diseñado específicamente para facilitar a ingenieros y diseñadores en la creación, simulación y optimización eficiente de antenas. Estos programas ofrecen una variedad de funciones y capacidades que ayudan en el proceso de diseño y análisis de antenas, permitiendo a los usuarios explorar diversas configuraciones, formas y parámetros con el objetivo de lograr un rendimiento óptimo, entre los principales se tiene:

2.6.1 Ansoft Designer

Ansoft Designer es una herramienta de gran potencia utilizada en el diseño y análisis de sistemas electromagnéticos. Ofrece a los ingenieros la capacidad de modelar y simular el comportamiento de componentes y circuitos en diversas condiciones, lo cual les permite optimizar y mejorar el rendimiento de sus diseños. Gracias a esta herramienta, los ingenieros pueden estudiar y evaluar cómo funcionan los componentes y circuitos en diferentes escenarios, lo que les brinda la oportunidad de perfeccionar sus diseños y lograr un mejor rendimiento en sus proyectos (Orejuela Huilcapi, 2017 pág. 3).



Ilustración 2-7. Logotipo Ansoft Designer.
Fuente: (Brands of the world, 2013)

2.6.2 HFSS (High-Frequency Structure Simulator)

Ansys HFSS es un software de simulación electromagnética en 3D utilizado para el diseño y simulación de productos electrónicos de alta frecuencia. Está especialmente enfocado en el diseño de antenas, conjuntos de antenas, componentes de RF o microondas, interconexiones de alta velocidad, filtros, conectores, paquetes de circuitos integrados y placas de circuito impreso (Ansys, 2023 pág. 1).

Ingenieros de diferentes partes del mundo utilizan el software Ansys HFSS para desarrollar componentes electrónicos de alta frecuencia y alta velocidad que se encuentran en diversos sistemas, como comunicaciones, sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS), satélites y productos de Internet de las cosas (IoT) (Ansys, 2023 pág. 1).

Con Ansys HFSS, los ingenieros pueden realizar simulaciones precisas y detalladas, lo que les permite optimizar el diseño de sus productos y evaluar su rendimiento en diferentes escenarios.

Esta herramienta es ampliamente reconocida y utilizada en la industria debido a su capacidad para abordar los desafíos de diseño en el campo de la electrónica de alta frecuencia (Ansys, 2023 pág. 1).



Ilustración 2-8. Logotipo HFSS.
Fuente: (Ansys, 2023)

2.6.3 *CST Studio Suite*

CST Studio Suite® es un software de alto rendimiento que se utiliza para realizar análisis en tres dimensiones (3D) de electromagnetismo (EM). Su principal objetivo es facilitar el diseño, análisis y optimización de componentes y sistemas electromagnéticos (Dassault Systemes, 2022 pág. 1).

CST Studio Suite es un paquete de software diseñado específicamente para la simulación electromagnética y se utiliza ampliamente en varias industrias. Es una herramienta clave para ingenieros y diseñadores que desean analizar y diseñar sistemas electromagnéticos en sectores como las telecomunicaciones, la electrónica, la industria automotriz y la aeroespacial (Dassault Systemes, 2022 pág. 1).



Ilustración 2-9. Logotipo CST Studio Suite.
Fuente: (GoEngineer, 2023)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Introducción

Este trabajo de integración curricular se basó en el análisis de la tecnología Starlink para diseñar un sistema radiante dual band que trabaje en las bandas para el enlace de subida a 14.25 GHz y el enlace de bajada a 11.83 GHz utilizando parches triangulares simulados en un software profesional para el diseño de Antenas y acoplados a través de un acoplador Chebyshev que mantenga el ancho de banda, el sistema contiene un amplificador de bajo ruido.

Para la simulación se aplicó técnicas de simulación y optimización para ajustar los parámetros geométricos de los parches triangulares, optimizar el rendimiento del acoplador Chebyshev y al añadir un amplificador de bajo ruido, se logra un mejor funcionamiento del sistema radiante considerando las frecuencias de operación específicas de Starlink.

Se realizaron simulaciones para evaluar el rendimiento de la antena diseñada verificando parámetros como, patrón de radiación, ancho de banda, frecuencias de operación dichas simulaciones permitirán analizar el desempeño de la antena.

Finalmente, se realizó los ajustes y optimizaciones pertinentes en el diseño de la antena, el acoplador Chebyshev y con la adquisición y el ensamblado del amplificador de bajo ruido a las frecuencias deseadas para así, lograr una mejora en rendimiento y cumplir con los requisitos establecidos. Se llevará a cabo una validación experimental para comparar los resultados de las simulaciones con mediciones prácticas, a continuación, en la Ilustración 3-1 se muestra el Sistema Radiante.

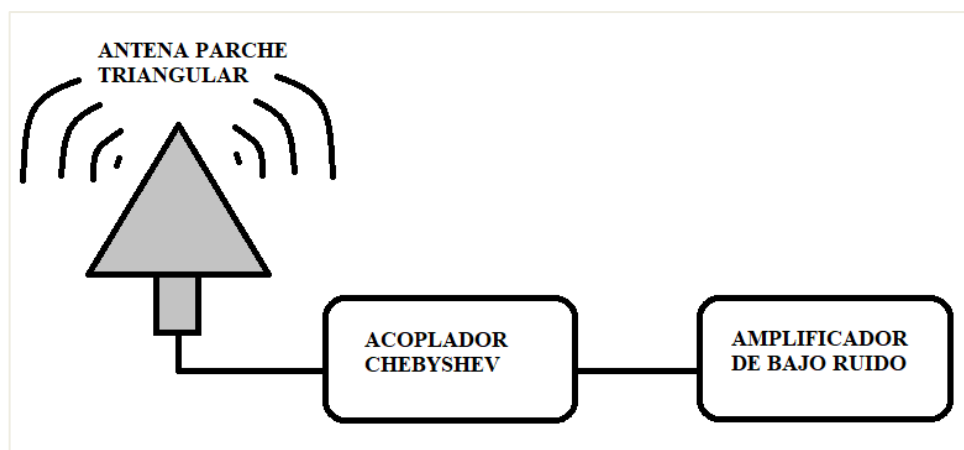


Ilustración 3-1. Diagrama del Sistema Radiante.
Realizado por: Pérez F., 2023

3.2 Diseño de la Antena

En esta sección se mostrará cada uno de los pasos realizados para el diseño de la antena parche triangular dual band incluyendo cada uno de los cálculos y optimizaciones realizadas para obtener una mejor respuesta en frecuencia y ancho de banda.

3.2.1 Elección sustrato FR4

- El FR4 es un material dieléctrico comúnmente utilizado en la fabricación de antenas y otros dispositivos electrónicos debido a sus propiedades eléctricas y mecánicas favorables (Quinapaxi Cabrera, 2022 pág. 14).
- Es un medio no homogéneo para la propagación de la señal debido a que la fibra de vidrio y la resina epóxica poseen diferentes valores de permitividad, pero al igual que muchos materiales necesitan de fibra de vidrio para la resistencia estructural (Quinapaxi Cabrera, 2022 pág. 14).
- Los valores de constante dieléctrica cambian de acuerdo con el fabricante y la frecuencia de operación (Quinapaxi Cabrera, 2022 pág. 14).
- Dispone de una relación resistencia-peso, buenas características mecánicas, y tiene gran capacidad aislante en ambiente húmedo o seco (Quinapaxi Cabrera, 2022 pág. 14).
- Teniendo un valor de permitividad de 4,4 con una altura del material de 1,6mm, como se muestra en el Anexo A.

3.2.2 Diseño parche Triangular

Se describen los cálculos necesarios para determinar las dimensiones de la Antena parche Triangular, que se obtiene mediante la aplicación de la siguiente ecuación. Al sustituir los valores de frecuencia y permitividad del material seleccionado, se obtiene el siguiente resultado:

$$\lambda = \frac{C}{f * \sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\lambda = \frac{3 * 10^8}{(11,83 * 10^9) * (\sqrt{4,4})}$$

$$\lambda = a = 12,2238 \text{ mm}$$

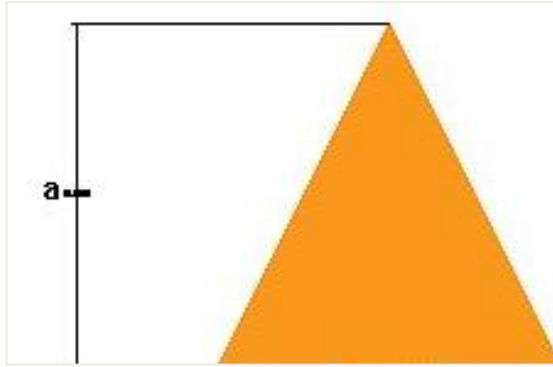


Ilustración 3-2. Parche Triangular.
Realizado por: Pérez F., 2023

3.2.3 Línea de transmisión

En esta sección, para lograr el acoplamiento de la Antena parche triangular mencionada anteriormente, se utiliza una línea de Transmisión con una impedancia de 50Ω . A continuación, se presentan los cálculos requeridos para determinar las dimensiones de esta línea, basados en las fórmulas extraídas del libro "Microwave Engineering" de David M. Pozar.

$$Z_{Ant} = 50\Omega$$

$$A_{Ant} = \frac{Z_{Ant}}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r}\right)$$

$$A_{Ant} = \frac{50}{60} \sqrt{\frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{4,4 + 1}} \left(0,23 + \frac{0,11}{4,4}\right)$$

$$A_{Ant} = 1.53$$

$$\frac{w}{d} < 2;$$

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{(A_{Ant})}}{e^{(2A_{Ant})} - 2}$$

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{(1,53)}}{e^{(2*1,53)} - 2}$$

$$\frac{w}{d} = 1,907$$

$$w = (1,907)(1,6)$$

$$w = 3,051 \text{ mm}$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12\left(\frac{d}{W}\right)}}$$

$$\epsilon_e = \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12\left(\frac{1,6}{3,051}\right)}}$$

$$\epsilon_e = 3,329$$

$$x = \frac{\theta C}{2\pi(f)\sqrt{\epsilon_e}}$$

$$x = \frac{\frac{\pi}{2} (3 * 10^8)}{2\pi(11,83 * 10^9)\sqrt{3,329}}$$

$$x = 3,475 \text{ mm}$$

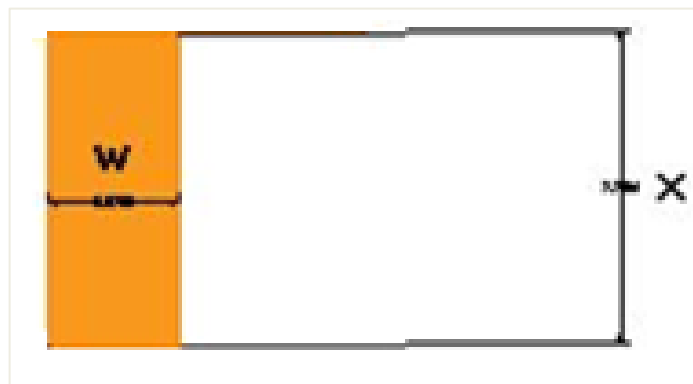


Ilustración 3-3. Línea de Transmisión.
Realizado por: Pérez F., 2023

3.2.4 Parche Triangular y Línea de Transmisión

En esta sección se presenta la integración tanto del parche triangular previamente calculado como de la línea de transmisión, la cual da como resultado el diseño mostrado en la Ilustración 3-4.

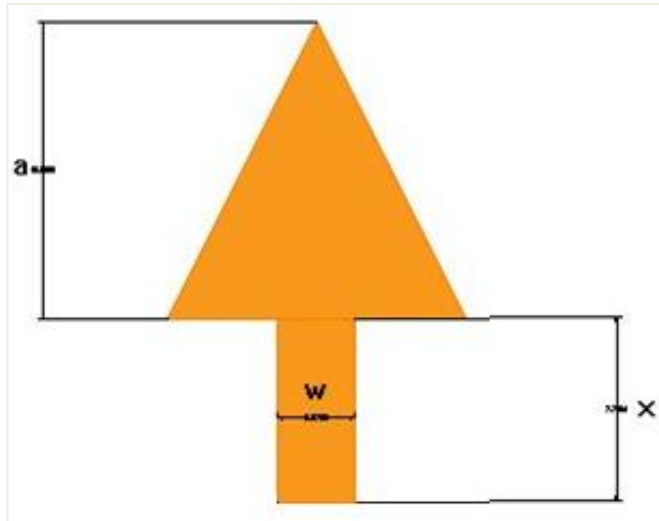


Ilustración 3-4. Parche Triangular y Línea de Transmisión.
Realizado por: Pérez F., 2023

3.2.5 Diseño Acoplador Chebyshev

Se sustenta la utilización del transformador de adaptación Chebyshev multisección, pues este, implica determinar los parámetros y las dimensiones adecuadas del dispositivo, como las longitudes y anchos de las líneas de transmisión, para lograr la atenuación deseada de las señales y mantener la respuesta de frecuencia plana en la banda de interés, el transformador optimiza el ancho de banda a expensas de la ondulación de la banda de paso, con la planitud de la respuesta de banda de paso que conduce a un mejoramiento del ancho de banda, este está diseñado por un polinomio de Chebyshev, que tiene características óptimas necesarios para este tipo de transformador. (Pozar, 2012 págs. 256-261), a continuación se muestra la estructura tentativa a diseñar en la Ilustración 3-5, cabe recalcar que se utilizará un acoplador Chebyshev de 3 secciones, y se realizara el acoplamiento a $Z_0 = 50\Omega$, a una carga $Z_L = 51,07332\Omega$ obtenida del parche más la línea de transmisión antes calculada.

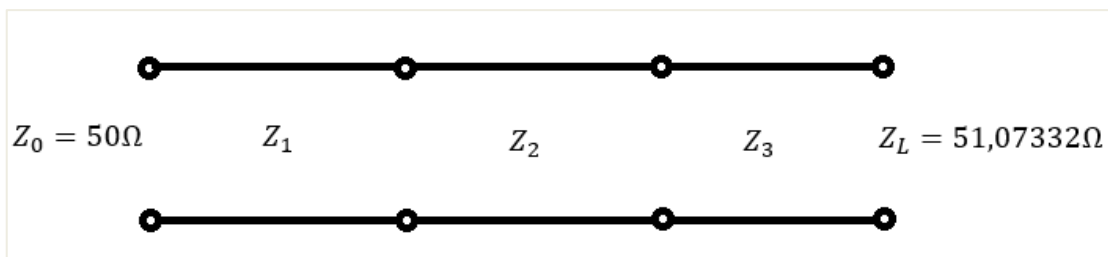


Ilustración 3-5. Estructura diseño del acoplador Chebyshev.
Realizado por: Pérez F., 2023

Tabla 3-1. Datos para el Diseño del Acoplador Chebyshev.

Z_L	51,07332 Ω
Z_0	50 Ω
N° secciones	3
Frecuencias	11,83GHz – 14,25GHz

Realizado por: Pérez F., 2023

Como se muestra en la Ilustración 3-5. Se realizará los cálculos tanto de las impedancias Z_1, Z_2, Z_3 , como de las dimensiones para cada una de las impedancias, utilizando los datos presentados en la Tabla 3-1., dichos cálculos para el diseño del acoplador Chebyshev de la Ilustración 3-6., se detallan a continuación.

$$A = 2^{-N} \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$A = 2^{-3} * \frac{51,073332 - 50}{51,073332 + 50}$$

$$A = 1,32742 * 10^{-3}$$

$$\sec \theta_m = \cosh \left[\frac{1}{N} \cosh^{-1} \left(\frac{\ln \left(\frac{Z_L}{Z_0} \right)}{2\Gamma_m} \right) \right]$$

$$\sec \theta_m = \cosh \left[\frac{1}{3} \cosh^{-1} \left(\frac{\ln \left(\frac{51,073332}{50} \right)}{2(1,32742 * 10^{-3})} \right) \right]$$

$$\sec \theta_m = 1,457$$

A continuación, se procede a efectuar los cálculos correspondientes para determinar los coeficientes de reflexión mediante la aplicación de la fórmula del polinomio de Chebyshev de tercer grado.

$$2(\Gamma_0 \cos 3\theta + \Gamma_1 \cos \theta) = A \sec^3 \theta_m (\cos 3\theta + 3 \cos \theta) - 3A \sec \theta_m \cos \theta$$

cos 3 θ :

$$2\Gamma_0 = A \sec^3 \theta_m$$

$$\Gamma_0 = \frac{A \sec^3 \theta_m}{2}$$

$$\Gamma_0 = \frac{(1,32742 * 10^{-3})(1,457)^3}{2}$$

$$\Gamma_0 = \Gamma_3 = 2,053 * 10^{-3}$$

cos θ :

$$2\Gamma_1 = 3A \sec^3 \theta_m - 3A \sec \theta_m$$

$$\Gamma_1 = \frac{3A(\sec^3 \theta_m - \sec \theta_m)}{2}$$

$$\Gamma_1 = \frac{3(1,32742 * 10^{-3})((1,457)^3 - (1,457))}{2}$$

$$\Gamma_1 = \Gamma_2 = 3,257 * 10^{-3}$$

Seguidamente, se realiza los cálculos de las impedancias Z_1, Z_2, Z_3 , como cada una de las dimensiones de las líneas de transmisión, detalladas a continuación.

Para Z_1 :

$$\ln Z_1 = \ln Z_0 + 2\Gamma_0$$

$$\ln Z_1 = \ln(50) + 2(2,053 * 10^{-3})$$

$$\ln Z_1 = 3,916$$

$$Z_1 = 50,206\Omega$$

$$A_1 = \frac{Z_1}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r}\right)$$

$$A_1 = \frac{50,206}{60} \sqrt{\frac{4,4 + 1}{2}} + \frac{4,4 - 1}{4,4 + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{4,4}\right)$$

$$A_1 = 1.536$$

$$\frac{w}{d} < 2;$$

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{(A_1)}}{e^{(2A_1)} - 2}$$

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{(1,536)}}{e^{(2*1,536)} - 2}$$

$$\frac{w}{d} = 1,898$$

$$w = (1,898)(1,6)$$

$$w_{c1} = w = 3,0368 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12\left(\frac{d}{w}\right)}}$$

$$\varepsilon_e = \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12\left(\frac{1,6}{3,0368}\right)}}$$

$$\varepsilon_e = 3,1913$$

$$l = \frac{\theta C}{2\pi(f)\sqrt{\varepsilon_e}}$$

$$l = \frac{\frac{\pi}{2} (3 * 10^8)}{2\pi(11,83 * 10^9)\sqrt{3,1913}}$$

$$l_{c1} = l = 3,54 \text{ mm}$$

Para Z_2 :

$$\ln Z_2 = \ln Z_1 + 2\Gamma_1$$

$$\ln Z_2 = \ln(50,206) + 2(3,257 * 10^{-3})$$

$$\ln Z_2 = 3,923$$

$$Z_2 = 50,534\Omega$$

$$A_2 = \frac{Z_2}{60} \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1}} \left(0,23 + \frac{0,11}{\varepsilon_r}\right)$$

$$A_2 = \frac{50,534}{60} \sqrt{\frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{4,4 + 1}} \left(0,23 + \frac{0,11}{4,4}\right)$$

$$A_2 = 1,544$$

$$\frac{w}{d} < 2;$$

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{(A_2)}}{e^{(2A_2)} - 2}$$

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{(1,544)}}{e^{(2*1,544)} - 2}$$

$$\frac{w}{d} = 1,879$$

$$w = (1,879)(1,6)$$

$$w_{c2} = w = 3,0064 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12\left(\frac{d}{w}\right)}}$$

$$\varepsilon_e = \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12\left(\frac{1,6}{3,0064}\right)}}$$

$$\varepsilon_e = 3,3255$$

$$l = \frac{\theta C}{2\pi(f)\sqrt{\varepsilon_e}}$$

$$l = \frac{\frac{\pi}{2} (3 * 10^8)}{2\pi(11,83 * 10^9)\sqrt{3,3255}}$$

$$l_{c2} = l = 3,476 \text{ mm}$$

Para Z_3 :

$$\ln Z_3 = \ln Z_2 + 2\Gamma_2$$

$$\ln Z_3 = \ln(50,534) + 2(3,257 * 10^{-3})$$

$$\ln Z_1 = 3,93$$

$$Z_1 = 50,864\Omega$$

$$A_3 = \frac{Z_3}{60} \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\varepsilon_r}\right)}$$

$$A_3 = \frac{50,864}{60} \sqrt{\frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{4,4 + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{4,4}\right)}$$

$$A_3 = 1,552$$

$$\frac{w}{d} < 2;$$

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{(A_3)}}{e^{(2A_3)} - 2}$$

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{(1,552)}}{e^{(2*1,552)} - 2}$$

$$\frac{w}{d} = 1,862$$

$$w = (1,862)(1,6)$$

$$w_{c3} = w = 2,979 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12\left(\frac{d}{w}\right)}}$$

$$\varepsilon_e = \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12\left(\frac{1,6}{2,979}\right)}}$$

$$\varepsilon_e = 3,323$$

$$l = \frac{\theta C}{2\pi(f)\sqrt{\varepsilon_e}}$$

$$l = \frac{\frac{\pi}{2} (3 * 10^8)}{2\pi(11,83 * 10^9)\sqrt{3,323}}$$

$$l_{c3} = l = 3,478 \text{ mm}$$

En la Ilustración 3-6., muestra el diseño del acoplador Chebyshev con las etiquetas de cada una de las dimensiones antes detalladas y calculadas.

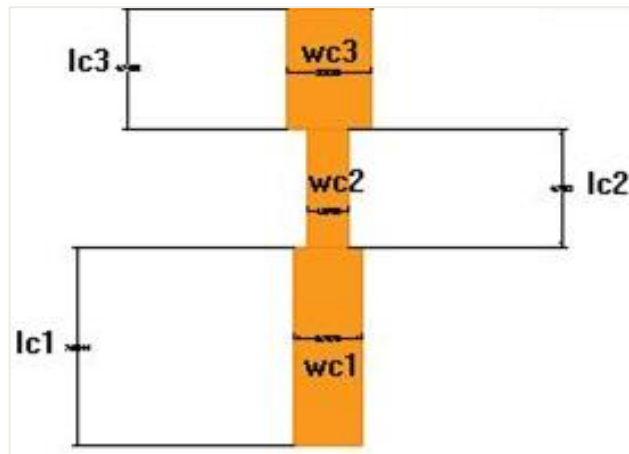


Ilustración 3-6. Acoplador Chebyshev.
Realizado por: Pérez F., 2023

3.2.6 Prototipo antena final

En esta sección se detalla la combinación de todas las secciones de diseño antes analizadas, logrando continuar con el diseño de la Antena propuesta, con la realización de los cálculos matemáticos y precisos, en la Ilustración 3-7., se muestra el diseño que será implementado en un

software de diseño de antenas, con cada una de las dimensiones antes realizadas, se debe tener en cuenta que para la optimización de la antena en el software, se realizó cambios en las dimensiones de la antena calculadas teóricamente, dichas optimizaciones se detallan en la Tabla 3-2.

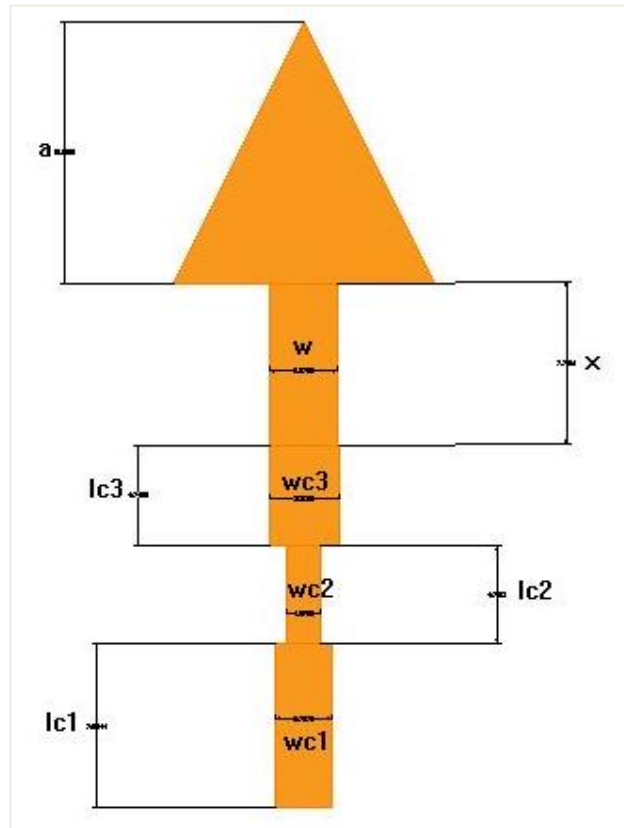


Ilustración 3-7. Antena Parche más acoplador Chebyshev.

Realizado por: Pérez F., 2023

Tabla 3-2. Dimensiones Teóricas y Optimizadas de la Antena.

Detalle	Dimensiones	Teóricas	Optimizadas
Antena	$a =$	12,2238 mm	12,75 mm
Línea de Transmisión	$w =$	3,051 mm	3,2726 mm
	$x =$	3,475 mm	4,17 mm
Acoplador Chebyshev	$w_{c3} =$	2,979 mm	3,3132 mm
	$l_{c3} =$	3,478 mm	4,14 mm
	$w_{c2} =$	3,0064 mm	2,598 mm
	$l_{c2} =$	3,476 mm	4,5211 mm
	$w_{c1} =$	3,0368 mm	2,7573 mm
	$l_{c1} =$	3,54 mm	4,96439 mm

Realizado por: Pérez F., 2023

Para obtener la antena completa se procede a formar la antena vertical realizando el diseño en tipo espejo del antes calculado y optimizado, logrando obtener la primera parte de la antena siendo la vertical, de la misma forma se procede a realizar con las mismas dimensiones la parte horizontal como se muestra en la Ilustración 3-8., el diseño final de la antena consta de las siguientes capas, las cuales son referencia, dieléctrico, señal, dieléctrico, señal, dicho diseño se observa en modelado 2D y 3D.

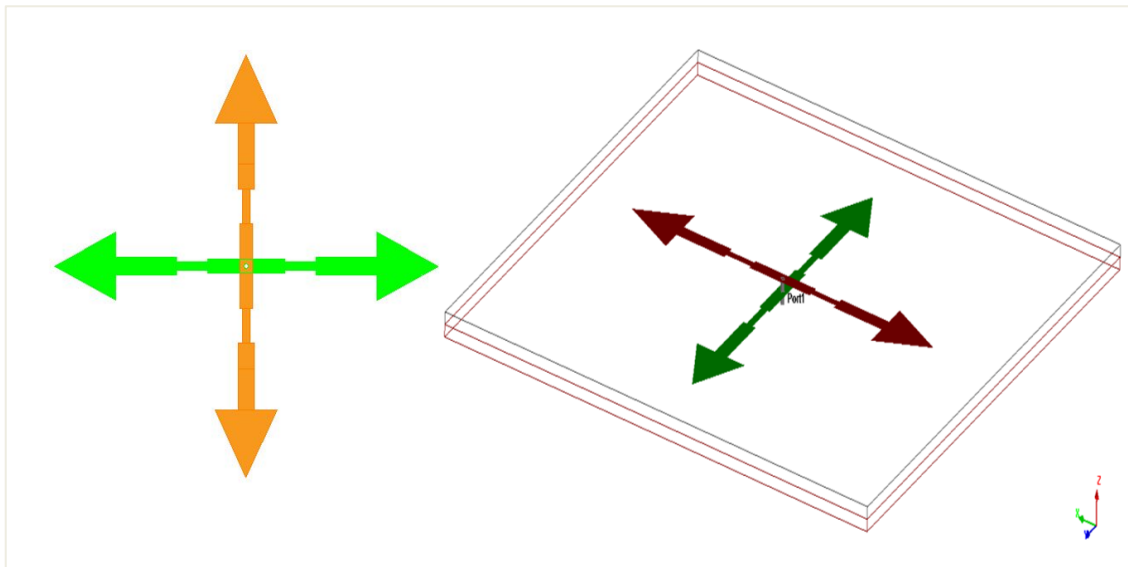


Ilustración 3-8. Diseño final de la antena en 2D y 3D.
Realizado por: Pérez F., 2023

3.3 Diseño Amplificador

En esta sección se mostrará cada uno de los pasos realizados para el ensamblado del amplificador de bajo ruido, incluyendo los cálculos para la línea de transmisión de RF-IN y RF-OUT, las cuales serán diseñadas en material Rogger 4003C con una permitividad relativa de 3,38 y altura de 0,81mm, se debe tener en cuenta que los dispositivos se los adquiere y solo se realizará el ensamblado teniendo en cuenta las sugerencias del fabricante ver Anexo B, a continuación, en la Ilustración 3-9., muestra el diagrama del circuito a desarrollar.

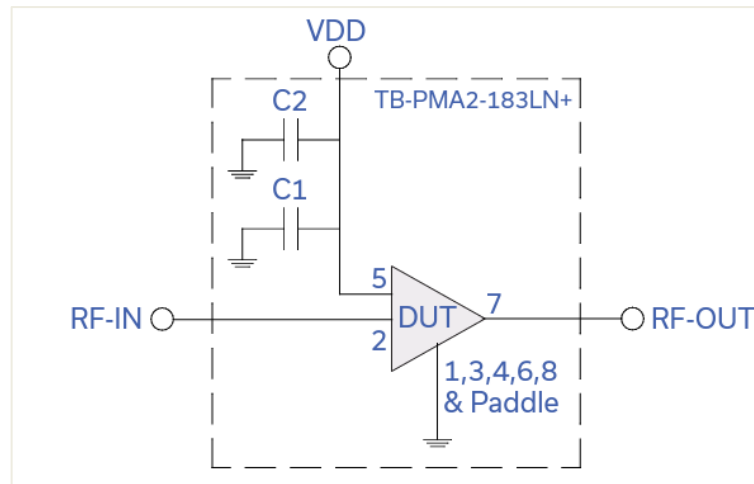


Ilustración 3-9. Diagrama del circuito propuesto por el fabricante.
Fuente: (Mini-Circuits, 2017)

3.3.1 Dispositivos electrónicos a utilizar

3.3.1.1 Amplificador PMA2-183LN+

Entre las principales especificaciones se tiene que el Amplificador Consta:

- Banda ultra ancha, de 4 a 18 GHz.
- Excelente factor de ruido, 2,5 dB a 15GHz.
- Baja corriente, 48mA.
- Usable hasta 20 GHz
- Algunas otras especificaciones se muestran en el Anexo 2. (Mini-Circuits, 2017 pág. 1)



Ilustración 3-10. Amplificador PMA2-183LN+
Fuente: (Mini-Circuits, 2017)

3.3.1.2 Capacitores cerámicos 100pF y 0,1uF

Los capacitores cerámicos de capas múltiples (Multilayer Ceramic Capacitors, MLCC) son componentes electrónicos utilizados en circuitos electrónicos para almacenar y liberar energía eléctrica. Son particularmente populares debido a su tamaño compacto y su capacidad para

manejar altas frecuencias. (Mari, 2011 pág. 44)., en la Ilustración 3-11., muestra el capacitor cerámico a utilizar, al igual que en el Anexo 3 y 4 se muestra las especificaciones de los mismos.

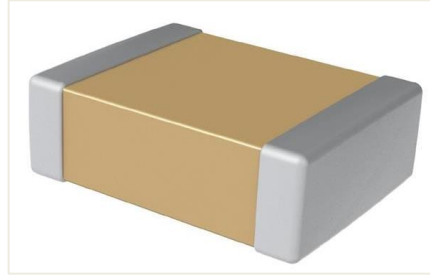


Ilustración 3-11. Capacitor Cerámico.
Fuente: (Mouser Electronics, 2023)

3.3.2 Creación pistas para ensamblado final

Principalmente en esta sección, se detalla las dimensiones de las líneas tanto de RF-IN como de RF-OUT, las cuales deberán tener una dimensión específica para lograr el acoplamiento a 50Ω con material Roger, a continuación, se detalla las dimensiones tentativas para el diseño.

$$Z_{Amp} = 50\Omega$$

$$A_{Amp} = \frac{Z_{Amp}}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r}\right)}$$

$$A_{Amp} = \frac{50}{60} \sqrt{\frac{3,38 + 1}{2} + \frac{3,38 - 1}{3,38 + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{3,38}\right)}$$

$$A_{Amp} = 1.3759$$

$$\frac{w}{d} > 2;$$

$$B = \frac{377\pi}{2(Z_{Amp})\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$B = \frac{377\pi}{2(50)\sqrt{3,38}}$$

$$B = 6,442$$

$$\frac{w}{d} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right]$$

$$\frac{w}{d} = \frac{2}{\pi} \left[6,442 - 1 - \ln((2 * 6,442) - 1) + \frac{3,38 - 1}{2 * 3,38} \left(\ln(6,442 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{3,38} \right) \right]$$

$$\frac{w}{d} = 2,30$$

$$w = (2,30)(0,81)$$

$$w = 1,863 \text{ mm}$$

Con estos cálculos detallados anteriormente se dice que, es necesario un ancho en la línea de Transmisión de RF-IN y RF-OUT, de 1,863mm para así obtener un acoplamiento a 50Ω deseados en el amplificador presentado, ahora bien, en la Ilustración 3-12., se muestra el diseño final realizado en un software profesional de diseño de impresión de Circuitos en placas PCB.

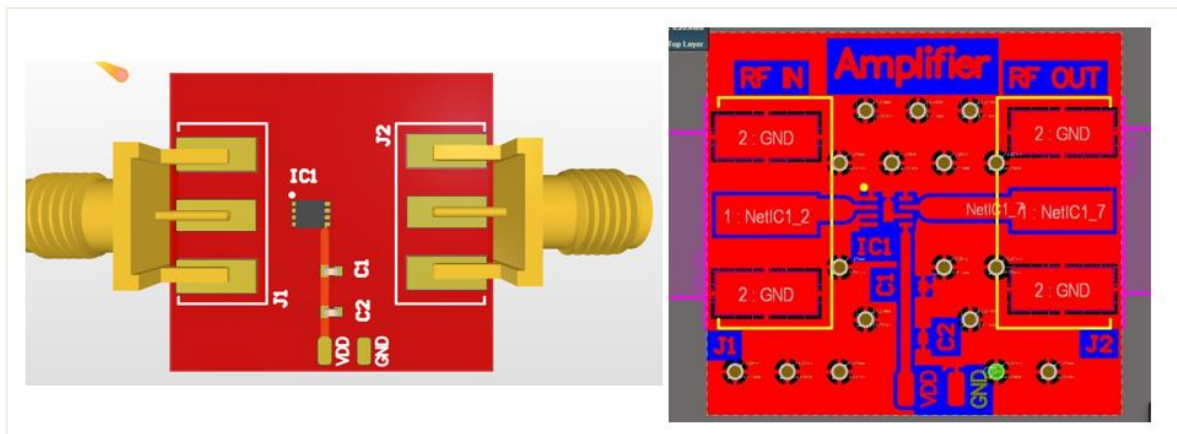


Ilustración 3-12. Diseño Final Amplificador Placa PCB.
Realizado por: Pérez F., 2023

3.4 Implementación

Finalmente, en esta sección denominada implementación muestran cada uno de los procedimientos para el ensamblado final tanto de la antena diseñada, como la del amplificador de bajo ruido, cada uno de estos procedimientos han sido desarrollados manteniendo la mayor exactitud en los dimensionamientos como la posición, para así mantener similitud, tanto en lo calculado, lo simulado y lo implementado.

3.4.1 Implementación de la Antena

En la Ilustración 3-13., muestra tanto la placa Fr4 con la impresión de la pegatina como la remoción del excedente de cobre mediante el desvanecimiento con Acido Cloruro Férrico, esto del diseño antes presentado en la sección 3.2.

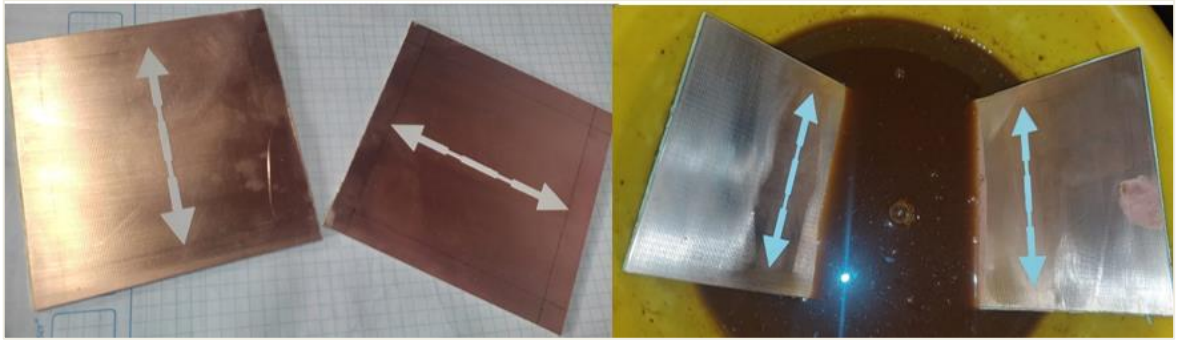


Ilustración 3-13. Antena impresa y procedimiento de remoción de excedentes.
Realizado por: Pérez F., 2023

En la Ilustración 3-14., se muestra el diseño final de dos pares de antenas, luego del proceso de remoción de excedente, se observa que se obtiene las antenas diseñadas anteriormente en la sección 3.2.

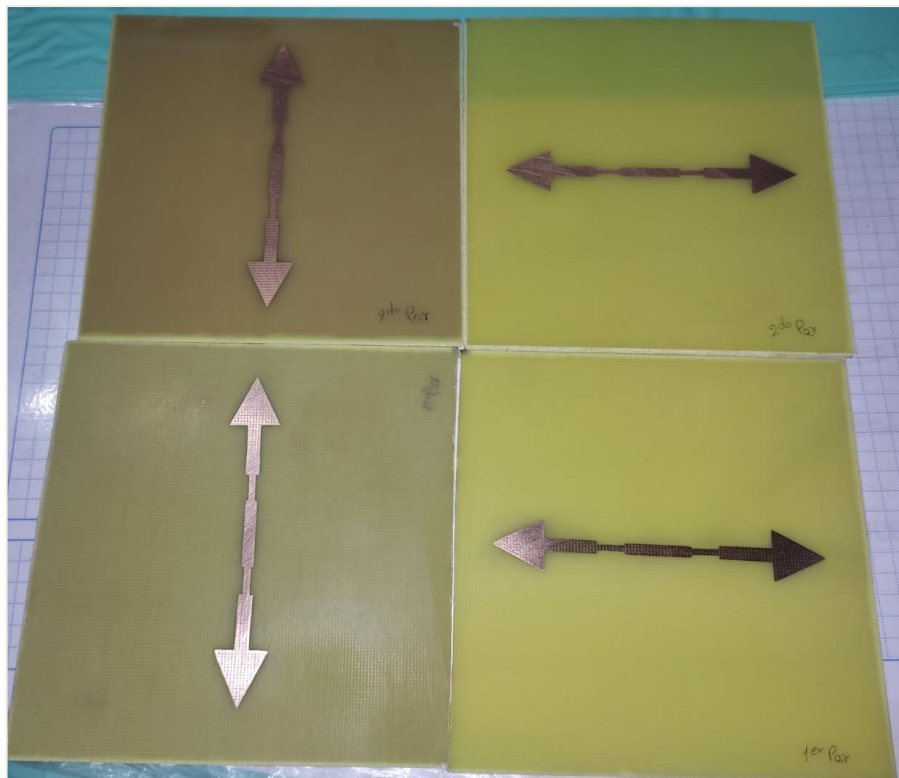


Ilustración 3-14. Par de antenas, luego del proceso de remoción de excedentes.
Realizado por: Pérez F., 2023

En la otra fase de implementación se tiene que, para unir tanto la capa inferior con la superior, se debe atravesar la señal del Conector SMA hembra a 50Ω entre las mencionadas, en la cual se realiza la perforación con una broca de aproximadamente 1mm, se debe tener en cuenta que para obtener la posición exacta de alimentación coaxial de la antena se procede a utilizar una pegatina con las dimensiones de la antena y posición del coaxial para proceder con la perforación, en la

Ilustración 3-15., se muestra tanto la perforación, como un modelado de la antena final con las dos capas.



Ilustración 3-15. Perforación antena y modelado final.
Realizado por: Pérez F., 2023

Finalmente, en la Ilustración 3-16., muestra la antena Presentada Final, la cual consta de las capas Referencia, Dieléctrico, Señal, Dieléctrico, Señal, en esta se observa que tiene unos tornillos, los cuales, tiene como función la de evitar que exista aire entre estas capas, y estas se muevan provocando cambios en la respuesta, además estos tornillos son de plástico, para evitar cualquier alteración en la implementación sobre el diseño.

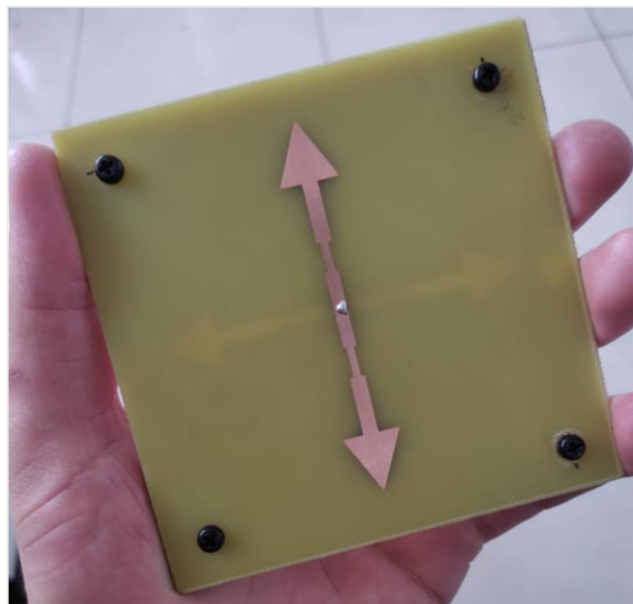


Ilustración 3-16. Ensamblado de la Antena presentada Final.
Realizado por: Pérez F., 2023

3.4.2 Implementación del Amplificador

En la Ilustración 3-17., muestra el diseño impreso en la pegatina presentado en la sección 3.3, se debe tener en cuenta que en esta pegatina tiene dos diseños que serán pegados sobre la placa

Roger a utilizar con las especificaciones antes detalladas, para proceder con un proceso similar a la de la implementación de la antena presentado en la sección 3.4.1.

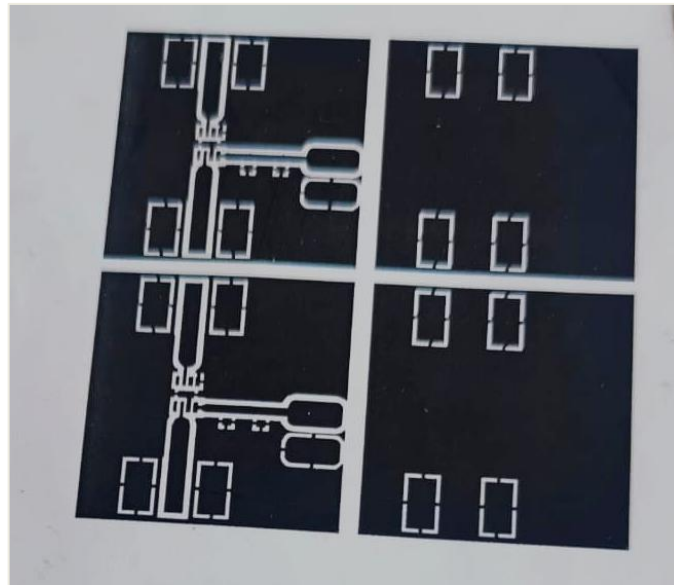


Ilustración 3-17. Pegatina del diseño para pistas del amplificador.
Realizado por: Pérez F., 2023

Luego de obtener el diseño impreso se procede a realizar el planchado del mismo para pasar el diseño presentado a la placa Roger, y quemar el excedente con ácido Cloruro Férrico, en la Ilustración 3-18., muestra tanto el diseño en la placa como el quemado del excedente.

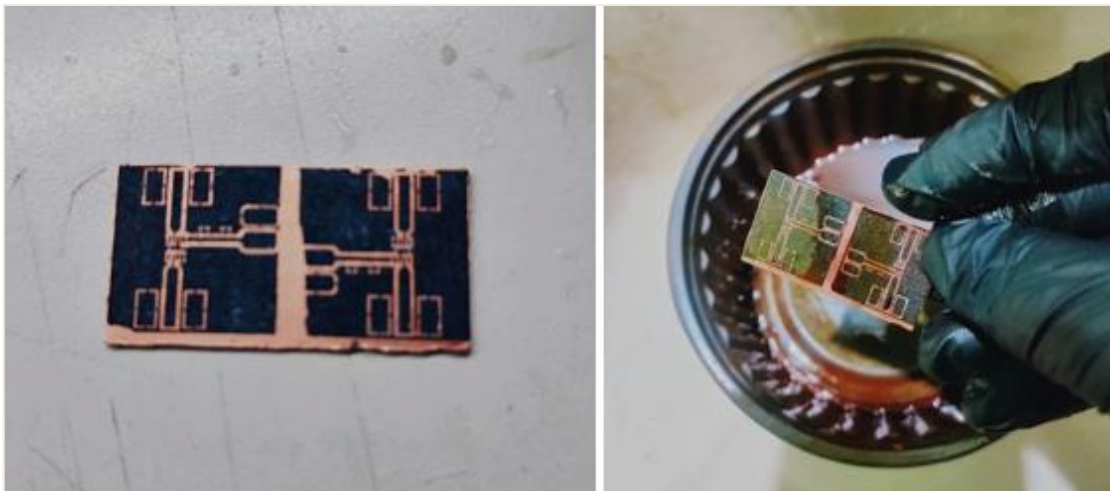


Ilustración 3-18. Antena impresa y procedimiento de remoción de excedentes.
Realizado por: Pérez F., 2023

En la Ilustración 3-19., presenta el proceso para el soldado de elementos adquiridos en la placa diseñada, también se muestra un acercamiento por lupa, en la cual se visualiza tanto el chip amplificador como los capacitores antes presentados en la sección 3.3.1.

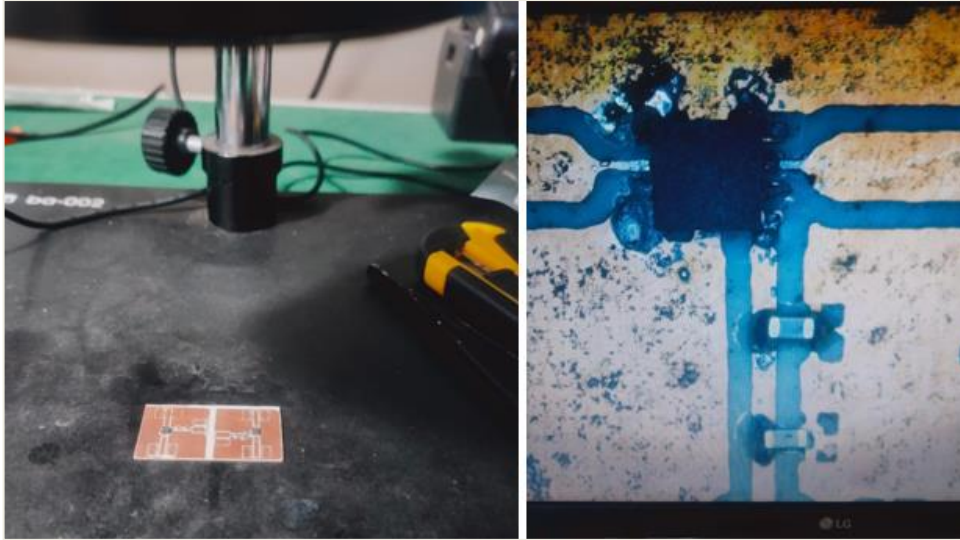


Ilustración 3-19. Proceso de soldado de los elementos mediante lupa de aumento.
Realizado por: Pérez F., 2023

A continuación, se presenta en la Ilustración 3-20., el diseño final de los dos amplificadores propuestos, los cuales ya tienen soldados los puertos RF-IN y RF-OUT implementados.

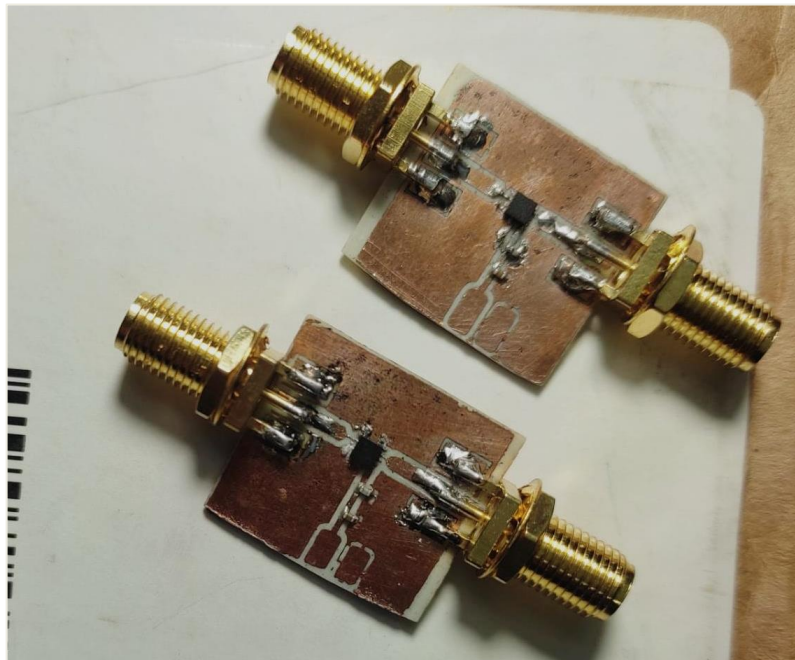


Ilustración 3-20. Diseño Final de Amplificadores.
Realizado por: Pérez F., 2023

Finalmente, en la Ilustración 3-21., muestra el amplificador totalmente ensamblado, se debe tener en cuenta que este ya tiene soldado el puerto Balun de corriente, para la alimentación del amplificador de 5V, dicha información detallada en el Anexo B.

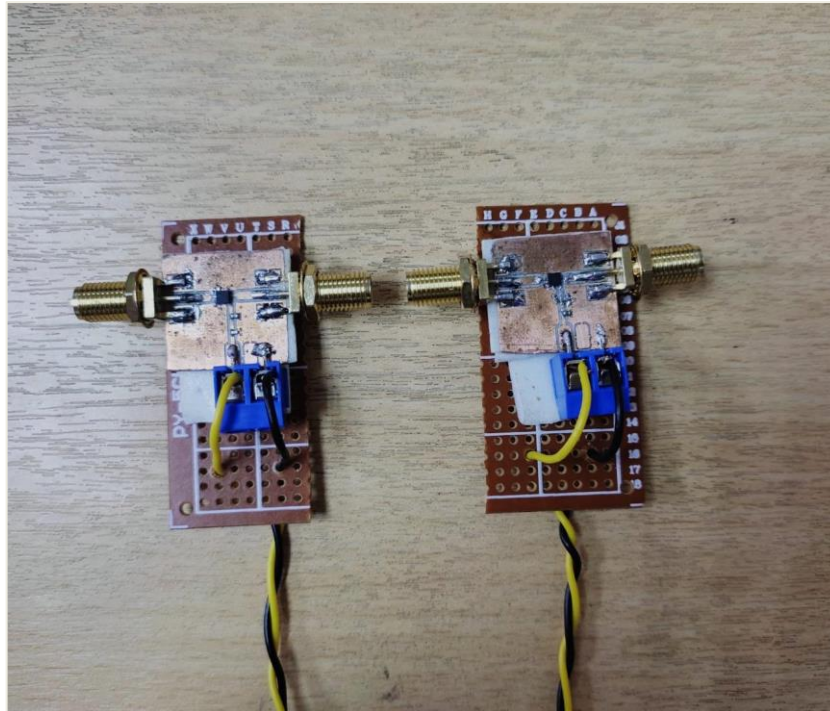


Ilustración 3-21. Diseño final Amplificadores.
Realizado por: Pérez F., 2023

3.5 Equipos a Utilizar

Los equipos a utilizar en las pruebas detallados a continuación, son equipos que se encuentran en el laboratorio de microondas del edificio principal de la Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y en dicho lugar se realizaron todas las pruebas de laboratorio.

3.5.1 *Network Analyzer Keysight E5071C*

El analizador de redes vectoriales VNA, es un equipo electrónico ideal para pruebas de componentes pasivos de gran volumen, contribuyendo a un mayor rendimiento de medición, permitiendo investigar, caracterizar y solucionar problemas con diseños en una variedad de aplicaciones de medición, teniendo entre 2 o 4 puertos con una frecuencia máxima de 20GHz, en la Ilustración 3-22., muestra el analizador de redes vectoriales VNA, además del datasheet que puede ser observado en el Anexo H (Keysight, 2023 pág. 1).



Ilustración 3-22. Network Analyzer Keysight E5071C.
Fuente: (Keysight, 2023)

3.5.2 *Generador de señales Anritsu MG3690C.*

El generador de Señales Anritsu MG3690C, es un equipo electrónico que como función inicial tiene la de generar señales de banda ancha que cubre frecuencias en las bandas denominadas HF, VHF, UHF., es decir estas en el rango de 0,1 a 70 GHz, este dispone de una salida de señal por medio de cable coaxial, teniendo una interfaz de usuario bastante intuitiva, en la Ilustración 3-23., muestra el Generador de Señales, además que a continuación se describe algunas ventajas proporcionadas por el fabricante, además de poder revisar el datasheet del equipo incluido en el Anexo G: (Anritsu Group, 2023 pág. 3).

- Amplia cobertura de frecuencia.
- Mejor ruido de fase de la industria.
- Modulación de pulso mejorada.
- Rápida velocidad de conmutación.
- Modulación analógica completa.
- Potencia de salida alta.
- Fácil configurabilidad. (Anritsu Group, 2023 pág. 3)



Ilustración 3-23. Generador de señales Anritsu MG3690C.
Fuente: (Anritsu Group, 2023)

3.5.3 *Analizador de Espectros Anritsu MS2724C.*

El analizador de Espectro Anritsu es un equipo electrónico que como función principal es la de visualizar en pantalla componentes de espectro, utilizadas en un rango de frecuencias determinado, posibilitando la medición de ondas eléctricas, ópticas y acústicas, en su interfaz está compuesta por un eje de coordenadas o potencia de señal en dB y el eje de las abscisas o frecuencia, en la Ilustración 3-24., muestra el Analizador de Espectros, además se detallan a continuación características principales proporcionadas por el fabricante, además del datasheet que puede ser observado en el Anexo F: (Anritsu Group, 2023 pág. 1).

- Rango de frecuencias de 9 KHz a 20 GHz.
- Resolución de ancho de banda de 1 Hz a 10 MHz.
- Sensibilidad de 20 dB debido a los preamplificadores de banda ancha. (Anritsu Group, 2023 pág. 2).



Ilustración 3-24. Analizador de Espectros Anritsu MS2724C.
Fuente: (Anritsu Group, 2023)

3.6 Esquemas de Escenarios para pruebas

En este apartado denominado esquemas de escenario para pruebas, se muestra las pruebas a realizar, teniendo en cuenta que las mismas serán realizadas dentro de la cámara anecoica:

- En el primer escenario se tiene la antena conectada al analizador de redes vectoriales, con un cable coaxial a 50 Ω , mostrada en la Ilustración 3-25.



Ilustración 3-25. Escenario 1 para pruebas de laboratorio.
Realizado por: Pérez F., 2023

- En el segundo escenario se tiene la antena transmisora (Tx) conectada al generador de señales, y la antena receptora (Rx) al analizador de espectros, mediante un cable coaxial a 50Ω , como se muestra en la Ilustración 3-26, además en estas pruebas se realizará las modificaciones de utilizar el amplificador implementado tanto en el transmisor como en el receptor, seguidamente solo en uno de estos, dicho escenario es mostrado en la Ilustración 3-27.

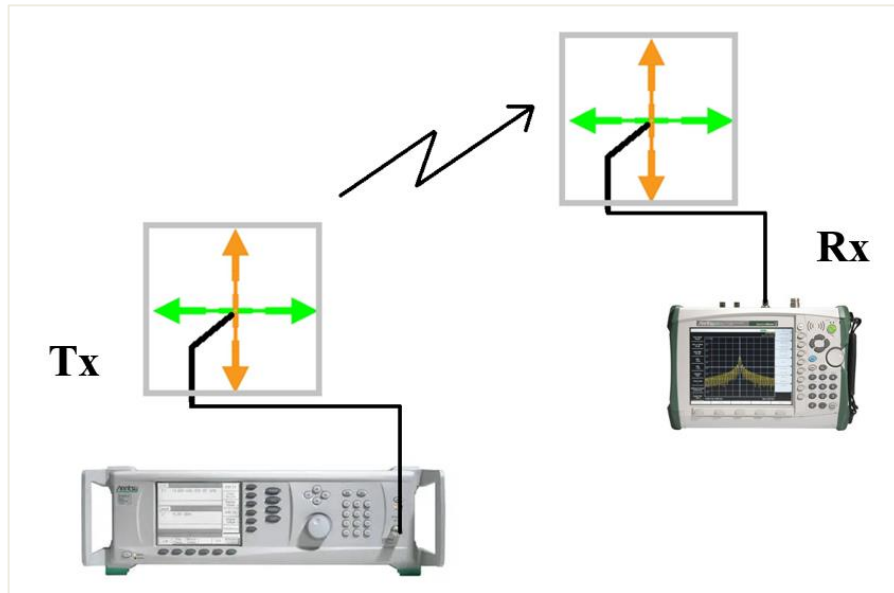


Ilustración 3-26. Escenario 2, para pruebas de laboratorio.
Realizado por: Pérez F., 2023

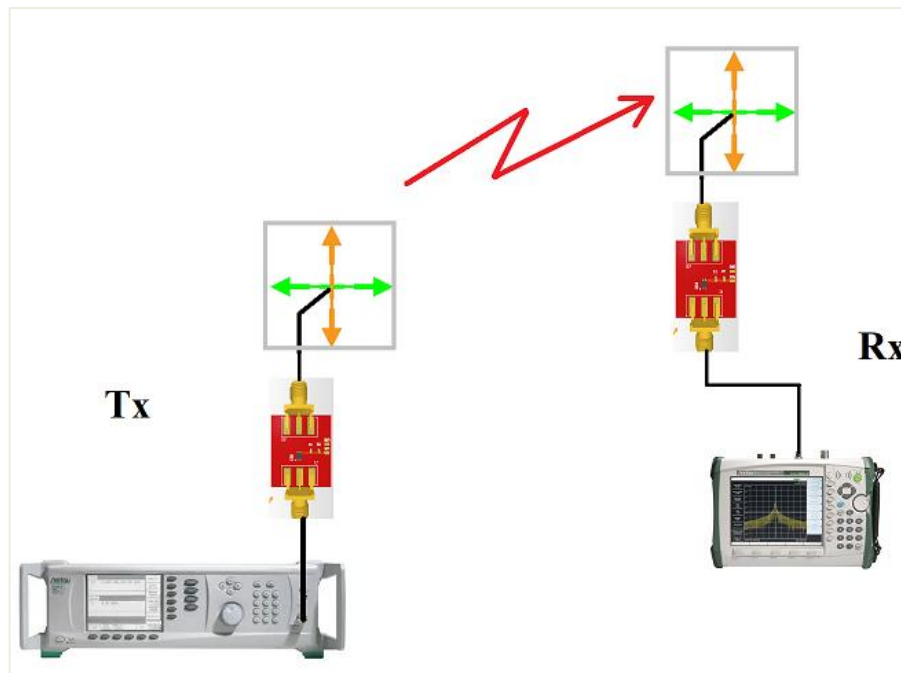


Ilustración 3-27. Escenario 2 modificación, para pruebas de laboratorio.
Realizado por: Pérez F., 2023

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El análisis de resultados permite evaluar el funcionamiento de la antena activa de banda ancha para las frecuencias de la tecnología Starlink diseñada, se consideró los resultados de la simulación realizada para comparar con los resultados de las medidas de laboratorio. Los parámetros que se evaluó en las pruebas de laboratorio fueron el nivel de potencia recibida, el patrón de radiación generado por la antena y la respuesta en frecuencia de la antena por el analizador de redes vectoriales.

4.1 Resultados Prueba 1

En este primer escenario se tiene la antena conectada al analizador de redes vectoriales, con un cable coaxial a 50Ω , para medir y caracterizar dispositivos como antenas, mostrando bajo prueba el ancho de banda efectivo del dispositivo en el rango de frecuencias en cual se comporta de manera óptima, el escenario dicho se muestra en la Ilustración 4-1., como también la de la obtención del patrón de radiación con la antena instalada dentro de la cámara anecoica mostrada en la Ilustración 4-2.

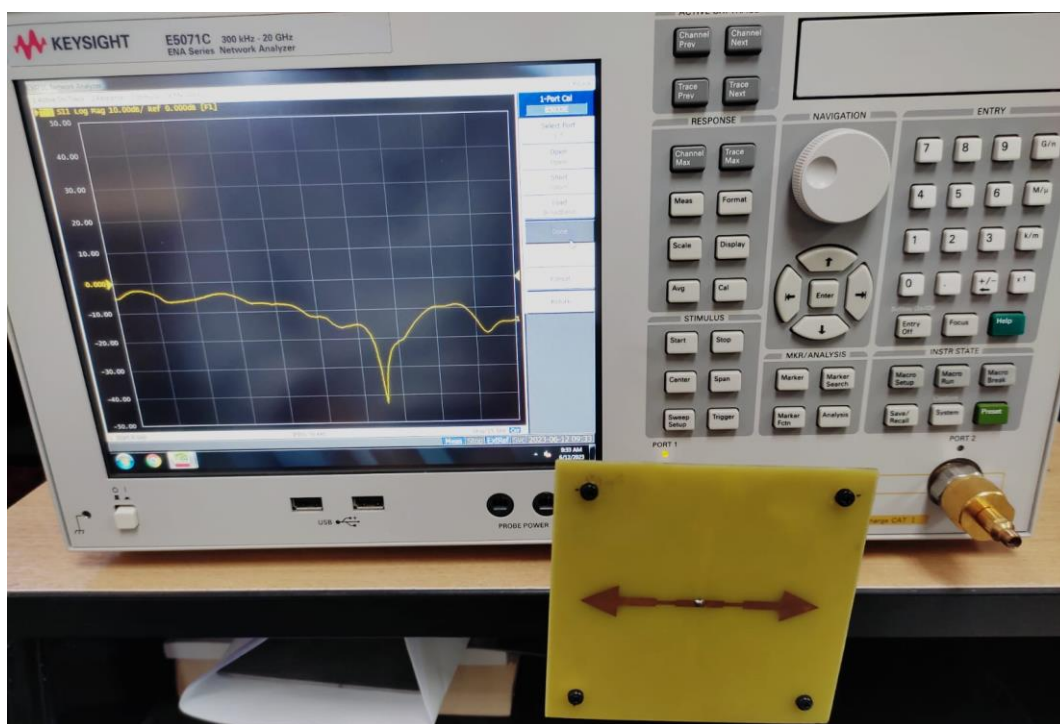


Ilustración 4-1. Escenario armado de la prueba 1.
Realizado por: Pérez F., 2023

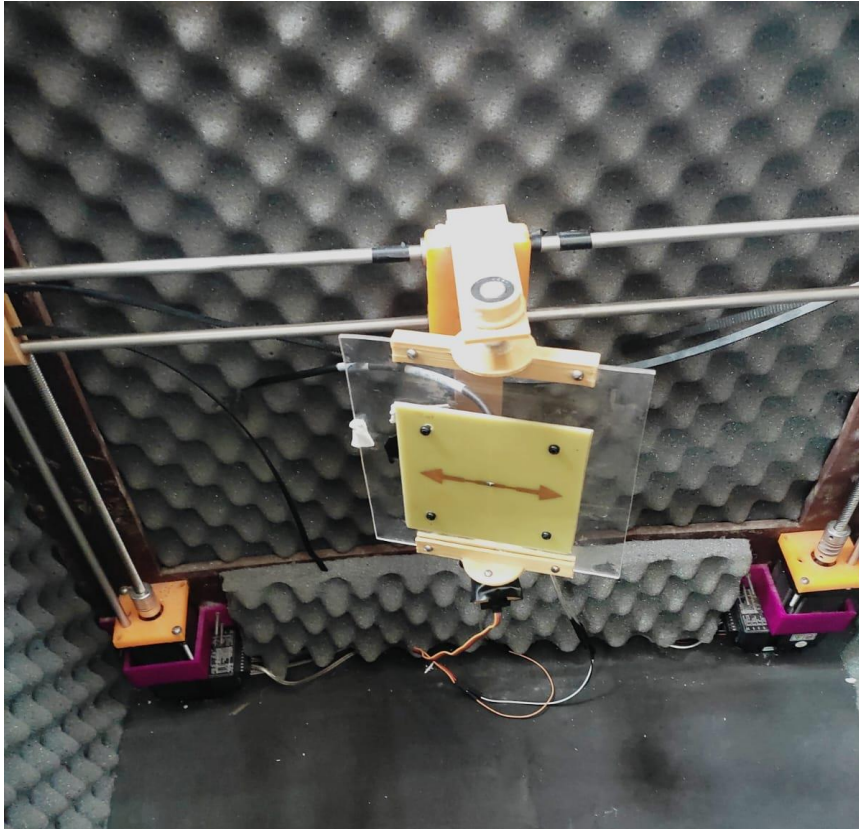


Ilustración 4-2. Antena instalada dentro de la cámara anecoica.
Realizado por: Pérez F., 2023

En la Ilustración 4-3., muestra los resultados obtenidos en el software para el diseño de antenas, el parámetro S11, como también el ancho de banda y frecuencias de operación de la antena diseñada, mientras que, en la Ilustración 4-4., muestra los resultados obtenidos con el analizador de redes vectoriales VNA, de los mismos parámetros.

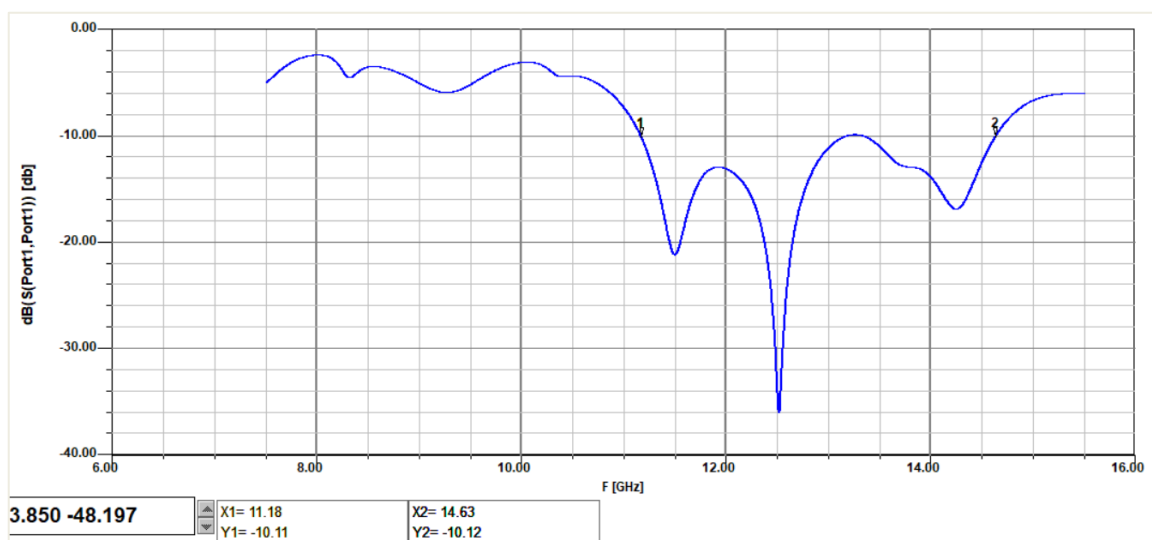


Ilustración 4-3. Resultados software parámetro S11.
Realizado por: Pérez F., 2023

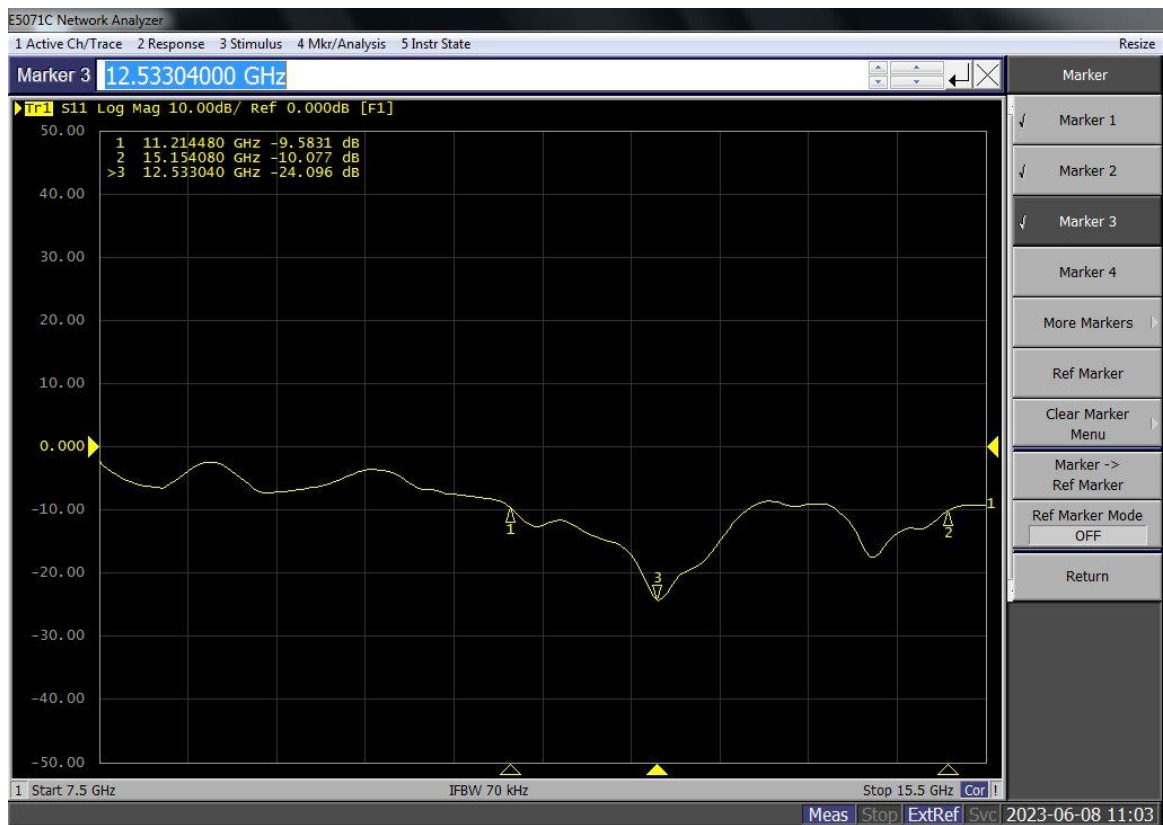


Ilustración 4-4. Resultados Analizador de Redes Vectoriales (VNA).
Realizado por: Pérez F., 2023

Al realizar la comparativa entre el diseño de la antena en el software para diseño de antenas y el generado por el analizador de redes vectoriales VNA, se tiene una gran similitud, siendo el propósito a realizar, dicha comparativa se muestra en la Ilustración 4-5., la cual en color azul muestra el resultado obtenido del software para diseño de antenas, mientras que en color rojo muestra la obtenida al conectar la antena diseñada en el analizador de redes vectoriales VNA, se debe tener en cuenta que dichos valores se encuentran en dB por frecuencia en Hz.

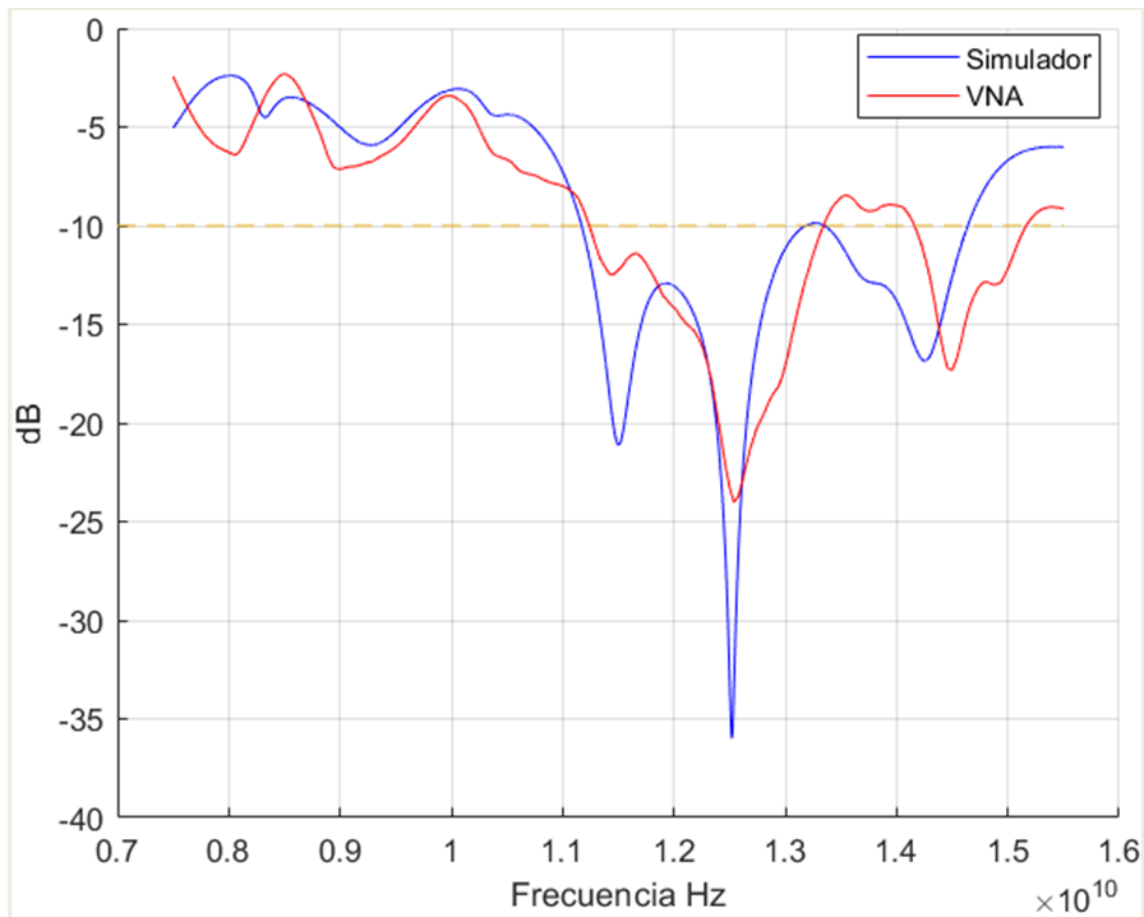


Ilustración 4-5. Resultados Simulador vs VNA.
Realizado por: Pérez F., 2023

Al realizar el respectivo análisis de la respuesta en la comparativa entre los valores simulados y los obtenidos en el analizador de redes vectoriales VNA, se tiene que en la simulación hay una respuesta en frecuencia con un ancho de banda desde los 11.17 GHz hasta los 14.64 GHz, con un valor de 3470 MHz de ancho de banda, obteniendo una buena respuesta, al momento de realizar la implementación se obtiene una respuesta en el analizador de redes vectoriales VNA, un ancho de banda desde los 11.23 GHz hasta los 15.18 GHz, con un valor de 3950 MHz de ancho de banda, teniendo un pequeño desplazamiento en las frecuencias, pero con un aumento en el ancho de banda de aproximadamente 480 MHz, se observa también que en los resultados del analizador de redes vectoriales existe una variación sobre los -10 dB, valor que se puede tomar en cuenta pues este es un valor cercano o aproximado a los -10dB, dicha información se observa en la Ilustración 4-6.

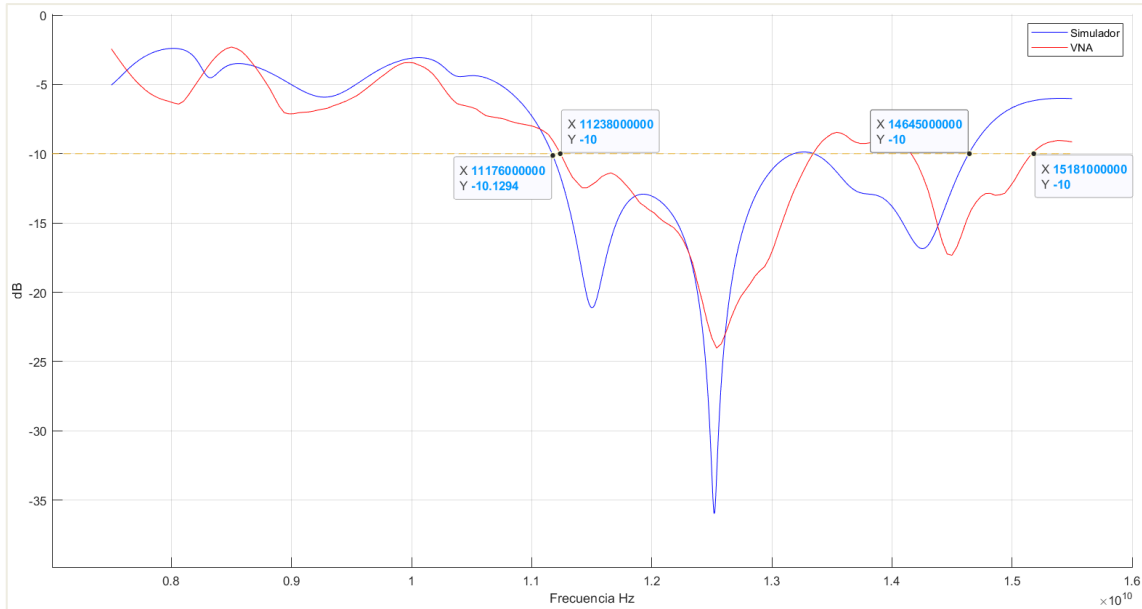


Ilustración 4-6. Resultados Simulador vs VNA ancho de banda.
Realizado por: Pérez F., 2023

A continuación, en la Ilustración 4-7(a)., muestra el patrón de radiación obtenido en el software para el diseño de antenas en la frecuencia de 11,83 GHz, en comparación con el patrón de radiación obtenidos dentro de la cámara anecoica a la misma frecuencia, esta mostrada en la Ilustración 4-7(b)., mientras que en la Ilustración 4-8(a)., se tiene el patrón de radiación obtenido en el software para diseño de antenas en la frecuencia de 14,25 GHz, en comparación con el patrón de radiación obtenido dentro de la cámara anecoica a la misma frecuencia, esta mostrada en la Ilustración 4-8(b)., se debe tener en cuenta que en esta sección se realiza el mismo análisis tanto para la frecuencia Starlink de 11,83 GHz y 14,25 GHz.

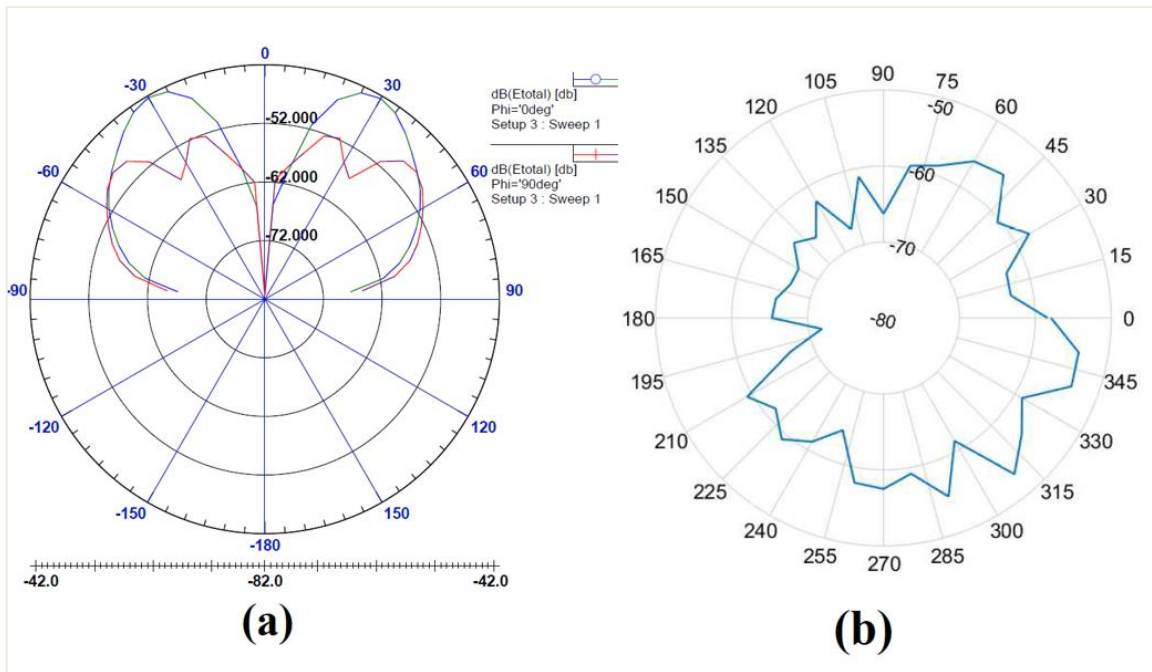


Ilustración 4-7. Patrón de Radiación, (a) software para el diseño de antenas, (b)analizador de redes vectoriales.
Realizado por: Pérez F., 2023

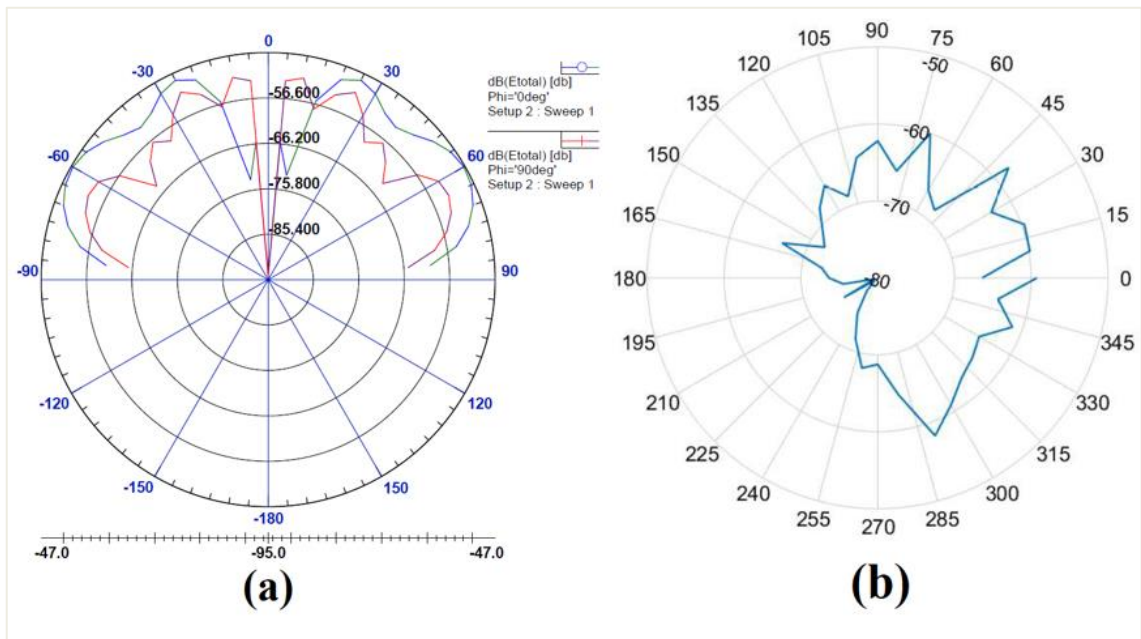


Ilustración 4-8. Patrón radiación, (a) software para el diseño de antenas, (b) analizador de redes vectoriales.
Realizado por: Pérez F., 2023

El patrón de radiación obtenido en la Ilustración 4-7 y 4-8., muestran la representación gráfica de como la antena recibe o emite energía en diferentes direcciones en el espacio, dicho patrón está influenciado por diversos factores, como el diseño de la antena, la frecuencia de operación en este caso tomando en cuenta las dos frecuencias de Starlink analizadas tanto para Downlink 11,83 GHz, como Uplink 14,25 GHz, teniendo una gran similitud en los resultados obtenidos mediante

la simulación del software para el diseño de antenas, como con la respuesta en implementación dotado por el analizador de redes vectoriales.

4.2 Resultados Prueba 2

En este segundo escenario se tiene la antena transmisora Tx conectado al generador de señales, y la antena receptora Rx al analizador de espectros, como también se realizará las modificaciones pertinentes y mencionadas anteriormente es decir, la de aplicar el amplificador implementado tanto en el transmisor como en el receptor, como también utilizar únicamente en uno de estos, todas estas variaciones serán conectadas mediante un cable coaxial a 50Ω , para analizar y visualizar el espectro de frecuencias en un rango propuesto desde los 11 GHz hasta los 15 GHz para así visualizar el comportamiento del sistema, en la Ilustración 4-9., muestra el escenario físico para la realización de dichas mediciones, pues en estas se deberá tener una distancia constante de 30 cm, y deberá estar dentro de la cámara anecoica, para lograr absorber completamente las ondas electromagnéticas eliminando cualquier reflejo, aportando con mediciones precisas.

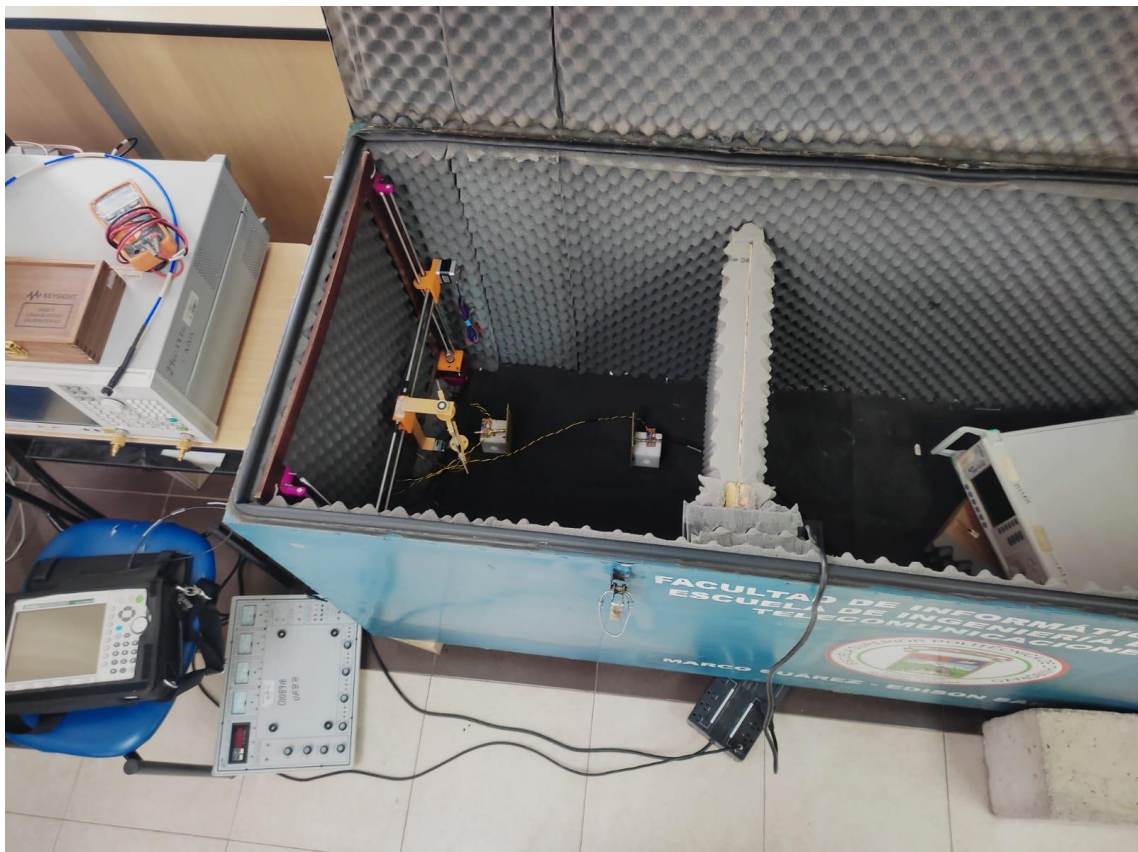


Ilustración 4-9. Escenario armado de la prueba 2.
Realizado por: Pérez F., 2023

En la Ilustración 4-10, muestra la antena con el amplificador instalado y conectado para la realización de las pruebas mencionadas dentro de la cámara anecoica.

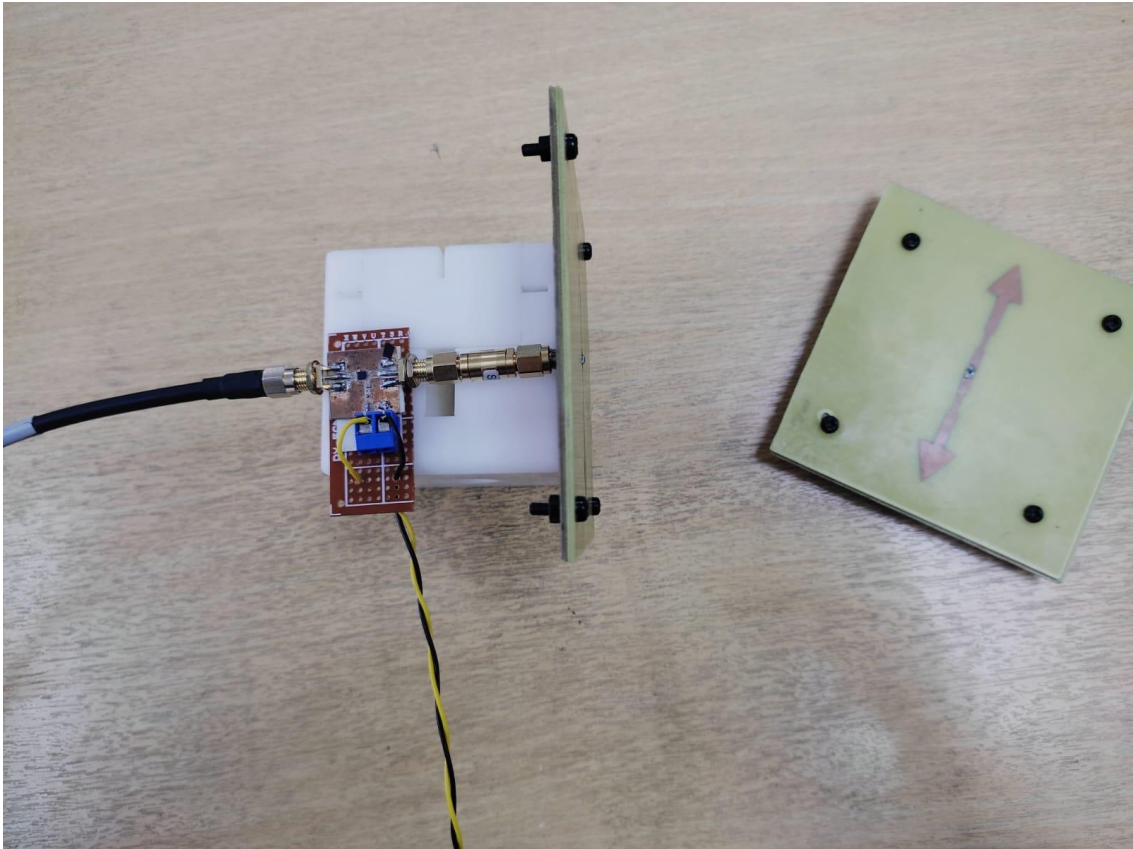


Ilustración 4-10. Antena diseñada con amplificador.
Realizado por: Pérez F., 2023

En la Ilustración 4-11., muestra gráficas con variaciones de dB por Frecuencia en GHz, las cuales son las pruebas mencionadas anteriormente, al realizar dichas pruebas las cuales son, mediciones únicamente del sistema radiante sin amplificación alguna, la prueba al utilizar amplificadores tanto en el Transmisor Tx como en el Receptor Rx, como también al utilizar únicamente en uno de estos, se obtienen los siguientes resultados mostrados en dicha Ilustración.

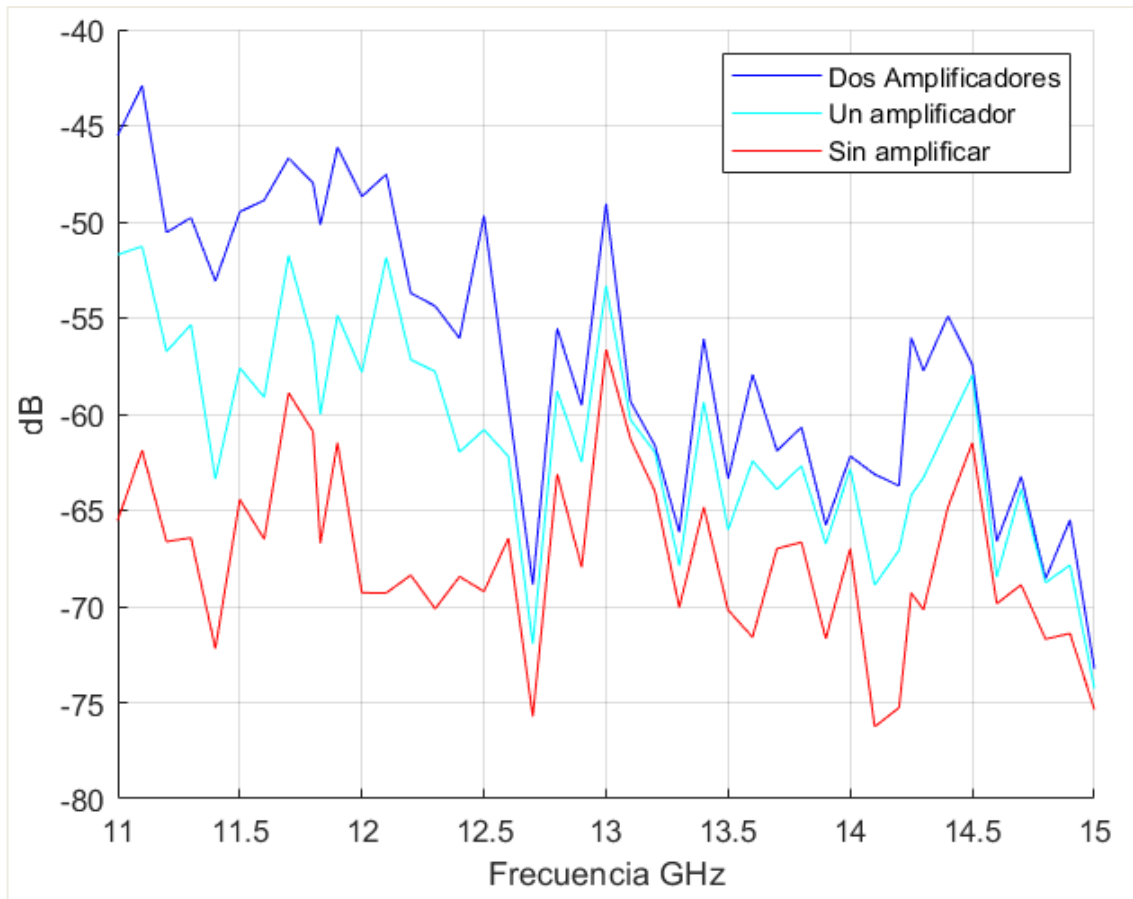


Ilustración 4-11. Resultados Sin amplificar vs Un amplificador vs Dos amplificadores.
Realizado por: Pérez F., 2023

En la Ilustración 4-11., muestra los resultados de las mediciones dentro de la cámara anecoica, en la cual muestra graficas con 3 variaciones, en color rojo muestra el sistema sin presencia de un amplificador, mientras que la celeste muestra el resultado con un amplificador, y finalmente en color azul muestra el resultado al utilizar amplificadores tanto en el Transmisor como en el Receptor, al analizar dichos resultados se tiene que al existir presencia de un circuito amplificador se obtiene una mejora en los resultados del sistema, pues se observa un gran cambio en el comportamiento del sistema, pero también existe una mejora más considerable al utilizar dos amplificadores pues el cambio en la potencia de la antena aumenta.

Al realizar el respectivo análisis para las frecuencias de interés siendo las de la tecnología Starlink de 11,83 GHz en Downlink y 14,25 GHz en Uplink, se tiene que en la Ilustración 4-12., muestra las amplificaciones obtenidas en la frecuencia de interés en este caso siendo la de 11,83 GHz, mientras que en la Ilustración 4-13., muestra las diferentes amplificaciones obtenidas en la otra frecuencia de interés en este caso siendo la de 14,25 GHz, en estas mostrando las variaciones logradas al utilizar o no un circuito amplificador.

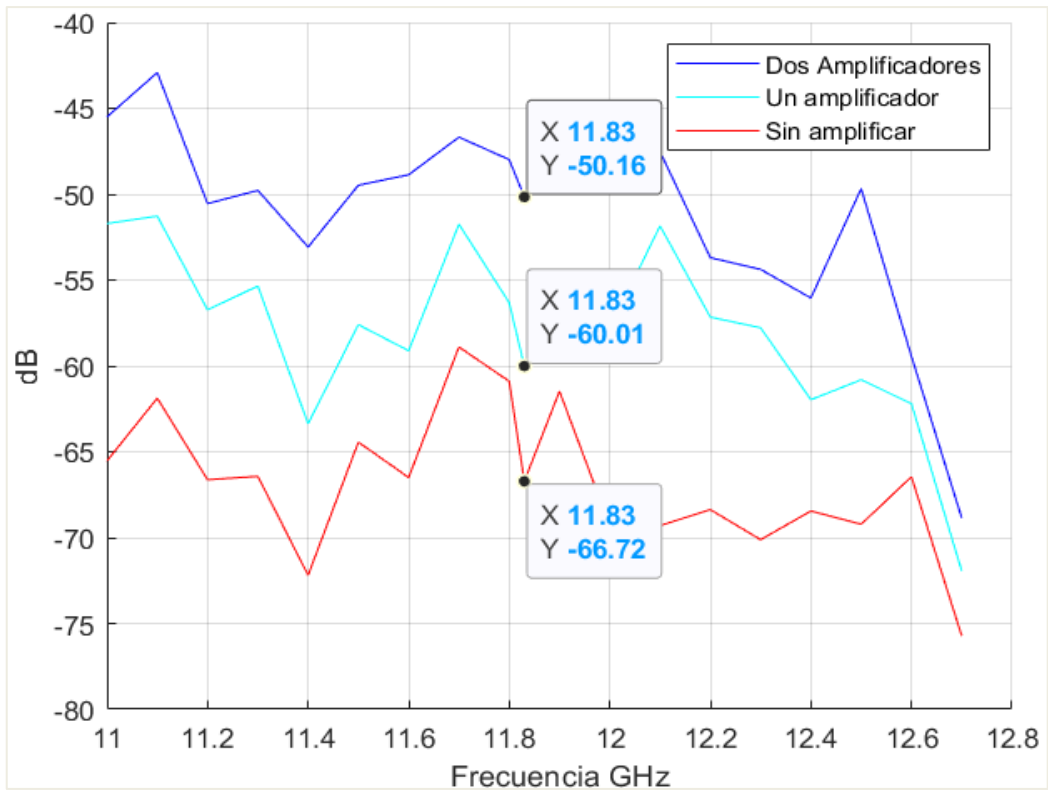


Ilustración 4-12. Resultados Sin amplificar vs Un amplificador vs Dos amplificadores para 11,83GHz.
 Realizado por: Pérez F., 2023

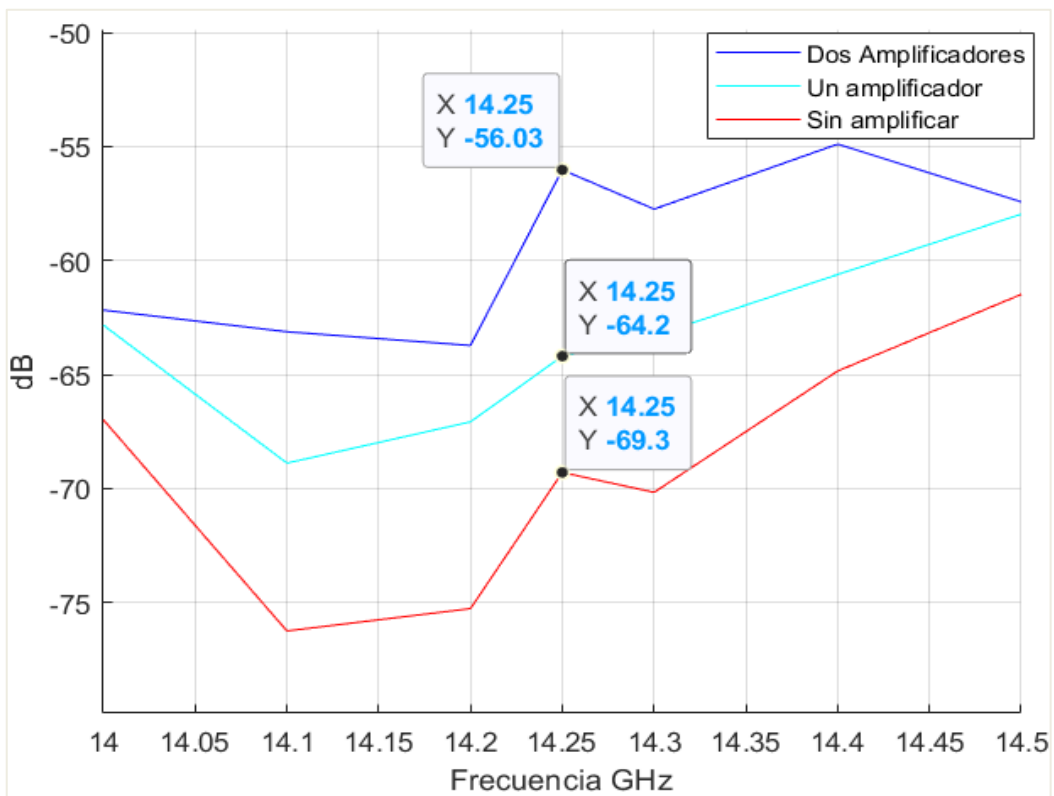


Ilustración 4-13. Resultados Sin amplificar vs Un amplificador vs Dos amplificadores para 14,25GHz.
 Realizado por: Pérez F., 2023

Finalmente, en la Ilustración 4-14., muestra la media de los valores promedio de amplificación, en color celeste muestra el valor medio al utilizar un amplificador, mientras que en color azul muestra el valor medio al utilizar dos amplificadores esto tanto en el Transmisor Tx, como en el Receptor Rx, todos estos valores analizados mediante gráficas, de todas y cada una de las pruebas se encuentran detalladas en el Anexo E.

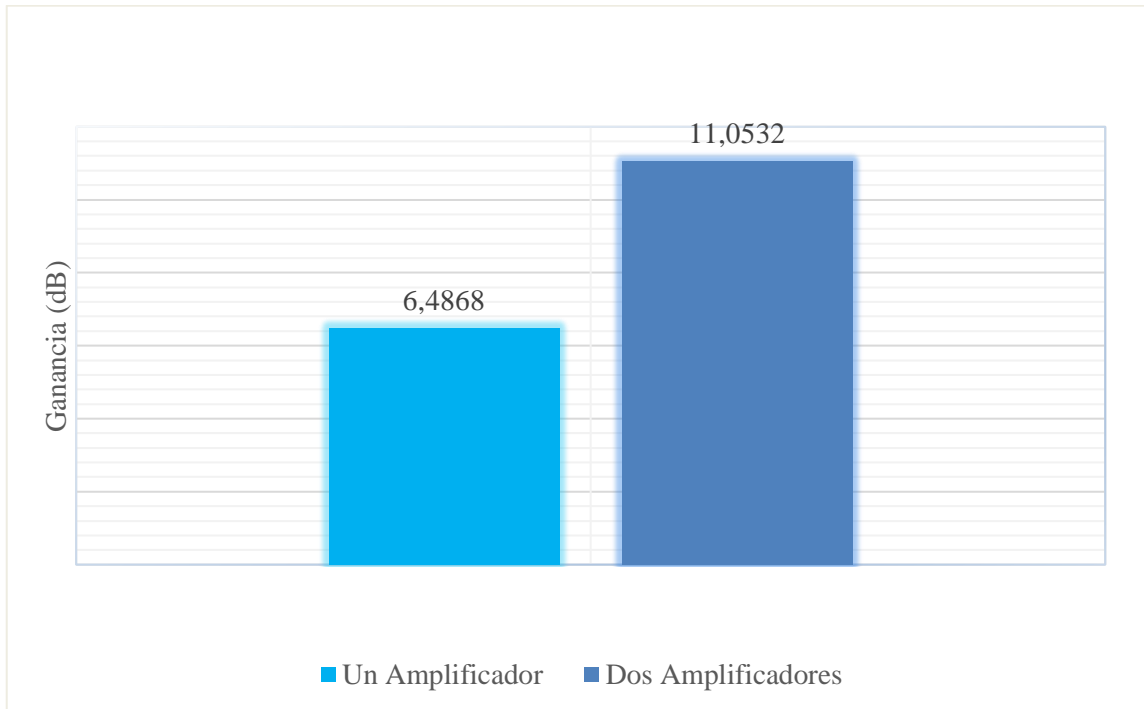


Ilustración 4-14. Valores promedio de amplificación.
Realizado por: Pérez F., 2023

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez concluido el presente trabajo de integración curricular, se llegó a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1 CONCLUSIONES

- Durante el desarrollo se realizó la comparación de la utilización de internet satelital por Starlink y otras empresas proveedoras de este servicio en la actualidad con otras tecnologías de enlace inalámbrico, denotando que Starlink tiene sus ventajas sobre estas tecnologías, pues como principal ventaja se tiene el fácil acceso a lugares que otras tecnologías como 4G no pueden llegar, y teniendo una latencia similar a esta, y con una mejora considerable en latencia al utilizar la órbita de altitud baja (LEO) en comparativa con otros proveedores de internet satelital que utilizan la órbita Geoestacionaria (GEO) pues su latencia va en los 20 milisegundos y 600 milisegundos respectivamente.
- Con el manejo del software para diseño de antenas, se facilitó el diseño de la antena activa de banda ancha requerida, como la implementación de la misma, logrando tener una similitud considerable o semejante en las pruebas realizadas en el analizador de redes vectoriales Network Analyzer Keysight E5071C, con las obtenidas del simulador en el diseño final, dando a conocer los valores de frecuencias principales que funciona dicha antena diseñada e implementada en referencia a lo detallado por las frecuencia de utilización de la tecnología Starlink.
- Mediante el desarrollo de la simulación se logró optimizar el ancho de banda logrando el objetivo de utilizar dos pares de frecuencias de la tecnología Starlink como son 11.83 GHz en Downlink y de 14.25 GHz en Uplink, al realizar las pruebas en el laboratorio de microondas de la Facultad de Informática y Electrónica de únicamente la antena implementada dentro de la cámara anecoica conectada mediante un cable coaxial a 50 Ω al analizador de redes vectoriales, se obtuvo los patrones de radiación en la frecuencias mencionadas, teniendo una comparativa con las suministradas por el software para el diseño de antenas, teniendo una similitud considerable en los patrones de radiación obtenidos, logrando concluir que la antena diseñada e implementada trabajaría como una antena directiva.

- En la simulación la antena diseñada tiene un ancho de banda de 3470 MHz, esto analizando desde los 11,17 GHz hasta los 14,64 GHz mientras que en la implementación se tiene un ancho de banda de 3950 MHz con un desplazamiento de frecuencias desde los 11.23 GHz hasta los 15,18 GHz, logrando una mejora en el ancho de banda de aproximadamente 480 MHz, logrando concluir que la antena de banda ancha propuesta funciona a las frecuencias interesadas.
- Con la utilización de un circuito amplificador se logra obtener buenos resultados y mejoras en las ganancias de la antena, pues al realizar las pruebas en el laboratorio de microondas de la Facultad de Informática y Electrónica, con el Generador de Señales Anritsu MG3690C y Analizador de Espectros Anritsu MS2724C, y la realización de pruebas desde los 11 GHz hasta los 15 GHz, a una distancia de 30 cm dentro de la cámara anecoica, con pruebas de; un solo circuito amplificador y dos circuitos amplificadores, se obtuvieron mejoras significativas, pues con un amplificador en la frecuencia de 11,83 GHz se tiene una mejora que va desde los -66,72 dB hasta los -60,01 dB y con dos amplificadores una mejor respuesta que va hasta los -50,16 dB, de la misma forma se obtuvieron mejoras significativas, con un amplificador en la frecuencia de 14,25 GHz se tiene una mejora que va desde los -69,3 dB hasta los -64,2 dB y con dos amplificadores una mejor respuesta que va hasta los -56,03 dB.
- Al utilizar circuitos amplificados se logran mejoras significativas en las ganancias de las antenas, pues al mezclar se señal RF-IN y RF-OUT con 5V, se logran resultados considerables, al analizar los valores medios de amplificación de las pruebas realizadas en el rango de frecuencias desde los 11 GHz hasta los 15 GHz los cuales son con un amplificador obteniendo una respuesta de 6,4868 y con dos amplificadores un valor de 11,0532 de amplificación, en comparativa con los valores de amplificación detallados en el datasheet del Anexo B, se tiene valores aproximados o semejantes.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar cada una de las pruebas de laboratorio, dentro de una cámara anecoica, pues esta es especializada en pruebas para caracterizar y medir el rendimiento de antenas o dispositivos electromagnéticos, logrando absorber o reducir significativamente las reflexiones de las ondas electromagnéticas, logrando con esto tener mediciones precisas y exactas.
- La distancia entre el transmisor y receptor juega un papel importante en los resultados presentados en este trabajo de integración curricular, por lo que se recomienda realizar más pruebas a diferentes distancias para determinar el comportamiento de las antenas y los amplificadores presentados.
- Se recomienda que antes de utilizar cada uno de los equipos como es; el analizador de redes vectoriales Network Analyzer Keysight E5071C, Generador de Señales Anritsu MG3690C y Analizador de Espectros Anritsu MS2724C, deben estar debida y correctamente calibrados, antes de realizar las pruebas y mediciones, de esta manera se evitará realizar toma de datos incorrecta y pérdida de tiempo al realizar las mediciones en cada uno de los escenarios, de la misma forma tener los amplificadores correctamente polarizados y alimentados al voltaje solicitado para su correcto funcionamiento.
- Se recomienda que para futuros estudios de diseño e implementación de antenas en frecuencias de tecnología Starlink, desarrollar el mismo diseño, pero utilizando un material con mejores características y que funcione a altas frecuencias de manera correcta, para así visualizar la mejora en cada una de las respuestas frente a lo presentado en este trabajo de integración curricular.

BIBLIOGRAFÍA

ANRITSU GROUP. 2023. Anritsu Advancing beyond. [En línea] 2023. [Citado el: 07 de junio de 2023.] <https://www.anritsu.com/en-US>.

ANSYS. 2023. Simulador de campo electromagnético 3D para RF y diseño inalámbrico. *Ansys HFSS*. [En línea] 2023. [Citado el: 06 de junio de 2023.] <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss>.

ARÉVALO , Dulce. 2022. Consumotic. *Perfila HughesNet cobertura total nacional en 2023*. [En línea] 09 de noviembre de 2022. [Citado el: 16 de mayo de 2023.] <https://consumotic.mx/telecom/perfila-hughesnet-cobertura-total-nacional-en-2023/>.

BALANIS, Constantine A. 2005. *Antenna Theory Analysis and Design*. Canada : s.n., 2005. págs. 25-65. 9786468600.

BALANIS, Constantine A. 2016. Analysis and Design. *Antenna Theory*:. 2016, págs. 25-65.

BASTARRICA, Diego. 2022. Digital Trends Español. [En línea] 13 de mayo de 2022. [Citado el: 16 de abril de 2023.] <https://es.digitaltrends.com/computadoras/starlink-32-paises-disponibles/>.

BLOOM, Peter; et al. 2020. Una mirada crítica sobre las tecnologías de red en tiempos de pandemia. *ECUADOR DEBATE 110*. Quito - Ecuador : s.n., agosto de 2020. 978-9942-963-54-3 / 2528-7761.

BRANDS OF THE WORLD. 2013. Ansoft, LLC | Brands of the World™ | Download vector logos and logotypes. *Brands of the World™ | Download vector logos and logotypes*. [En línea] 01 de marzo de 2013. [Citado el: 06 de junio de 2023.] <https://www.brandsoftheworld.com/logo/ansoft-llc>.

BUENAÑO, Diego. 2022. Starlink en Ecuador ¿Qué esperar del internet satelital de Elon Musk? *Forbes Ecuador*. 07 de noviembre de 2022.

CALDERÓN RAMOS, Fernanda E. 2009. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA. 2009.

CÁRDENAS REYES, Fernanda; et al. 2022. EL IMPACTO DEL INTERNET GLOBAL "STARLINK". Manabí : UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria. ISSN 2602-8166, 1 de enero de 2022. Vol. 6, 1. 2602-8166.

DAS, Avishek; et al. 2018. Concentric circular antenna array synthesis for side lobe suppression using moth flame optimization. marzo de 2018. Vol. 86. 1434-8411.

DASSAULT SYSTEMES. 2022. Software de simulación y análisis de EM 3D CST Studio Suite. *We are the 3DEXPERIENCE company | Dassault Systèmes*. [En línea] 2022. [Citado el: 06 de junio de 2023.] <https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/simulia/productos/cst-studio-suite/>.

ELECTRÓNICA LUGO. 2022. ¿Qué es un Amplificador de Potencia? Tipos, Clases y Aplicaciones. *Electronica Lugo*. [En línea] 2022. [Citado el: 06 de junio de 2023.] <https://electronicalugo.com/amplificador-de-potencia/>.

FIGUERUELO HERNÁN, Álvaro. 2021. *Starlink: La nueva red Satelital mundial de comunicaciones*. Ingeniería informática, Universidad de Salamanca. Salamanca : s.n., 2021. Trabajo de fin de grado.

FRACKIEWICZ, Marcin. 2023. TS2 SPACE. *Internet Satelital en Ecuador: Precios, Proveedores, Servicios*. [En línea] 02 de marzo de 2023. [Citado el: 16 de mayo de 2023.] <https://ts2.space/es/internet-satelital-en-ecuador-precios-proveedores-servicios/#:~:text=Ecuador%20tiene%20varios%20proveedores%20de,incluidos%20Starlink%2C%20HughesNet%20y%20Viasat..>

GOENGINEER. 2023. CST Studio Suite. *GoEngineer*. [En línea] 2023. [Citado el: 06 de junio de 2023.] <https://www.goengineer.com/cst-studio-suite>.

GONZÁLES ISLAS, Juan C. 2006. *Comunicación vía Internet sobre la Plataforma satelital*. Pachuca de Soto, Hidalgo : s.n., 2006.

GONZÁLES, Alejandro. 2022. DPL News. *Nuevo satélite de Hughes cubrirá toda América en 2023 | DPL News*. [En línea] 06 de junio de 2022. [Citado el: 16 de mayo de 2023.] <https://dplnews.com/nuevo-satelite-de-hughes-cubrira-toda-america-en-2023/>.

HU, Y; et al. 2001. Satellite-bases internet: A tutorial. Hong Kong : s.n., marzo de 2001. Vol. 39. 01636804.

ICY SCIENCE. 2023. ¿Qué son las comunicaciones por satélite? - definición de techopedia - Redes 2023. [En línea] 2023. [Citado el: 18 de abril de 2023.] <https://es.theastrologypage.com/satellite-communications>.

KEYSIGHT. 2023. E5071C ENA Vector Network Analyzer. [En línea] 2023. [Citado el: 07 de junio de 2023.] <https://www.keysight.com/us/en/product/E5071C/e5071c-ena-vector-network-analyzer.html>.

LLORENTE, Alvaro. 2017. Antenas de seguimiento para diferentes bandas. *comunicacionesinalambricashoy periódico técnico desde 2012*. [En línea] 06 de marzo de 2017. [Citado el: 31 de mayo de 2023.] <https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/antenas-seguimiento-diferentes-bandas/>.

MARCIN, Frackiewicz. 2023. El camino por delante: Starlink y el futuro de la conectividad en la tierra del chocolate y los relojes. *TS2 SPACE*. [En línea] 17 de abril de 2023. [Citado el: 27 de mayo de 2023.] <https://ts2.space/es/el-camino-por-delante-starlink-y-el-futuro-de-la-conectividad-en-la-tierra-del-chocolate-y-los-relojes/>.

MARI, Eduardo A. 2011. *Los Materiales Cerámicos*. Primera. Buenos Aires : ALSINA, 2011. 978-950-553-081-6.

MESSINK, Bison. 2022. HighSpeedInternet.com. *Proveedores de Internet Satelital cerca de tí | HighSpeedInternet.com*. [En línea] 22 de junio de 2022. [Citado el: 16 de mayo de 2023.] <https://www.highspeedinternet.com/es/recursos/internet-satelital#:~:text=Los%20dos%20principales%20proveedores%20de,al%20mercado%20de%20Internet%20satelital..>

MINI-CIRCUITS. 2017. SMT Low Noise Amplifier, 4000 - 18000 MHz, 50Ω | PMA2-183LN+ | Mini-Circuits. *Mini Circuits - Global Leader of RF and Microwave Components*. [En línea] 2017. [Citado el: 10 de julio de 2023.] <https://www.minicircuits.com/WebStore/dashboard.html?model=PMA2-183LN%2B>.

MINISTERIO DE DEFENSA GOBIERNO DE ESPAÑA. 2021. Los retos del espacio exterior: ciencia, industria, seguridad y aspectos legales. Madrid España : Paseo de la Castellana 109, 17 de noviembre de 2021. 978-84-9091-572-1.

MISTARLINK. 2023. Estos son los países de América Latina en los que ya está disponible Starlink - MiStarlink. *MiStarlink*. [En línea] MiStarlink, 20 de abril de 2023. [Citado el: 29 de mayo de 2023.] <https://mistarlink.com/estos-son-los-paises-de-america-latina-en-los-que-ya-esta-disponible-starlink/>.

MOUSER ELECTRONICS. 2023. Mouser Electronics. [En línea] 2023. [Citado el: 10 de julio de 2023.] <https://www.mouser.ec/ProductDetail/Murata-Electronics/GRM1555C1H101JA01J?qs=ouTquLLW2S6yVykMCWoRg%3D%3D>.

NATIONAL GEOGRAPHIC. 2022. Satélites Starlink: qué son y cómo funcionan. España : s.n., 05 de octubre de 2022.

NAVARRO HURTADO, Paúl W. 2021. Análisis de factibilidad en el uso de la red satelital Starlink como medio para el acceso al internet y transmisión de datos. Guayaquil : s.n., 30 de septiembre de 2021. 0967335019.

NUÑES, Álvaro M. 2021. DISEÑO DE AGRUPACIONES DE ANTENA EN BANDA KU PARA APLICACIONES DE COMUNICACIONES CON CONSTELACIONES DE SATÉLITES EN ÓRBITA BAJA. *Universitat Politècnica de Valencia*. [En línea] 02 de julio de 2021. [Citado el: 16 de abril de 2023.] <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/170101/Martin%20-%20Diseno%20de%20agrupaciones%20de%20antena%20en%20banda%20Ku%20para%20aplicaciones%20de%20comunicaciones%20con%20con....pdf?sequence=1>.

OREJUELA HUILCAPI, Jorge G. 2017. *Análisis y meficiones del equipo de microonda MW-2000 para su implementación en un radioenlace punto-punto empleado una modulación FSK a 2.4 GHz*. Universidad e las Fuerzas Armadas. 2017. Tesis .

ORELLANA, Rodrigo. 2020. Con estas antenas Elon Musk proveerá internet satelital | Digital Trends Español. *Digital Trends Español*. [En línea] 16 de julio de 2020. [Citado el: 02 de junio de 2023.] <https://es.digitaltrends.com/espacio/caracteristicas-antenas-satelitales-starlink/>.

PÉREZ PORTO, J; et al. 2008. Comunicación - Qué es, definición, cómo se desarrolla e importancia. [En línea] 20 de marzo de 2008. [Citado el: 18 de abril de 2023.] <https://definicion.de/comunicacion/>.

PÉREZ QUINTANA, Jonás. 2009. *DISEÑO DE UN AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO (LNA) PARA UN RECEPTOR BASADO EN EL ESTÁNDAR DVB-H.* 2009.

POZAR, David M. 2012. *MICROWAVE ENGINEERING.* [ed.] Charlotte Cerf. Amherst : University of Massachusetts at Amherst, 2012. págs. 256-261. Vol. IV. 978-0-470-63155-3.

PRIMICIAS. 2019. Ecuador tendrá Internet de Starlink a más tardar en 2027. *Primicias.* 28 de mayo de 2019.

QUINAPAXI CABRERA, Evelyn M. 2022. *CARACTERIZACIÓN DIELECTRICA Y DE CONDUCTIVIDAD DE UN SUBSTRATO FR4 UTILIZANDO RESONADORES CIRCULARES EN TECNOLOGÍA MICROSTRIP PARA LA BANDA L.* Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional. Quito : Repositorio Digital - EPN, 2022. Tesis de Grado.

RENÉ FERNÁNDEZ, Rangel R; et al. 2022. Diseño de sistemas de radiación tipo Isoflux para aplicaciones satelitales. [ed.] CICESE. México : s.n., 2022.

RENÉE, Christian. 2022. Starlink vs. LTE: How Do They Compare? *History-Computer.* [En línea] 21 de diciembre de 2022. [Citado el: 29 de mayo de 2023.] <https://history-computer.com/starlink-vs-lte-how-do-they-compare/>.

RETA GUTIERREZ, Isaí; et al. 2021. Vista de EVOLUCIÓN DEL COSTO-BENEFICIO DEL INTERNET SATELITAL PARA ÁREAS RURALES. *EVOLUCIÓN DEL COSTO-BENEFICIO DEL INTERNET SATELITAL PARA ÁREAS RURALES.* Mexico : s.n., 2021.

ROMERO, Valeria. 2022. Starlink ya está disponible en 32 países del mundo | DPL News. *DPL News.* [En línea] DPL News, 18 de mayo de 2022. [Citado el: 29 de mayo de 2023.] <https://dplnews.com/starlink-ya-esta-disponible-en-32-paises-del-mundo/#:~:text=M%C3%A9xico%20Brasil%20y%20Chile%20son,de%20Internet%20satelital%20de%20SpaceX.&text=El%20servicio%20de%20Internet%20satelital,est%C3%A1%20disponible%20en%202032%20pa%C3%ADse.>

ROSADO, Carlos; et al. 1998. Comunicación por satélite © AHCIET2000. 1998. 84-87-644-42-2.

SERGIEIEVA, Kateryna. 2023. EOS Data Analytics. *Constelación de Satélites: Tipos Y Parámetros Principales*. [En línea] 19 de enero de 2023. [Citado el: 16 de mayo de 2023.] <https://eos.com/es/blog/constelaciones-de-satelites/>.

SPACEX. 2023. Starlink. *Starlink*. [En línea] 2023. [Citado el: 29 de mayo de 2023.] <https://www.starlink.com/map>.

TECHNOLOGIES, Keysight. 2018. ENA-New Standards in Speed, Accuracy and Versatility Product discontinuance notice. 26 de agosto de 2018.

UNITED STATES OF AMERICA FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION RADIO STATION AUTHORIZATION. 2020. FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION RADI. 2020.

VIASAT. 2020. Viasat.com. *internet satelite conectar a todos*. [En línea] 01 de julio de 2020. [Citado el: 16 de mayo de 2023.] <https://www.viasat.com/es-es/sobre-nosotros/prensa/blog/internet-satelite-conectar-a-todos/>.

WIBO. 2019. Beneficios que las comunicaciones vía satélite aportan al IoT | Wibo. [En línea] 18 de noviembre de 2019. [Citado el: 18 de abril de 2023.] <https://wibo.mx/beneficios-que-las-comunicaciones-via-satelite-aportan-al-iot/>.

ANEXOS

ANEXO A: DATASHEET FR-4



**TECHNICAL DATA SHEET
FR-4**

FR-4 glass epoxy is a popular and versatile high-pressure thermoset plastic laminate with good strength to weight ratio. With near zero water absorption, FR-4 is most commonly used as an electrical insulator possessing considerable mechanical strength. "FR" is an abbreviation for Flame Retardant, and Type "4" indicates woven glass reinforced epoxy resin. The material is known to retain its high mechanical values and electrical insulating qualities in both dry and humid conditions. These attributes, along with good fabrication characteristics offer many options for a wide variety of electrical and mechanical applications.

Benefits

- Electrically insulative
- Can be fabricated
- Good strength to weight ratio
- Near zero water absorption

Applications

- Printed circuit boards (PCB)
- Electrical insulation
- Relays
- Switches
- Standoffs
- Busbars

SHAPES AVAILABLE



FR-4 Glass Epoxy Technical Product Information

Property	Units	Value	Condition
Tg, min. (DSC)	°C	135	
CTE x-axis	ppm/°C	14	Ambient to Tg
CTE y-axis	ppm/°C	13	Ambient to Tg
CTE z-axis	ppm/°C	175	Ambient to 288 °C
Solder Float, 288 °C	seconds	>120	Condition A

Electrical Properties

Property	Units	Value	Condition
Permittivity (DK) max.		4.7	C-24/23/50
@ 500 Mhz.		4.35	
@ 1 GHz (HP4291)		4.34	
Loss Tangent (DF), max. @			
1 MHz (2 Fluid Cell)		0.020	
500 Mhz.		0.017	
1 GHz (2 Fluid Cell)		0.016	
Surface Resistivity, min.	megohms	2 X 10 ⁻⁵	Condition F
		1 X 10 ⁻⁸	E-24/125
Volume Resistivity, min.	min.	8 X 10 ⁻⁷	Condition F
	megohms-cm	2 X 10 ⁻⁷	E-24/125
Dielectric Breakdown, min	kV	55	D-48/50
Arc Resistance, min.	seconds	100	

Physical Properties

Property	Units	Value	Condition
Peel Strength, 1 oz.	lb./in.	9.0	Condition A
		9.0	After Thermal Stress
		9.0	E-1/125
Flexural Strength - LW	psi	80000	Condition A
Flexural Strength - CW	psi	60000	Condition A
Warp & Twist	%	0.5	Condition
Flammability		V-0	UL-94
Moisture Absorption	%	< 0.25	D-24/23
Tensile Strength - LW	psi	50000	Condition A
Tensile Strength - CW	psi	40000	Condition A
Tensile Modulus (Young's) - LW	psi	3.5 X 10 ⁶	Condition A
Tensile Modulus (Young's) - CW	psi	3.0 X 10 ⁶	Condition A
Flexural Modulus (Taylor's) - LW	psi	2.7 X 10 ⁶	Condition A
Flexural Modulus (Taylor's) - CW	psi	2.4 X 10 ⁶	Condition A
Poisson's Ratio - LW		0.136	Condition A
Poisson's Ratio - CW		0.118	Condition A

ANEXO B: DATASHEET MONOLITHIC AMPLIFIER PMA2-183LN+



LOW NOISE, WIDEBAND, LOW CURRENT

Monolithic Amplifier **PMA2-183LN+**

ELECTRICAL SPECIFICATIONS¹ AT 25°C, UNLESS NOTED OTHERWISE

Parameter	Condition (GHz)	V _{DD} =5.0			Units
		Min.	Typ.	Max.	
Frequency Range		4		18	GHz
Gain	4	11.9	13.2	14.5	dB
	10	10.6	11.8	13.0	
	12	9.4	10.4	11.5	
	15	9.8	10.9	12.0	
	18	9.1	10.2	11.2	
	20		9.3		
Input Return Loss	4		10		dB
	10		11		
	12		11		
	15		15		
	18		12		
Output Return Loss	4		12		dB
	10		15		
	12		15		
	15		20		
	18		13		
Output Power at 1dB Compression	4		16		dBm
	10		14.4		
	12		14.2		
	15		15.8		
	18		14.6		
Output IP3	4		31		dBm
	10		26.3		
	12		25.6		
	15		28.1		
	18		27.7		
Noise Figure	4		2.7		dB
	10		2.5		
	12		2.5		
	15		2.5		
	18		2.5		
20		2.9			
Device Operating Voltage (V _{DD})		4.75	5	5.25	V
Device Operating Current (I _{DD})		—	48.2	58	mA
Device Current Variation vs. Temperature ²			2.31		μA/°C
Device Current Variation vs. Voltage			0.01		mA/mV
Thermal Resistance, junction-to-ground lead			71.9		°C/W

¹ Measured on Mini-Circuits Characterization Test Board TR-PMA2-183LN+ See Characterization Test Circuit (Fig. 1)

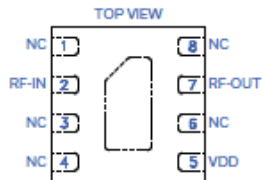
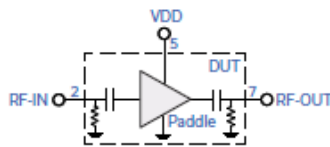


Mini-Circuits

LOW NOISE, WIDEBAND, LOW CURRENT

Monolithic Amplifier PMA2-183LN+

SIMPLIFIED SCHEMATIC & PAD DESCRIPTION



Function	Pad Number	Description (See Figure 1)
RF-IN	2	Connects to RF Input
RF-OUT	7	Connects to RF output
Ground	Paddle	Connects to ground
No Connection	1,3,4,6,8	Not used Internally. Connected to ground on Test Board.
V _{DD}	5	Connects to voltage supply

CHARACTERIZATION TEST CIRCUIT

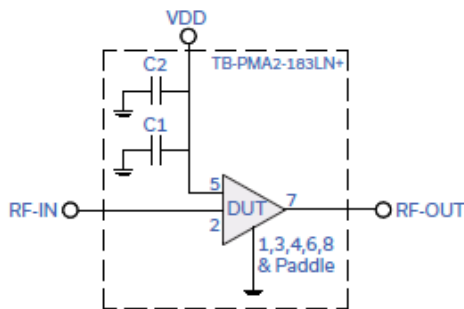
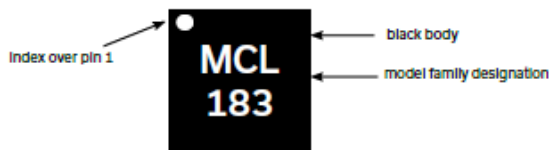


Fig 1. Application and Characterization Circuit
 Note: This block diagram is used for characterization. (DUT soldered on Mini-Circuits Characterization test board TB-PMA2-183LN+)
 Gain, Return loss, Output power at 1dB compression (P1 dB), output IP3 (OIP3) and noise figure measured using Agilent's N5242A PNA-X microwave network analyzer.

- Conditions:
- Gain and Return loss: Pin- -25dBm
 - Output IP3 (OIP3): Two tones, spaced 1 MHz apart, 0dBm/tone at output.


Component	Size	Value	Part Number	Manufacturer
C1	0402	100 pF	GRM1555C1H101JA01J	Murata
C2	0402	0.1 uF	GRM155R71C104KA88D	Murata

PRODUCT MARKING




Marking may contain other features or characters for Internal lot control

ANEXO C: ESPECIFICACIONES CAPACITOR 100 pF, CIRCUITO AMPLIFICADOR

Especificaciones ^		
Atributo del producto	Valor de atributo	Seleccionar atributo
Fabricante:	Murata	<input type="checkbox"/>
Categoría de producto:	Capacitores cerámicos de capas múltiples (MLCC) - SMD/SMT	
RoHS:	 Detalles	
Capacitancia:	100 pF	<input type="checkbox"/>
Régimen de voltaje de CC:	50 VDC	<input type="checkbox"/>
Dieléctrico:	C0G (NP0)	<input type="checkbox"/>
Tolerancia:	5 %	<input type="checkbox"/>
Código de caja (pulg.):	0402	<input type="checkbox"/>
Código de caja (mm):	1005	<input type="checkbox"/>
Altura:	0.5 mm	<input type="checkbox"/>
Temperatura de trabajo mínima:	- 55 C	<input type="checkbox"/>
Temperatura de trabajo máxima:	+ 125 C	<input type="checkbox"/>
Producto:	General Type MLCCs	<input type="checkbox"/>
Estilo de terminación:	SMD/SMT	<input type="checkbox"/>
Terminación:	Standard	<input type="checkbox"/>
Serie:	GRM	<input type="checkbox"/>
Empaquetado:	Reel	<input type="checkbox"/>
Empaquetado:	Cut Tape	<input type="checkbox"/>
Empaquetado:	MouseReel	<input type="checkbox"/>
Marca:	Murata Electronics	
Capacitancia (nF):	0.1 nF	
Clase:	Class 1	
Longitud:	1 mm	
Paquete / Cubierta:	0402 (1005 metric)	
Tipo de producto:	Ceramic Capacitors	

ANEXO D: ESPECIFICACIONES CAPACITOR 0.1UF, CIRCUITO AMPLIFICADOR

Especificaciones ^		
Atributo del producto	Valor de atributo	Seleccionar atributo
Fabricante:	Murata	<input type="checkbox"/>
Categoría de producto:	Capacitores cerámicos de capas múltiples (MLCC) - SMD/SMT	
RoHS:	 Detalles	
Capacitancia:	0.1 uF	<input type="checkbox"/>
Régimen de voltaje de CC:	16 VDC	<input type="checkbox"/>
Dieléctrico:	X7R	<input type="checkbox"/>
Tolerancia:	10 %	<input type="checkbox"/>
Código de caja (pulg.):	0402	<input type="checkbox"/>
Código de caja (mm):	1005	<input type="checkbox"/>
Altura:	0.5 mm	<input type="checkbox"/>
Temperatura de trabajo mínima:	- 55 C	<input type="checkbox"/>
Temperatura de trabajo máxima:	+ 125 C	<input type="checkbox"/>
Producto:	General Type MLCCs	<input type="checkbox"/>
Estilo de terminación:	SMD/SMT	<input type="checkbox"/>
Terminación:	Standard	<input type="checkbox"/>
Serie:	GRM	<input type="checkbox"/>
Empaquetado:	Reel	<input type="checkbox"/>
Empaquetado:	Cut Tape	<input type="checkbox"/>
Empaquetado:	MouseReel	<input type="checkbox"/>
Marca:	Murata Electronics	
Capacitancia (nF):	100 nF	
Capacitancia (pF):	100000 pF	
Clase:	Class 2	
Longitud:	1 mm	
Paquete / Cubierta:	0402 (1005 metric)	
Tipo de producto:	Ceramic Capacitors	

**ANEXO E: TABLA DE DATOS DE PRUEBAS REALIZADAS SIN AMPLIFICADOR Y
CON AMPLIFICADORES.**

Frecuencias (GHz)	Sin amplificador	Dos amplificadores	Promedio 2Amp	Un Amplificador	promedio Tx
11	-65.53	-45.5	20.03	-51.71	13.82
11.1	-61.88	-42.92	18.96	-51.28	10.6
11.2	-66.63	-50.55	16.08	-56.74	9.89
11.3	-66.43	-49.78	16.65	-55.35	11.08
11.4	-72.19	-53.08	19.11	-63.37	8.82
11.5	-64.44	-49.48	14.96	-57.6	6.84
11.6	-66.5	-48.87	17.63	-59.12	7.38
11.7	-58.9	-46.68	12.22	-51.75	7.15
11.8	-60.9	-47.99	12.91	-56.32	4.58
11.83	-66.72	-50.16	16.56	-60.01	6.71
11.9	-61.48	-46.12	15.36	-54.85	6.63
12	-69.29	-48.68	20.61	-57.81	11.48
12.1	-69.3	-47.53	21.77	-51.85	17.45
12.2	-68.37	-53.7	14.67	-57.16	11.21
12.3	-70.12	-54.38	15.74	-57.78	12.34
12.4	-68.45	-56.05	12.4	-61.97	6.48
12.5	-69.22	-49.68	19.54	-60.81	8.41
12.6	-66.46	-59.44	7.02	-62.2	4.26
12.7	-75.72	-68.85	6.87	-71.94	3.78
12.8	-63.12	-55.54	7.58	-58.8	4.32
12.9	-67.96	-59.54	8.42	-62.48	5.48
13	-56.64	-49.06	7.58	-53.32	3.32
13.1	-61.3	-59.34	1.96	-60.29	1.01
13.2	-64.01	-61.63	2.38	-61.98	2.03
13.3	-70.06	-66.14	3.92	-67.88	2.18
13.4	-64.83	-56.08	8.75	-59.37	5.46
13.5	-70.19	-63.35	6.84	-66.01	4.18
13.6	-71.6	-57.94	13.66	-62.43	9.17
13.7	-66.99	-61.91	5.08	-63.91	3.08
13.8	-66.66	-60.68	5.98	-62.69	3.97

13.9	-71.67	-65.77	5.9	-66.74	4.93
14	-66.99	-62.18	4.81	-62.84	4.15
14.1	-76.25	-63.13	13.12	-68.89	7.36
14.2	-75.27	-63.73	11.54	-67.08	8.19
14.25	-69.3	-56.03	13.27	-64.2	5.1
14.3	-70.17	-57.75	12.42	-63.3	6.87
14.4	-64.85	-54.9	9.95	-60.62	4.23
14.5	-61.49	-57.43	4.06	-57.97	3.52
14.6	-69.85	-66.62	3.23	-68.47	1.38
14.7	-68.88	-63.25	5.63	-63.89	4.99
14.8	-71.7	-68.56	3.14	-68.76	2.94
14.9	-71.4	-65.5	5.9	-67.85	3.55
15	-75.36	-73.23	2.13	-74.26	1.1

ANEXO F: ANALIZADOR DE ESPECTRO MS2724C.

Technical Data Sheet

Anritsu

Spectrum Master™

High Performance Handheld Spectrum Analyzer

MS2724C

9 kHz to 20 GHz

Introduction

Anritsu's high performance handheld spectrum analyzer provides the wireless professional the performance needed for the most demanding measurements in harsh RF and physical environments. Whether it is for spectrum monitoring, broadcast proofing, interference analysis, RF and microwave measurements, regulatory compliance, or Wi-Fi and wireless network measurements, the Spectrum Master is the ideal instrument for making fast and reliable measurements.

Spectrum and Interference Analyzer Highlights

- Measure: Occupied Bandwidth, Channel Power, ACPR, C/I
- Interference Analyzer: Spectrogram, Signal Strength, RSSI
- Dynamic Range: > 104 dB in 1 Hz RBW
- DANL: -160 dBm in 1 Hz RBW
- Phase Noise: -100 dBc/Hz @ 10 kHz offset at 1 GHz
- Frequency Accuracy: ±25 ppb with GPS On
- 1 Hz to 10 MHz Resolution Bandwidth (RBW)
- Traces: Normal, Max Hold, Min Hold, Average, # of Averages
- Detectors: Peak, Negative, Sample, Quasi-peak, and true RMS
- Markers: 6, each with a Delta Marker, or 1 Reference with 6 Deltas
- Limit Lines: up to 40 segments with one-button envelope creation
- Trace Save-on-Event: crossing limit line or sweep complete

Capabilities and Functional Highlights

- LTE, TD-LTE
- GSM/EDGE
- W-CDMA/HSPA+
- TD-SCDMA/HSPA+
- CDMA, EV-DO
- Fixed, Mobile WIMAX
- AM/FM/SSB Demodulator
- Zero-span IF Output
- Gated Sweep
- GPS tagging of stored traces
- Internal Preamplifier standard
- High Accuracy Power Meter
- 4, 6, 8, 18, 26 GHz USB Sensors
- Channel Scanner
- 8.4 inch Display
- Burst Detect
- < 5 minute warm-up time
- 2.5 hour battery operation time
- Ethernet/USB Data Transfer
- MST Remote Access Tool



Spectrum Master™ MS2724C Spectrum Analyzer
Handheld Size: 315 mm x 211 mm x 77 mm (12.4 in x 8.3 in x 3.0 in), Lightweight: 3.5 kg (7.8 lb)

 **Spectrum Analyzer**

All specifications and characteristics apply to revision 1 instruments under the following conditions, unless otherwise stated: 1) Instrument within its recommended calibration cycle, 2) After 5 minutes of warm-up time, where the instrument has completely stabilized to the ambient temperature, 3) Internal frequency reference used, 4) Cable analyzer and VNA measurements applicable after standard DSL calibration is performed using Anritsu calibration components, 5) Typical data does not include guard band for measurement uncertainty and temperature variation and is not warranted, 6) All specifications subject to change without notice, 7) Recommended calibration cycle is 12 months.

Measurements

Smart Measurements	Field Strength (uses antenna calibration tables to measure dBm/m ² , dBW/m ² , V/m, A/m, Watt/m ² , Watt/cm ² , or dBmV/m) Occupied Bandwidth (measures 99 % to 1 % power channel of a signal) Channel Power (measures the total power in a specified bandwidth) ACPR (adjacent channel power ratio) AM/FM/SSB Demodulation (wide/narrow FM, upper/lower SSB), (audio out only) C/I (carrier-to-interference ratio) Emission Mask (recall limit lines as emission mask)
--------------------	---

Setup Parameters

Frequency	Center/Start/Stop, Span, Frequency Step, Signal Standard, Channel #
Amplitude	Reference Level (RL), Scale, Attenuation Auto/Level, RL Offset, Pre-Amp On/Off, Detection
Span	Span, Span Up/Down (1-2-5), Full Span, Zero Span, Last Span
Bandwidth	RBW, Auto RBW, VBW, Auto VBW, RBW/VBW, Span/RBW
File	Save, Recall, Delete, Directory Management
Save/Recall	Setups, Measurements, Limit Lines, Screen Shots JPEG (save only), Save-on-Event
Save-on-Event	Crossing Limit Line, Sweep Complete, Save-then-Stop, Clear All
Delete	Selected File, All Measurements, All Mode Files, All Content
Directory Management	Sort Method (Name/Type/Date), Ascend/Descend, Internal/USB, Copy
Application Options	Impedance (50 Ω, 75 Ω, Other)

Sweep Functions

Sweep	Single/Continuous, Manual Trigger, Reset, Detection, Minimum Sweep Time, Trigger Type
Sweep Mode	Fast, Performance, No FFT, Burst Detect
Detection	Peak, RMS/Avg, Negative, Sample, Quasi-peak
Triggers	Free Run, External, Video, Delay, Level, Slope, Hysteresis, Holdoff, Force Trigger Once

Trace Functions

Traces	Up to three Traces (A, B, C), View/Blank, Write/Hold, Trace A/B/C Operations
Trace A Operations	Normal, Max Hold, Min Hold, Average, # of Averages, (always the live trace)
Trace B Operations	A -> B, B <-> C, Max Hold, Min Hold
Trace C Operations	A -> C, B <-> C, Max Hold, Min Hold, A - B -> C, B - A -> C, Relative Reference (dB), Scale

Marker Functions

Markers	Markers 1-6 each with a Delta Marker, or Marker 1 Reference with Six Delta Markers, Marker Table (On/Off/Large), All Markers Off
Marker Types	Style (Fixed/Tracking), Noise Marker, Frequency Counter Marker
Marker Auto-Position	Peak Search, Next Peak (Right/Left), Peak Threshold %, Set Marker to Channel, Marker Frequency to Center, Delta Marker to Span, Marker to Reference Level
Marker Table	1-6 markers frequency and amplitude, plus delta markers frequency offset and amplitude

Limit Line Functions

Limit Lines	Upper/Lower, On/Off, Edit, Move, Envelope, Advanced, Limit Alarm, Default Limit
Limit Line Edit	Frequency, Amplitude, Add Point, Add Vertical, Delete Point, Next Point Left/Right
Limit Line Move	To Current Center Frequency, By dB or Hz, To Marker 1, Offset from Marker 1
Limit Line Envelope	Create Envelope, Update Amplitude, Number of Points (41), Offset, Shape Square/Slope
Limit Line Advanced	Type (Absolute/Relative), Mirror, Save/Recall

Frequency

Frequency Range	9 kHz to 20 GHz (tunable to 0 Hz), Preamp 100 kHz to 20 GHz
Tuning Resolution	1 Hz
Frequency Reference	Aging: ±1.0 ppm/10 years Accuracy: ±0.3 ppm (25 °C ±25 °C) + aging
Auto-sensing External Frequency Reference	1, 1.2288, 1.544, 2.048, 2.4576, 4.8, 4.9152, 5, 9.8304, 10, 13, 19.6608 MHz
Frequency Span	10 Hz to 20 GHz including zero span
Sweep Time	10 μs to 600 seconds in zero span
Sweep Time Accuracy	±2 % in zero span

Bandwidth (Performance Sweep Mode)

Resolution Bandwidth (RBW)	1 Hz to 10 MHz in 1-3 sequence ±10 % (-3 dB bandwidth)
Video Bandwidth (VBW)	1 Hz to 10 MHz in 1-3 sequence (-3 dB bandwidth)
RBW with Quasi-Peak Detection	200 Hz, 9 kHz, 120 kHz (-6 dB bandwidth)
VBW with Quasi-Peak Detection	Auto VBW is On, RBW/VBW = 1

Anritsu Advancing beyond

RF/Microwave Signal Generators

MG3690C
10 MHz to 70 GHz/500 GHz
MG3695C, MG3697C



Signal Generator

General Specifications

Frequency Coverage		
Model/Option No.	Frequency Coverage ^a	Output Connector
MG3695C	2 GHz to 50 GHz	1.85 mm V(f)
MG3697C	2 GHz to 67 GHz ^b	1.85 mm V(f)
Option 4	8 MHz to 2.2 GHz ^c	Model No. Dependent
Option 5	8 MHz to 2 GHz ^c	Model No. Dependent

a. For frequency coverage beyond 70 GHz, utilize millimeter-wave multiplier 2000-2087-R through 2000-2098-R series (see page 2-18).

b. Operational to 70 GHz

c. All specifications apply \geq 10 MHz

Options 4 and 5

Frequency extension down to 8 MHz

Two options are available to extend the 2 GHz low end frequency limit of the base models down to 8 MHz. Option 4 uses a digital down-converter (DDC) with successive divide-by-two circuitry. It offers the best phase noise performance of the two choices, at the expense of some analog performance < 500 MHz. In that range, analog sweep mode is not available, and pulse modulation performance is specified as typical. In addition, frequency and phase modulation mod index is scaled by the division ratio of each band of the DDC. Option 5 maintains all analog performance by using a heterodyne mixing down-converter, but does not improve phase noise performance.

CW Mode

Accuracy	Same as internal or external 10 MHz time base
Internal Time Base Stability	With aging: $< 2 \times 10^{-9}/\text{day}$ ($< 5 \times 10^{-10}/\text{day}$ with Option 16) With temperature: $< 2 \times 10^{-9}/^{\circ}\text{C}$ over 0°C to 55°C ($< 2 \times 10^{-10}/^{\circ}\text{C}$ with Option 16)
Resolution	0.01 Hz
Internal Time Base Calibration	The internal time base can be calibrated via the System Cal menu to match an external reference (10 MHz \pm 50 Hz).
External 10 MHz Reference Input	Accepts external 10 MHz \pm 50 Hz (typical) 0 dBm to +20 dBm time base signal Automatically disconnects the internal high-stability time-base option (if installed) Rear panel BNC (50 Ω impedance)
10 MHz Reference Output	Selectable bandwidth for best phase noise immunity or best phase tracking performance 1 V _{rms} into 50 Ω , AC coupled Rear panel BNC (50 Ω impedance)
Phase Offset	Adjustable in 0.1 degree steps
Electronic Frequency Control (EFC)	-4 V to +4 V input range 0.2 ppm/V typical sensitivity (0.08 ppm/V typical for Option 3x) \leq 250 Hz modulation bandwidth Rear panel BNC (high impedance)

Phase-Locked Step Sweep Mode

Sweep Width	Independently selected, 0.01 Hz to full range Every frequency step in sweep range is phase-locked.
Accuracy	Same as internal or external 10 MHz time base
Resolution (Minimum Step Size)	0.01 Hz
Linear/Log Sweep	User-selectable linear or log sweep In log sweep, step size logarithmically increases with frequency.
Steps	User-selectable number of steps or the step size
Number of Steps	Variable from 1 to 10,000
Step Size	0.01 Hz to the full frequency range of the instrument If the step size does not divide into the selected frequency range, the last step is truncated.
Dwell Time Per Step	Variable from 1 ms to 99 s
Fixed Rate Sweep	Variable from 30 ms to 99 s

Analog Sweep Mode (Option 6)

Sweep Width	Independently selected from 1 MHz to full frequency range For units with Option 4 (Digital Down Converter), the start frequency during analog sweep is limited to \geq 2.2 GHz for stop frequencies > 20 GHz. For stop frequencies \leq 20 GHz, the start frequency is limited to \geq 500 MHz. A range error will be displayed if any of these analog sweep start/stop limits are exceeded.
Accuracy	The lesser of \pm 30 MHz or \pm 2 MHz +0.25 % of sweep width for Sweep Speeds of \leq 50 MHz/ms (typical)
Sweep Time Range	30 ms to 99 s

Alternate Sweep Mode

Sweeps alternately in step sweep between any two sweep ranges. Each sweep range may be associated with a power level.

E5071C ENA Vector Network Analyzer

- 9 kHz to 4.5/6.5/8.5 GHz
- 100 kHz to 4.5/6.5/8.5 GHz (with bias tees)
- 300 kHz to 14/20 GHz (with bias tees)

E5092A Configurable Multiport Test Set



Product Discontinuance Notice

The E5071C ENA and all associated options will be discontinued, and the last date this product can be ordered is May 31, 2021. For new product purchases, Keysight recommends the E5080B ENA Series Vector Network Analyzer. (2- or 4-ports, up to 53 GHz)

For more information, as well as to access to detailed migration guides, please visit:

www.keysight.com/find/e5080b



Corrected System Performance

The specifications in this section apply to measurements made with the Keysight Technologies, Inc. E5071C vector network analyzer under the following conditions:

- No averaging applied to data
- Environmental temperature of 23 °C (± 5 °C) with less than 1 °C deviation from the calibration temperature
- Response and isolation calibration performed
- RF Range Fixed Mode: OFF

System dynamic range

Table 1. Option 230/235/240/245/260/265/280/285/430/435/440/445/460/465/480/485

Description	Specification	SPD
System dynamic range^{1,2,3}		
9 kHz to 300 kHz		72 dB
300 kHz to 10 MHz	IF bandwidth = 3 kHz	82 dB
10 MHz to 6 GHz		98 dB
6 GHz to 8.5 GHz		92 dB
9 kHz to 300 kHz		115 dB
300 kHz to 10 MHz		115 dB
10 MHz to 6 GHz	IF bandwidth = 10 Hz	123 dB
6 GHz to 7 GHz		128 dB
7 GHz to 8 GHz		126 dB
8 GHz to 8.5 GHz		124 dB

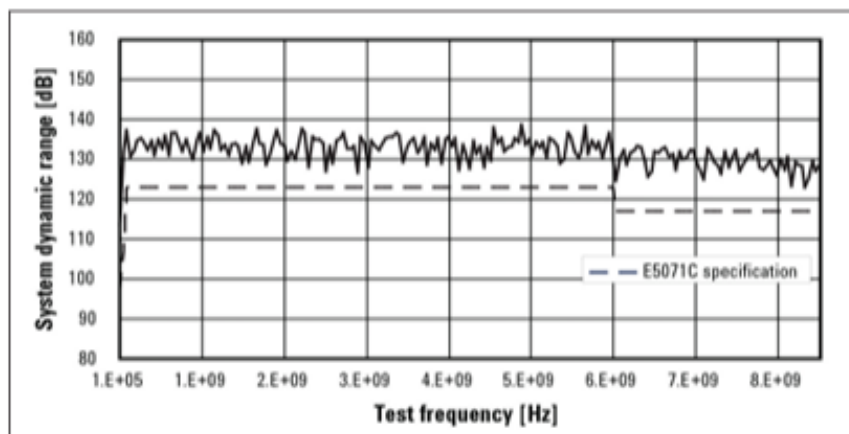


Figure 1. System dynamic range (specification and actual measurement data example, IF bandwidth 10 Hz)

ANEXO I: PRUEBAS FUNCIONAMIENTO DE ANTENAS.



ANEXO J: SOLDADO DE ALIMENTACIÓN AMPLIFICADORES.



**ANEXO K: PRUEBAS REALIZADAS DENTRO DE LA CAMARA ANECOICA DEL
DISPOSITIVO IMPLEMENTADO.**

