



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

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE  
RADIOAFICIONADOS EN LAS INSTALACIONES DE LA  
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES DE LA ESPOCH EN LA  
BANDA HF Y VHF”**

**Trabajo de Titulación**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR(ES):**

**DORIAN ADONIS CAIZA VARGAS**  
**KEVIN GABRIEL COFRE VALIENTE**

Riobamba - Ecuador

2024



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

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE  
RADIOAFICIONADOS EN LAS INSTALACIONES DE LA  
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES DE LA ESPOCH EN LA  
BANDA HF Y VHF”**

**Trabajo de Titulación**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR(ES):** DORIAN ADONIS CAIZA VARGAS  
KEVIN GABRIEL COFRE VALIENTE

**DIRECTOR:** ING. PAUL DAVID MORENO AVILES

Riobamba - Ecuador

2024

© 2024, Dorian Caiza & Kevin Cofre

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

Nosotros, Dorian Adonis Caiza Vargas y Kevin Gabriel Cofre Valiente, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

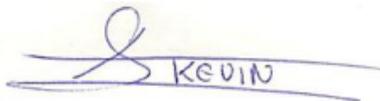
Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 09 de abril del 2024



**Dorian Adonis Caiza Vargas**

**025013808-8**

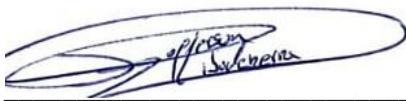


**Kevin Gabriel Cofre Valiente**

**050414212-6**

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; tipo: Proyecto Técnico, “**IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE RADIOAFICIONADOS EN LAS INSTALACIONES DE LA CARRERA DE TELECOMUNICACIONES DE LA ESPOCH EN LA BANDA HF Y VHF**”, realizado por los señores: **DORIAN ADONIS CAIZA VARGAS** y **KEVIN GABRIEL COFRE VALIENTE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Jefferson Ribadeneira Ramirez, PhD. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2024-04-09
Ing. David Moreno Aviles, PhD. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 _____	2024-04-09
Ing. Hugo Moreno Aviles, PhD. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 _____	2024-04-09

## DEDICATORIA

Con profunda gratitud y humildad, dedico este trabajo de titulación a Dios, cuya guía y fortaleza han sido fundamentales para alcanzar este logro. A mi amada familia, cuyo apoyo emocional y financiero ha sido un pilar inquebrantable en cada etapa de este camino. A mi querida novia, hermanos y amigos, quienes han sido mi constante fuente de inspiración y aliento a lo largo de este desafiante trayecto. Su inquebrantable apoyo ha sido el combustible que impulsó mi determinación. Por último y más importante, reconozco y celebro mi esfuerzo, dedicación, disciplina y resiliencia que me han permitido llegar hasta aquí. Este logro no solo es mío, sino también de aquellos que me han acompañado y alentado en este recorrido. ¡Gracias por ser parte de este inolvidable viaje!.

Dorian

Con gratitud infinita y amor profundo, dedico esta tesis a mis padres, Carmelina y Jorge, quienes han sido mi mayor apoyo y fuente inagotable de inspiración. Su sacrificio, paciencia y aliento constante han sido la fuerza motriz detrás de cada página escrita. Gracias por ser mis guías incondicionales, por creer en mí cuando dudé y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este logro no sería posible sin su amor y dedicación. Les dedico con todo mi corazón este pequeño triunfo, que es también suyo. A toda mi familia, cuyas risas, abrazos y aliento han llenado de luz cada paso de este camino, les ofrezco este logro con el mismo amor con el que ustedes han iluminado mi vida. Este triunfo es nuestro, les agradezco por ser el fundamento de mi felicidad y éxito.

Kevin

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que contribuyeron a la realización de este proyecto de titulación. En primer lugar, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Escuela de Telecomunicaciones, por brindarnos el entorno académico necesario para nuestra formación profesional.

Agradecemos profundamente a los ingenieros David Moreno, Hugo Moreno, Jefferson Ribadeneira, Carlos Guerrero y Robert Rodriguez por su invaluable orientación y apoyo durante todo el proceso. Su experiencia y liderazgo fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

También, queremos agradecer al ingeniero Ahmed Perez y al licenciado Xavier Paz por su valiosa orientación en el campo de la radioafición. Su entusiasmo y experiencia compartida han enriquecido nuestro conocimiento y motivación en este fascinante camino.

Queremos expresar nuestra gratitud a nuestros compañeros del Radio Club por su dedicación y colaboración excepcionales. Agradecemos especialmente a Erick V., Byron M., Guillermo P., Felix P., Marcelo O., Wilmer O., Silvana C., Erick G., Stalin M., Franklin P., Arnaldo T. y Renny P. por su invaluable contribución a lo largo de este proyecto.

Por último y mas importante, queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a Dios por permitirnos alcanzar este logro y a nuestras familias por su constante apoyo. Su amor incondicional y sacrificio fueron una fuente inagotable de inspiración a lo largo de este arduo camino. En cada paso que dimos, su aliento nos impulsó hacia adelante y su apoyo inquebrantable nos sostuvo en los momentos más difíciles. Estamos eternamente agradecidos por su presencia constante, su sabiduría y su amor incondicional, los cuales han sido pilares fundamentales en nuestro viaje hacia la culminación de este proyecto de titulación.

Dorian & Kevin

# ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS . . . . .	xviii	
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES . . . . .	xx	
ÍNDICE DE ECUACIONES . . . . .	xxix	
ÍNDICE DE ANEXOS . . . . .	xxx	
RESUMEN . . . . .	xxxii	
SUMMARY . . . . .	xxxiii	
INTRODUCCIÓN . . . . .	1	
<b>CAPÍTULO I</b>		
<b>1</b>	<b>DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA</b>	<b>2</b>
1.1	Antecedentes . . . . .	2
1.2	Planteamiento del problema . . . . .	5
1.3	Justificación . . . . .	5
1.3.1	<i>Justificación teórica</i> . . . . .	5
1.3.2	<i>Justificación aplicada</i> . . . . .	6
1.4	Objetivos . . . . .	9
1.4.1	<i>Objetivo General</i> . . . . .	9
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i> . . . . .	9
<b>CAPÍTULO II</b>		
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>10</b>
2.1	Espectro electromagnético y radioeléctrico . . . . .	10

<b>2.1.1</b>	<b><i>Espectro electromagnético</i></b> . . . . .	10
<b>2.1.2</b>	<b><i>Espectro radioeléctrico</i></b> . . . . .	10
2.1.2.1	<i>División del espectro radioeléctrico</i> . . . . .	11
<b>2.2</b>	<b>Sistemas radioeléctricos</b> . . . . .	13
<b>2.2.1</b>	<b><i>Parámetros y características</i></b> . . . . .	13
2.2.1.1	<i>Parámetros de emisión</i> . . . . .	13
2.2.1.2	<i>Modos de propagación para rangos de frecuencia</i> . . . . .	14
2.2.1.3	<i>Propagación de señales de RF por onda superficial para HF</i> . . . . .	14
2.2.1.4	<i>Propagación de señales de RF por onda ionosférica para HF</i> . . . . .	14
2.2.1.5	<i>Propagación de señales de RF por onda directa para VHF</i> . . . . .	15
<b>2.2.2</b>	<b><i>Radiocomunicación</i></b> . . . . .	15
<b>2.2.3</b>	<b><i>Estaciones radioeléctricas</i></b> . . . . .	16
2.2.3.1	<i>Modos de explotación</i> . . . . .	16
2.2.3.2	<i>Servicios</i> . . . . .	16
<b>2.3</b>	<b>Servicio de radioaficionados</b> . . . . .	17
<b>2.3.1</b>	<b><i>Historia de la radioafición</i></b> . . . . .	17
<b>2.3.2</b>	<b><i>Regulación y normativas</i></b> . . . . .	19
2.3.2.1	<i>Categorías de licencias</i> . . . . .	20
2.3.2.2	<i>Costos y tiempo de validez de licencias para radioaficionados</i> . . . . .	21
2.3.2.3	<i>Requisitos para la obtención de licencias de radioaficionados</i> . . . . .	21
<b>2.3.3</b>	<b><i>Características operativas</i></b> . . . . .	23
<b>2.3.4</b>	<b><i>Distintivo</i></b> . . . . .	23
<b>2.3.5</b>	<b><i>Potencias</i></b> . . . . .	24
<b>2.3.6</b>	<b><i>Inspección y control</i></b> . . . . .	24
<b>2.3.7</b>	<b><i>Actividades</i></b> . . . . .	25

2.3.8	<i>Obligaciones</i> . . . . .	25
2.3.9	<i>Bandas de frecuencias orientadas a la radioafición</i> . . . . .	26
2.4	<b>Estación de radioaficionados</b> . . . . .	26
2.4.1	<i>Estación de control</i> . . . . .	26
2.4.2	<i>Sistema radiante</i> . . . . .	28
2.5	<b>Características técnicas de los sistemas de comunicación</b> . . . . .	28
2.5.1	<i>Categoría de las señales</i> . . . . .	28
2.5.2	<i>Sistema de comunicación</i> . . . . .	28
2.5.3	<i>Principios de modulación</i> . . . . .	29
2.5.3.1	<i>Modulación en amplitud</i> . . . . .	30
2.5.3.2	<i>Modulación angular en frecuencia y modulación en fase</i> . . . . .	31
2.5.4	<i>Parámetros de un sistema radiante</i> . . . . .	33
2.5.4.1	<i>Patrón de radiación</i> . . . . .	33
2.5.4.2	<i>Ancho de banda</i> . . . . .	34
2.5.4.3	<i>Directividad</i> . . . . .	34
2.5.4.4	<i>Ganancia</i> . . . . .	35
2.5.4.5	<i>Polarización</i> . . . . .	35
2.5.5	<i>Campo en condiciones de espacio libre</i> . . . . .	35
2.5.5.1	<i>PIRE</i> . . . . .	36
2.5.5.2	<i>PRA</i> . . . . .	36
2.6	<b>Sistemas tecnológicos</b> . . . . .	36
2.6.1	<i>SDR</i> . . . . .	36
2.6.2	<i>DSP</i> . . . . .	37
2.6.3	<i>Diferencia entre SDR y DSP</i> . . . . .	37
2.6.4	<i>Software para el uso de SDR</i> . . . . .	37

2.6.4.1	<i>SDR-Sharp</i>	37
2.6.4.2	<i>SDR-Angel</i>	37
2.6.4.3	<i>Specktrum</i>	37
<b>2.6.5</b>	<b><i>Softwares de simulación</i></b>	<b>38</b>
2.6.5.1	<i>Mmana-gal</i>	38
2.6.5.2	<i>Hfss</i>	38
2.6.5.3	<i>Gnu Radio</i>	38
2.6.5.4	<i>Radiomobile</i>	39
<b>2.7</b>	<b>Materiales y equipos</b>	<b>39</b>
<b>2.7.1</b>	<b><i>Sistema de control</i></b>	<b>39</b>
2.7.1.1	<i>Computador portátil</i>	39
2.7.1.2	<i>Parlante</i>	40
2.7.1.3	<i>Micrófono para PC</i>	40
2.7.1.4	<i>HackRF One</i>	41
2.7.1.5	<i>RTL-SDR</i>	42
2.7.1.6	<i>Preamplificador</i>	42
2.7.1.7	<i>Amplificador lineal</i>	43
2.7.1.8	<i>Heatsink DX-15</i>	43
2.7.1.9	<i>Filtro pasa bajas</i>	44
2.7.1.10	<i>Fuente de alimentación conmutada 48 V</i>	44
2.7.1.11	<i>Fuente de 12 V</i>	45
2.7.1.12	<i>Soporte para el sistema de amplificación</i>	45
2.7.1.13	<i>Ventilador</i>	46
<b>2.7.2</b>	<b><i>Sistema radiante</i></b>	<b>47</b>
2.7.2.1	<i>Cable Coaxial de 50 <math>\Omega</math></i>	47

2.7.2.2	<i>Cable Coaxial de 75 <math>\Omega</math></i> . . . . .	48
2.7.2.3	<i>Conector PL-259 macho</i> . . . . .	49
2.7.2.4	<i>Conmutador de antena</i> . . . . .	49
2.7.2.5	<i>Antena Delta Loop para HF</i> . . . . .	50
2.7.2.6	<i>Antena Dipolo para HF</i> . . . . .	51
2.7.2.7	<i>Antena Cuadra-Cúbica para VHF</i> . . . . .	52
2.7.2.8	<i>Antena Dipolo extensible para VHF</i> . . . . .	53
<b>2.7.3</b>	<b><i>Equipos de medición</i></b> . . . . .	<b>53</b>
2.7.3.1	<i>Multímetro: Digital Best DT9205M</i> . . . . .	53
2.7.3.2	<i>Medidor de ROE: AMITEC-VSWR METER VSM10</i> . . . . .	54
2.7.3.3	<i>Analizador de espectros: Anritsu-MS2724C</i> . . . . .	55
2.7.3.4	<i>Generador de señales: Anritsu-MG3692C</i> . . . . .	56

### **CAPÍTULO III**

<b>3</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>58</b>
<b>3.1</b>	<b>Introducción</b> . . . . .	<b>58</b>
<b>3.2</b>	<b>Instalación de GNU RADIO y controladores</b> . . . . .	<b>59</b>
3.2.1	<i>Zadig</i> . . . . .	60
<b>3.3</b>	<b>Bloques principales</b> . . . . .	<b>61</b>
3.3.1	<i>QT GUI Range</i> . . . . .	61
3.3.2	<i>QT GUI Chooser</i> . . . . .	62
3.3.3	<i>QT GUI Sink</i> . . . . .	62
3.3.4	<i>QT GUI Tab Widget</i> . . . . .	63
3.3.5	<i>Selector</i> . . . . .	63
3.3.6	<i>Rational resampler</i> . . . . .	64

<b>3.4</b>	<b>Acoplamiento de entrada y salida de audio</b>	65
<b>3.5</b>	<b>Sistema transceptor en GNU Radio</b>	65
<b>3.5.1</b>	<b>Sistema transmisor</b>	65
3.5.1.1	Modulación AM	66
3.5.1.2	Modulación DSB-SC	67
3.5.1.3	Modulación USB	67
3.5.1.4	Modulación LSB	68
3.5.1.5	Modulación WBFM	68
3.5.1.6	Modulación NBFM	69
<b>3.5.2</b>	<b>Sistema de transmisión general</b>	69
<b>3.5.3</b>	<b>Sistema receptor</b>	70
3.5.3.1	Demodulación AM	70
3.5.3.2	Demodulación DSB-SC	71
3.5.3.3	Demodulación USB	72
3.5.3.4	Demodulación LSB	72
3.5.3.5	Demodulación WBFM	73
3.5.3.6	Demodulación NBFM	73
3.5.3.7	Sistema de recepción general	74
<b>3.6</b>	<b>Sistema de amplificación</b>	76
<b>3.6.1</b>	<b>Pruebas de potencia de emisión con el HackRF One</b>	76
<b>3.6.2</b>	<b>Mediciones de potencia de transmisión del HackRF One con el preamplificador</b>	77
<b>3.6.3</b>	<b>Banda HF</b>	80
3.6.3.1	Integración de la fuente de alimentación al preamplificador	80
3.6.3.2	Acoplamiento del modulo amplificador al disipador de calor	82
3.6.3.3	Sistema de alimentación del módulo amplificador	83

3.6.3.4	<i>Acoplamiento del filtro LPF para el sistema de amplificación</i>	84
3.6.3.5	<i>Sistema de ventilación</i>	86
3.6.3.6	<i>Amplificador de potencia HF</i>	86
3.6.3.7	<i>Relación teórica de potencias de transmisión</i>	88
<b>3.6.4</b>	<b><i>Banda VHF</i></b>	<b>89</b>
<b>3.7</b>	<b><i>Sistema radiante</i></b>	<b>90</b>
<b>3.7.1</b>	<b><i>Antenas para HF</i></b>	<b>90</b>
3.7.1.1	<i>Antena Delta Loop</i>	90
3.7.1.2	<i>Antena Dipolo</i>	98
<b>3.7.2</b>	<b><i>Antenas para VHF</i></b>	<b>102</b>
3.7.2.1	<i>Antena Cuadra-Cúbica multibanda</i>	102
<b>3.8</b>	<b><i>Descripción general de la estación de radioaficionados</i></b>	<b>110</b>
<b>3.8.1</b>	<b><i>Frecuencias y bandas de operación</i></b>	<b>110</b>
<b>3.8.2</b>	<b><i>Ubicación y espacio</i></b>	<b>110</b>
3.8.2.1	<i>Radio club FIE-ESPOCH</i>	110
3.8.2.2	<i>Estación Guayaquil Radio Club</i>	111
3.8.2.3	<i>Puntos de recepción generales para las bandas HF y VHF</i>	112
<b>3.8.3</b>	<b><i>Características técnicas de los equipos</i></b>	<b>113</b>
3.8.3.1	<i>Computadora Portátil HP: Pavilion Laptop 15-eh0003la</i>	114
3.8.3.2	<i>Parlante Genius: SW-2.1 375 DE 12 WATTS</i>	114
3.8.3.3	<i>Micrófono EZRA: MP03</i>	114
3.8.3.4	<i>RTL-SDR blog V4</i>	115
3.8.3.5	<i>HACK RF One</i>	115
3.8.3.6	<i>Módulo preamplificador de potencia de banda ancha RF</i>	116
3.8.3.7	<i>Disipador de calor</i>	116

3.8.3.8	<i>Módulo amplificador MRF300 LDMOS 600 W HF/ 6 m lineal</i>	117
3.8.3.9	<i>Filtro pasa bajos</i>	117
3.8.3.10	<i>Fuente de alimentación conmutada a 48 V</i>	118
3.8.3.11	<i>Fuente de poder de 12 V</i>	118
3.8.3.12	<i>Cable coaxial CNT-400</i>	119
3.8.3.13	<i>Cable coaxial RG58</i>	120
3.8.3.14	<i>Cable coaxial RG6</i>	120
3.8.3.15	<i>Conmutador de antena CA-201 UHF</i>	121
3.8.3.16	<i>Conector PL-259 macho</i>	121
3.8.3.17	<i>Antena Delta Loop</i>	122
3.8.3.18	<i>Antena Dipolo</i>	122
3.8.3.19	<i>Antena Cuadra-Cúbica multibanda</i>	122
3.8.3.20	<i>Antena Dipolo extensible</i>	123
<b>3.8.4</b>	<b><i>Potencias máximas de emisión</i></b>	<b>123</b>
<b>3.8.5</b>	<b><i>Características de planificación para cobertura en radiomobile</i></b>	<b>124</b>
3.8.5.1	<i>Propiedades mapa</i>	124
3.8.5.2	<i>Configuración de unidades</i>	124
3.8.5.3	<i>Configuración de redes</i>	125
3.8.5.4	<i>Configuración de sistemas</i>	126
3.8.5.5	<i>Paleta de colores para el rango de cobertura</i>	128

## **CAPÍTULO IV**

<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>129</b>
<b>4.1</b>	<b>Sistema de simulaciones</b>	<b>129</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Sistema radiante</b>	<b>129</b>

4.1.1.1	<i>Simulación de antena Delta Loop en MMANA-GAL</i>	129
4.1.1.2	<i>Simulación de antena Dipolo en MMANA-GAL</i>	134
4.1.1.3	<i>Simulación de antena Cuadra-Cúbica en MMANA-GAL</i>	137
<b>4.1.2</b>	<b><i>Análisis del radio enlace para la banda HF</i></b>	<b>148</b>
4.1.2.1	<i>Radio Club FIE-ESPOCH - Radio Club Guayaquil</i>	149
4.1.2.2	<i>Radio Club Guayaquil-Radio Club FIE-ESPOCH</i>	150
4.1.2.3	<i>Rango de cobertura con la máxima potencia de transmisión</i>	150
4.1.2.4	<i>Rango de cobertura con la potencia del sistema empleado</i>	152
<b>4.1.3</b>	<b><i>Análisis de radio enlaces locales para la banda VHF</i></b>	<b>152</b>
4.1.3.1	<i>Radio Club FIE-ESPOCH - PUNTO 1</i>	153
4.1.3.2	<i>Radio Club FIE-ESPOCH - PUNTO 2</i>	156
4.1.3.3	<i>Radio Club FIE-ESPOCH - PUNTO 3</i>	158
4.1.3.4	<i>Radio Club FIE-ESPOCH - PUNTO 4</i>	160
4.1.3.5	<i>Rango de cobertura</i>	162
<b>4.2</b>	<b>Sistema real</b>	<b>164</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Parámetro S11 de la antena Delta Loop</i></b>	<b>164</b>
4.2.1.1	<i>Frecuencia de operación: 28,5 MHz</i>	164
<b>4.2.2</b>	<b><i>Parámetro S11 de la antena Dipolo</i></b>	<b>165</b>
4.2.2.1	<i>Frecuencia de operación: 28,5 MHz</i>	165
<b>4.2.3</b>	<b><i>Parámetro S11 de la antena Cuadra-Cúbica</i></b>	<b>166</b>
4.2.3.1	<i>Frecuencia de operación: 50,313 MHz</i>	166
4.2.3.2	<i>Frecuencia de operación: 146 MHz</i>	166
4.2.3.3	<i>Frecuencia de operación: 221 MHz</i>	167
<b>4.2.4</b>	<b><i>Mediciones del ROE</i></b>	<b>168</b>
4.2.4.1	<i>Banda DE 28,5 MHz</i>	168

4.2.4.2	<i>Banda de 50,313 MHz, 146 MHz y 221MHz</i>	168
4.2.4.3	<i>Comparación de resultados simulados y reales de ROE</i>	169
4.2.5	<b><i>Entorno de configuración del sistema de transmisión</i></b>	170
4.2.6	<b><i>Entorno de configuración del sistema de recepción</i></b>	171
4.2.7	<b><i>Pruebas con un sistema de comunicaciones móvil en la banda HF</i></b>	172
4.2.8	<b><i>Pruebas de cobertura sin línea de vista directa VHF</i></b>	174
4.2.8.1	<i>Punto 1</i>	175
4.2.8.2	<i>Punto 2</i>	182
4.2.8.3	<i>Punto 3</i>	188
4.2.8.4	<i>Punto 4</i>	194
4.2.9	<b><i>Pruebas de cobertura en línea de vista directa en la banda VHF</i></b>	199
4.2.9.1	<i>Banda de 50,313 MHz</i>	200
4.2.9.2	<i>Banda de 146MHz</i>	201
4.2.9.3	<i>Banda de 221MHz</i>	202
4.2.10	<b><i>Resultados del analizador de espectros en cobertura VHF</i></b>	203
4.2.11	<b><i>Discusión de resultados</i></b>	204
4.2.12	<b><i>Costo</i></b>	205
4.2.12.1	<i>Estudio técnico e implementación</i>	205
4.2.12.2	<i>Sistema de acoplamiento de entrada y salida de voz</i>	205
4.2.12.3	<i>Sistema Transceptor</i>	205
4.2.12.4	<i>Sistema de Amplificación</i>	206
4.2.12.5	<i>Sistema radiante</i>	206
4.2.12.6	<i>Costo total de la implementación de la estación de radioaficionados</i>	207

## CAPÍTULO V

<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>208</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSIONES . . . . .</b>	<b>208</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDACIONES . . . . .</b>	<b>209</b>

**GLOSARIO**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	División del espectro radioeléctrico . . . . .	11
<b>Tabla 2-2:</b>	Modos de propagación . . . . .	14
<b>Tabla 2-3:</b>	Clasificación de los servicios de radiocomunicaciones . . . . .	17
<b>Tabla 2-4:</b>	Costos y tiempo de validez de licencias para radioaficionados . . . . .	21
<b>Tabla 2-5:</b>	Distritos para las provincias del Ecuador . . . . .	24
<b>Tabla 2-6:</b>	Potencias máximas permitidas . . . . .	24
<b>Tabla 2-7:</b>	Bandas de frecuencias orientadas a la radioafición. . . . .	27
<b>Tabla 2-8:</b>	Características técnicas del multímetro Digital Best DT9205M . . . . .	53
<b>Tabla 2-9:</b>	Características técnicas de AMITEC-VSWR METER VSM10 . . . . .	54
<b>Tabla 2-10:</b>	Características técnicas del analizador de espectros: Anritsu-MS2724C . . . . .	56
<b>Tabla 2-11:</b>	Características técnicas del analizador de espectros: Anritsu-MG3692C . . . . .	57
<b>Tabla 3-1:</b>	Valores teóricos de potencia de transmisión . . . . .	89
<b>Tabla 3-2:</b>	Materiales y herramientas para la instalación de la Antena Delta Loop sobre los soportes. . . . .	94
<b>Tabla 3-3:</b>	Materiales y herramientas para la implementación de la Antena Dipolo. . . . .	101
<b>Tabla 3-4:</b>	Materiales y herramientas para la instalación de la Antena Cuadra-Cúbica sobre el soporte. . . . .	106
<b>Tabla 3-5:</b>	Frecuencias y Bandas de Operación . . . . .	110
<b>Tabla 3-6:</b>	Ubicación de los puntos de Estudio . . . . .	113
<b>Tabla 3-7:</b>	Características técnicas de Pavilion Laptop 15-eh0003la . . . . .	114
<b>Tabla 3-8:</b>	Características técnicas del Parlante Genius: SW-2.1 375 DE 12 WATTS . . . . .	114
<b>Tabla 3-9:</b>	Características técnicas del Micrófono EZRA: MP03 . . . . .	114
<b>Tabla 3-10:</b>	Características técnicas del HackRF One . . . . .	115
<b>Tabla 3-11:</b>	Características técnicas del módulo preamplificador de potencia de banda ancha RF . . . . .	116
<b>Tabla 3-12:</b>	Características del Disipador de Calor . . . . .	116
<b>Tabla 3-13:</b>	Características técnicas del Módulo Amplificador MRF300 LDMOS 600 W HF/ 6 m lineal . . . . .	117
<b>Tabla 3-14:</b>	Características técnicas del Filtro pasa bajos . . . . .	117
<b>Tabla 3-15:</b>	Características técnicas de la Fuente de alimentación conmutada 48 V . . . . .	118

<b>Tabla 3-16:</b>	Características técnicas de la Fuente de Poder de 12 V . . . . .	118
<b>Tabla 3-17:</b>	Características técnicas del cable coaxial CNT-400 . . . . .	119
<b>Tabla 3-18:</b>	Características técnicas del cable coaxial RG58 . . . . .	120
<b>Tabla 3-19:</b>	Características técnicas del cable coaxial RG6 . . . . .	120
<b>Tabla 3-20:</b>	Características técnicas del conmutador de antena CA-201 UHF . . . . .	121
<b>Tabla 3-21:</b>	Características técnicas del conector PL-259 macho . . . . .	121
<b>Tabla 3-22:</b>	Características técnicas de la antena Delta Loop . . . . .	122
<b>Tabla 3-23:</b>	Características técnicas de la antena Dipolo . . . . .	122
<b>Tabla 3-24:</b>	Características técnicas de la antena Cuadra-Cúbica Multibanda . . . . .	122
<b>Tabla 3-25:</b>	Características técnicas de la antena Dipolo Extensible . . . . .	123
<b>Tabla 3-26:</b>	Potencias máximas permitidas designadas por la ARCOTEL . . . . .	123
<b>Tabla 3-27:</b>	Cálculo de potencias máximas permitidas . . . . .	123
<b>Tabla 3-28:</b>	Configuración de Redes . . . . .	125
<b>Tabla 3-29:</b>	Configuración de sistemas . . . . .	127
<b>Tabla 4-1:</b>	Dimensiones iniciales y modificadas de la antena Delta Loop . . . . .	129
<b>Tabla 4-2:</b>	Valores de parámetros técnicos calculados de la antena Delta Loop . . . . .	130
<b>Tabla 4-3:</b>	Valores de parámetros técnicos calculados de la antena Dipolo . . . . .	134
<b>Tabla 4-4:</b>	Dimensiones iniciales y modificadas de la antena Cuadra-Cúbica . . . . .	138
<b>Tabla 4-5:</b>	Valores de parámetros técnicos calculados de la antena Cuadra-Cúbica. . . . .	139
<b>Tabla 4-6:</b>	Valores de capacitores e inductores de las adaptaciones de impedancia para la antena Cuadra-Cúbica, según la frecuencia de operación. . . . .	139
<b>Tabla 4-7:</b>	Resultados de ROE simulados y reales en la Banda HF y VHF . . . . .	169
<b>Tabla 4-8:</b>	Resultados del Analizador de espectros en VHF: NLOS . . . . .	203
<b>Tabla 4-9:</b>	Resultados del Analizador de espectros en VHF: LOS . . . . .	203
<b>Tabla 4-10:</b>	Costo de Estudio Técnico e Implementación . . . . .	205
<b>Tabla 4-11:</b>	Costo de dispositivos de acoplamiento de entrada y salida de voz . . . . .	205
<b>Tabla 4-12:</b>	Costo de dispositivos para el sistema Transceptor . . . . .	206
<b>Tabla 4-13:</b>	Costo del Sistema de Amplificación . . . . .	206
<b>Tabla 4-14:</b>	Costo de elementos que conforman el sistema radiante . . . . .	207
<b>Tabla 4-15:</b>	Costo total de la implementación de la estación de radioaficionados . . . . .	207

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1:</b>	Diagrama general del sistema . . . . .	7
<b>Ilustración 1-2:</b>	Diagrama general del transceptor HF/VHF . . . . .	8
<b>Ilustración 1-3:</b>	Ubicación de la Estación . . . . .	8
<b>Ilustración 2-1:</b>	Espectro electromagnético . . . . .	10
<b>Ilustración 2-2:</b>	Sistema de comunicación . . . . .	28
<b>Ilustración 2-3:</b>	Señal Portadora . . . . .	30
<b>Ilustración 2-4:</b>	Señal Modulada en AM . . . . .	31
<b>Ilustración 2-5:</b>	Patrón de Radiación . . . . .	33
<b>Ilustración 2-6:</b>	Polarización de las Antenas . . . . .	35
<b>Ilustración 2-7:</b>	Logo de GNU RADIO . . . . .	38
<b>Ilustración 2-8:</b>	Computador portátil HP . . . . .	39
<b>Ilustración 2-9:</b>	Parlante Genius . . . . .	40
<b>Ilustración 2-10:</b>	Micrófono EZRA: MP03 . . . . .	41
<b>Ilustración 2-11:</b>	Hack Rf One . . . . .	41
<b>Ilustración 2-12:</b>	RTL SDR BLOG V4 . . . . .	42
<b>Ilustración 2-13:</b>	Preamplificador . . . . .	42
<b>Ilustración 2-14:</b>	Amplificador Lineal LDMOS . . . . .	43
<b>Ilustración 2-15:</b>	Heatsink DX-15 . . . . .	43
<b>Ilustración 2-16:</b>	Filtro LPF . . . . .	44
<b>Ilustración 2-17:</b>	Fuente de alimentación conmutada 48 V . . . . .	45
<b>Ilustración 2-18:</b>	Fuente de 12 V . . . . .	45
<b>Ilustración 2-19:</b>	MDF . . . . .	46
<b>Ilustración 2-20:</b>	Ventilador de aire . . . . .	46
<b>Ilustración 2-21:</b>	CNT-400 . . . . .	47
<b>Ilustración 2-22:</b>	R58 . . . . .	48
<b>Ilustración 2-23:</b>	RG6 . . . . .	48
<b>Ilustración 2-24:</b>	Conector PL-259 macho . . . . .	49
<b>Ilustración 2-25:</b>	Conmutador CA-201 . . . . .	49
<b>Ilustración 2-26:</b>	Antena Delta Loop . . . . .	50
<b>Ilustración 2-27:</b>	Antena Dipolo . . . . .	51

<b>Ilustración 2-28:</b>	Antena Cuadra-Cúbica . . . . .	52
<b>Ilustración 2-29:</b>	Antena Dipolo Extensible . . . . .	53
<b>Ilustración 2-30:</b>	Multímetro . . . . .	54
<b>Ilustración 2-31:</b>	Medidor de ROE . . . . .	55
<b>Ilustración 2-32:</b>	Analizador de espectros Anritsu MS2724C . . . . .	56
<b>Ilustración 2-33:</b>	Generador de señales: Anritsu-MG3692C . . . . .	57
<b>Ilustración 3-1:</b>	Etapas de la implementación de la estación de radioaficionados . . . . .	59
<b>Ilustración 3-2:</b>	Configuraciones Zadig . . . . .	60
<b>Ilustración 3-3:</b>	Instalación de GNU RADIO . . . . .	60
<b>Ilustración 3-4:</b>	Instalación de GNU RADIO . . . . .	61
<b>Ilustración 3-5:</b>	QT GUI RANGE . . . . .	62
<b>Ilustración 3-6:</b>	QT GUI CHOOSER . . . . .	62
<b>Ilustración 3-7:</b>	QT GUI SINK . . . . .	63
<b>Ilustración 3-8:</b>	QT GUI TAB Widget . . . . .	63
<b>Ilustración 3-9:</b>	SELECTOR . . . . .	64
<b>Ilustración 3-10:</b>	Rational Resampler . . . . .	64
<b>Ilustración 3-11:</b>	Entrada y salida de Audio . . . . .	65
<b>Ilustración 3-12:</b>	Modulación AM . . . . .	66
<b>Ilustración 3-13:</b>	Modulación DSB-SC . . . . .	67
<b>Ilustración 3-14:</b>	Modulación USB . . . . .	67
<b>Ilustración 3-15:</b>	Modulación LSB . . . . .	68
<b>Ilustración 3-16:</b>	Modulación WBFM . . . . .	69
<b>Ilustración 3-17:</b>	Modulación NBFM . . . . .	69
<b>Ilustración 3-18:</b>	Sistema transmisor . . . . .	70
<b>Ilustración 3-19:</b>	Demodulación AM . . . . .	71
<b>Ilustración 3-20:</b>	Demodulación DSB-SC . . . . .	71
<b>Ilustración 3-21:</b>	Demodulación USB . . . . .	72
<b>Ilustración 3-22:</b>	Demodulación LSB . . . . .	72
<b>Ilustración 3-23:</b>	Demodulación WBFM . . . . .	73
<b>Ilustración 3-24:</b>	Demodulación NBFM . . . . .	74
<b>Ilustración 3-25:</b>	Sistema receptor . . . . .	74
<b>Ilustración 3-26:</b>	Convergencia de bloques GNU . . . . .	75
<b>Ilustración 3-27:</b>	Potencia mínima de transmisión del HackRF One . . . . .	76
<b>Ilustración 3-28:</b>	Potencia máxima de transmisión del HackRF One . . . . .	77

<b>Ilustración 3-29:</b>	Potencias de salida del preamplificador en AM, DSB-SC, SSB . . . . .	78
<b>Ilustración 3-30:</b>	Potencias de salida del preamplificador en WBFM y NBFM . . . . .	79
<b>Ilustración 3-31:</b>	Variabilidad de potencias del Preamplificador . . . . .	79
<b>Ilustración 3-32:</b>	Diseño del amplificador lineal para la banda HF . . . . .	80
<b>Ilustración 3-33:</b>	Medición de la Fuente de 12 V . . . . .	81
<b>Ilustración 3-34:</b>	Preamplificador alimentado con 12 V . . . . .	81
<b>Ilustración 3-35:</b>	Modulo Amplificador y Disipador de calor . . . . .	82
<b>Ilustración 3-36:</b>	Esquema de alimentación del módulo MRF300 . . . . .	83
<b>Ilustración 3-37:</b>	Conexiones físicas del módulo MRF300 . . . . .	83
<b>Ilustración 3-38:</b>	Esquema de alimentación del LPF . . . . .	84
<b>Ilustración 3-39:</b>	Sistema de amplificación y filtrado para HF . . . . .	85
<b>Ilustración 3-40:</b>	Sistema Ventilación . . . . .	86
<b>Ilustración 3-41:</b>	AMPLIFICADOR HF . . . . .	87
<b>Ilustración 3-42:</b>	Calibración de BIAS . . . . .	88
<b>Ilustración 3-43:</b>	Amplificador VHF . . . . .	89
<b>Ilustración 3-44:</b>	Estructura de la Antena Delta Loop . . . . .	90
<b>Ilustración 3-45:</b>	Vista de los Elementos de la Antena en MMANA-GAL sobre el plano 2D Y-Z. . . . .	92
<b>Ilustración 3-46:</b>	Vista de los elementos y punto de alimentación de la antena en MMANA-GAL sobre el plano 3D. . . . .	93
<b>Ilustración 3-47:</b>	Soporte Vertical para cada elemento de la antena Delta Loop. . . . .	94
<b>Ilustración 3-48:</b>	Proceso completo de instalación de la Antena Delta Loop . . . . .	95
<b>Ilustración 3-49:</b>	Conexión de elemento radiante con la línea de alimentación y empalme de coaxiales . . . . .	96
<b>Ilustración 3-50:</b>	Tendido de coaxial a lo largo de la loza hasta el Shack de Radioaficionados	97
<b>Ilustración 3-51:</b>	Antena Delta Loop sobre su estructura física . . . . .	98
<b>Ilustración 3-52:</b>	Estructura de la Antena Dipolo . . . . .	99
<b>Ilustración 3-53:</b>	Vista de los elementos de la antena en MMANA-GAL sobre el plano 2D Y-Z . . . . .	100
<b>Ilustración 3-54:</b>	Vista de los elementos y punto de alimentación de la antena en MMANA-GAL sobre el plano 3D . . . . .	100
<b>Ilustración 3-55:</b>	Antena Dipolo . . . . .	102
<b>Ilustración 3-56:</b>	Estructura de la Antena Cuadra-Cúbica . . . . .	102

<b>Ilustración 3-57:</b>	Vista de los Elementos de la Antena en MMANA-GAL sobre el plano 2D Y-Z. . . . .	105
<b>Ilustración 3-58:</b>	Vista de los elementos y puntos de alimentación de la antena en MMANA-GAL sobre el plano 3D. . . . .	105
<b>Ilustración 3-59:</b>	Soporte para antena Cuadra-Cúbica . . . . .	106
<b>Ilustración 3-60:</b>	Proceso completo de instalación de la Antena Cuadra-Cúbica . . . . .	107
<b>Ilustración 3-61:</b>	Acopladores de impedancia y tendido de cable coaxial hasta el Shack de Radioaficionados . . . . .	108
<b>Ilustración 3-62:</b>	Antena Cuadra-Cúbica sobre su estructura física . . . . .	109
<b>Ilustración 3-63:</b>	Espacio del sistema de Control . . . . .	110
<b>Ilustración 3-64:</b>	Espacio del sistema radiante . . . . .	111
<b>Ilustración 3-65:</b>	Radio Club Guayaquil . . . . .	111
<b>Ilustración 3-66:</b>	Puntos de recepción para Pruebas en VHF . . . . .	112
<b>Ilustración 3-67:</b>	Puntos de recepción para Pruebas en HF . . . . .	112
<b>Ilustración 3-68:</b>	Propiedades del Mapa . . . . .	124
<b>Ilustración 3-69:</b>	Propiedades de Unidades . . . . .	125
<b>Ilustración 3-70:</b>	Configuración de Redes . . . . .	126
<b>Ilustración 3-71:</b>	Configuración de Sistemas . . . . .	126
<b>Ilustración 3-72:</b>	Paleta de Colores para el rango de cobertura en Radiomobile . . . . .	128
<b>Ilustración 4-1:</b>	Cálculo de parámetros técnicos de la antena Delta Loop, realizado por MMANA-GAL a la frecuencia de 28,5 MHz. . . . .	130
<b>Ilustración 4-2:</b>	Circuito de Adaptación LC entre la antena Delta Loop de $73,26 \Omega$ y la línea de transmisión de $75 \Omega$ . . . . .	131
<b>Ilustración 4-3:</b>	Diagrama de campo total generado por la antena Delta Loop a la frecuencia de 28,5 MHz , vista desde el eje X. . . . .	131
<b>Ilustración 4-4:</b>	Diagrama de campo total generado por la antena Delta Loop a la frecuencia de 28,5 MHz, vista desde el eje Z. . . . .	132
<b>Ilustración 4-5:</b>	Diagrama de impedancia generado por la antena Delta Loop a la frecuencia de 28,5 MHz . . . . .	132
<b>Ilustración 4-6:</b>	Diagrama de ROE generado por la antena Delta Loop a la frecuencia de 28,5 MHz. . . . .	133
<b>Ilustración 4-7:</b>	Cálculo de parámetros técnicos de la antena Dipolo, realizado por MMANA-GAL a la frecuencia de 28,5 MHz. . . . .	134

<b>Ilustración 4-8:</b>	Diagrama de campo total generado por la antena Dipolo a la frecuencia de 28,5 MHz, vista desde el eje X. . . . .	135
<b>Ilustración 4-9:</b>	Diagrama de campo total generado por la antena Dipolo a la frecuencia de 28,5 MHz, vista desde el eje Z. . . . .	135
<b>Ilustración 4-10:</b>	Diagrama de impedancia de generado por la antena Dipolo a la frecuencia de 28,5 MHz. . . . .	136
<b>Ilustración 4-11:</b>	Diagrama de ROE generado por la antena Dipolo a la frecuencia de 28,5 MHz. . . . .	137
<b>Ilustración 4-12:</b>	Cálculo de parámetros técnicos de la antena Cuadra-Cúbica a las frecuencias de 50,313, 146 y 221 MHz, realizado por MMANA-GAL. . . . .	139
<b>Ilustración 4-13:</b>	Circuito de adaptación LC para la antena que opera a 50,313 MHz . . . . .	140
<b>Ilustración 4-14:</b>	Circuito de adaptación LC para la antena que opera a 146 MHz . . . . .	140
<b>Ilustración 4-15:</b>	Circuito de adaptación LC para la antena que opera a 221 MHz . . . . .	140
<b>Ilustración 4-16:</b>	Diagrama de campo total generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 50,313 MHz, vista desde el eje X. . . . .	141
<b>Ilustración 4-17:</b>	Diagrama de campo total generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 50,313 MHz, vista desde el eje Z. . . . .	141
<b>Ilustración 4-18:</b>	Diagrama de campo total generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 146 MHz, vista desde el eje X. . . . .	142
<b>Ilustración 4-19:</b>	Diagrama de campo total generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 146 MHz, vista desde el eje Z. . . . .	142
<b>Ilustración 4-20:</b>	Diagrama de campo total generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 221 MHz, vista desde el eje X. . . . .	143
<b>Ilustración 4-21:</b>	Diagrama de campo total generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 221 MHz, vista desde el eje Z. . . . .	143
<b>Ilustración 4-22:</b>	Diagrama de impedancia generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 50,313 MHz. . . . .	144
<b>Ilustración 4-23:</b>	Diagrama de impedancia generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 146 MHz. . . . .	145
<b>Ilustración 4-24:</b>	Diagrama de impedancia generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 221 MHz. . . . .	146
<b>Ilustración 4-25:</b>	Diagrama de ROE generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 50,313 MHz. . . . .	147

<b>Ilustración 4-26:</b>	Diagrama de ROE generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 146 MHz. . . . .	147
<b>Ilustración 4-27:</b>	Diagrama de ROE generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 221 MHz. . . . .	148
<b>Ilustración 4-28:</b>	Radio Club FIE-ESPOCH - Radio Club Guayaquil . . . . .	149
<b>Ilustración 4-29:</b>	Radio Club Guayaquil-Radio Club FIE-ESPOCH . . . . .	150
<b>Ilustración 4-30:</b>	Rango de Cobertura en condiciones de simulación en la banda HF . . . . .	151
<b>Ilustración 4-31:</b>	Rango de Cobertura con la potencia del sistema empleado . . . . .	152
<b>Ilustración 4-32:</b>	Puntos de Estudio . . . . .	153
<b>Ilustración 4-33:</b>	Enlace P1 50,313 MHz . . . . .	154
<b>Ilustración 4-34:</b>	Enlace P1 146 MHz . . . . .	155
<b>Ilustración 4-35:</b>	Enlace P1 221 MHz . . . . .	155
<b>Ilustración 4-36:</b>	Enlace P2 50,313 MHz . . . . .	156
<b>Ilustración 4-37:</b>	Enlace P2 146 MHz . . . . .	157
<b>Ilustración 4-38:</b>	Enlace P2 221 MHz . . . . .	157
<b>Ilustración 4-39:</b>	Enlace P3 50,313 MHz . . . . .	159
<b>Ilustración 4-40:</b>	Enlace P3 146 MHz . . . . .	159
<b>Ilustración 4-41:</b>	Enlace P3 221 MHz . . . . .	160
<b>Ilustración 4-42:</b>	Enlace P4 50,313 MHz . . . . .	161
<b>Ilustración 4-43:</b>	Enlace P4 146 MHz . . . . .	161
<b>Ilustración 4-44:</b>	Enlace P4 221 MHz . . . . .	162
<b>Ilustración 4-45:</b>	Cobertura 50,313 MHz . . . . .	163
<b>Ilustración 4-46:</b>	Cobertura 146 MHz . . . . .	163
<b>Ilustración 4-47:</b>	Cobertura 221 MHz . . . . .	164
<b>Ilustración 4-48:</b>	Coefficiente de reflexión de la antena Delta Loop en la frecuencia de 28,5 MHz . . . . .	164
<b>Ilustración 4-49:</b>	Coefficiente de reflexión de la antena Dipolo en la frecuencia de 28,5 MHz	165
<b>Ilustración 4-50:</b>	Coefficiente de reflexión de la antena Cuadra-Cúbica en la frecuencia de 50,313 MHz . . . . .	166
<b>Ilustración 4-51:</b>	Coefficiente de reflexión de la antena Cuadra-Cúbica en la frecuencia de 146 MHz . . . . .	167
<b>Ilustración 4-52:</b>	Coefficiente de reflexión de la antena Cuadra-Cúbica en la frecuencia de 221 MHz . . . . .	167
<b>Ilustración 4-53:</b>	ROE para 28,5 MHz . . . . .	168

<b>Ilustración 4-54:</b>	ROE para 50,313 MHz . . . . .	168
<b>Ilustración 4-55:</b>	ROE para 146 MHz . . . . .	169
<b>Ilustración 4-56:</b>	ROE para 221 MHz . . . . .	169
<b>Ilustración 4-57:</b>	Configuración del Sistema de Transmisión . . . . .	170
<b>Ilustración 4-58:</b>	Configuración del Sistema de Recepción . . . . .	171
<b>Ilustración 4-59:</b>	Transmisión en la banda HF . . . . .	172
<b>Ilustración 4-60:</b>	Recepción en la banda HF “Cerro Cacha” . . . . .	173
<b>Ilustración 4-61:</b>	Recepción en la banda HF “Punto Medio” . . . . .	173
<b>Ilustración 4-62:</b>	Recepción en la banda HF “Cerro San Francisco” . . . . .	174
<b>Ilustración 4-63:</b>	Transmisión y recepción AM en el Punto 1 . . . . .	177
<b>Ilustración 4-64:</b>	Transmisión y recepción DSB-SC en el Punto 1 . . . . .	177
<b>Ilustración 4-65:</b>	Transmisión y recepción USB en el Punto 1 . . . . .	178
<b>Ilustración 4-66:</b>	Transmisión y recepción LSB en el Punto 1 . . . . .	178
<b>Ilustración 4-67:</b>	Transmisión y recepción WBFM en el Punto 1 . . . . .	179
<b>Ilustración 4-68:</b>	Transmisión y recepción NBFM en el Punto 1 . . . . .	179
<b>Ilustración 4-69:</b>	Espectro en la banda de 50,313 MHz en el punto 1 . . . . .	180
<b>Ilustración 4-70:</b>	Espectro en la banda de 146 MHz en el punto 1 . . . . .	181
<b>Ilustración 4-71:</b>	Espectro en la banda de 221 MHz en el punto 1 . . . . .	181
<b>Ilustración 4-72:</b>	Transmisión y recepción AM en el Punto 2 . . . . .	183
<b>Ilustración 4-73:</b>	Transmisión y recepción DSB-SC en el Punto 2 . . . . .	183
<b>Ilustración 4-74:</b>	Transmisión y recepción USB en el Punto 2 . . . . .	184
<b>Ilustración 4-75:</b>	Transmisión y recepción LSB en el Punto 2 . . . . .	184
<b>Ilustración 4-76:</b>	Transmisión y recepción WBFM en el Punto 2 . . . . .	185
<b>Ilustración 4-77:</b>	Transmisión y recepción NBFM en el Punto 2 . . . . .	185
<b>Ilustración 4-78:</b>	Espectro en la banda de 50,313 MHz en el Punto 2 . . . . .	186
<b>Ilustración 4-79:</b>	Espectro en la banda de 146 MHz en el Punto 2 . . . . .	187
<b>Ilustración 4-80:</b>	Espectro en la banda de 221 MHz en el Punto 2 . . . . .	187
<b>Ilustración 4-81:</b>	Transmisión y recepción AM en el Punto 3 . . . . .	189
<b>Ilustración 4-82:</b>	Transmisión y recepción DSB-SC en el Punto 3 . . . . .	189
<b>Ilustración 4-83:</b>	Transmisión y recepción USB en el Punto 3 . . . . .	190
<b>Ilustración 4-84:</b>	Transmisión y recepción LSB en el Punto 3 . . . . .	190
<b>Ilustración 4-85:</b>	Transmisión y recepción WBFM en el Punto 3 . . . . .	191
<b>Ilustración 4-86:</b>	Transmisión y recepción NBFM en el Punto 3 . . . . .	191
<b>Ilustración 4-87:</b>	Espectro en la banda de 50,313 MHz en el Punto 3 . . . . .	192

<b>Ilustración 4-88:</b>	Espectro en la banda de 146 MHz en el Punto 3 . . . . .	193
<b>Ilustración 4-89:</b>	Espectro en la banda de 221 MHz en el Punto 3 . . . . .	193
<b>Ilustración 4-90:</b>	Transmisión y recepción AM en el Punto 4 . . . . .	194
<b>Ilustración 4-91:</b>	Transmisión y recepción DSB-SC en el Punto 4 . . . . .	195
<b>Ilustración 4-92:</b>	Transmisión y recepción USB en el Punto 4 . . . . .	195
<b>Ilustración 4-93:</b>	Transmisión y recepción LSB en el Punto 4 . . . . .	196
<b>Ilustración 4-94:</b>	Transmisión y recepción WBFM en el Punto 4 . . . . .	196
<b>Ilustración 4-95:</b>	Transmisión y recepción NBFM en el Punto 4 . . . . .	197
<b>Ilustración 4-96:</b>	Espectro en la banda de 50,313 MHz en el Punto 4 . . . . .	197
<b>Ilustración 4-97:</b>	Espectro en la banda de 146 MHz en el Punto 4 . . . . .	198
<b>Ilustración 4-98:</b>	Espectro en la banda de 221 MHz en el Punto 4 . . . . .	198
<b>Ilustración 4-99:</b>	Recepción con LOS en 50,313 MHz . . . . .	200
<b>Ilustración 4-100:</b>	Recepción con LOS en 146 MHz . . . . .	201
<b>Ilustración 4-101:</b>	Recepción con LOS en 221 MHz . . . . .	202

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 2-1:</b>	Onda pasabanda . . . . .	29
<b>Ecuación 2-2:</b>	Envolvente compleja . . . . .	29
<b>Ecuación 2-3:</b>	Señal Modulada en Amplitud . . . . .	30
<b>Ecuación 2-4:</b>	Modulación en Fase y Frecuencia . . . . .	31
<b>Ecuación 2-5:</b>	Fase para modulación PM . . . . .	32
<b>Ecuación 2-6:</b>	Fase para modulación FM . . . . .	32
<b>Ecuación 2-7:</b>	Desviación de frecuencia pico . . . . .	32
<b>Ecuación 2-8:</b>	Ancho de banda de transmisión . . . . .	32
<b>Ecuación 2-9:</b>	Porcentaje de ancho de banda . . . . .	34
<b>Ecuación 2-10:</b>	Directividad . . . . .	34
<b>Ecuación 2-11:</b>	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) . . . . .	36
<b>Ecuación 2-12:</b>	Potencia Radiada Aparente (PRA) . . . . .	36
<b>Ecuación 3-1:</b>	Longitud total del radiante de la antena Delta Loop . . . . .	91
<b>Ecuación 3-2:</b>	Longitud por lado del radiante de la antena Delta Loop . . . . .	91
<b>Ecuación 3-3:</b>	Altura del triangulo equilátero del radiante . . . . .	91
<b>Ecuación 3-4:</b>	Longitud total del reflector de la antena Delta Loop . . . . .	91
<b>Ecuación 3-5:</b>	Longitud por lado del reflector de la antena Delta Loop . . . . .	91
<b>Ecuación 3-6:</b>	Altura del triangulo equilátero del reflector de la antena Delta Loop . . . . .	91
<b>Ecuación 3-7:</b>	Longitud total del director de la antena Delta Loop . . . . .	92
<b>Ecuación 3-8:</b>	Longitud por lado del director de la antena Delta Loop . . . . .	92
<b>Ecuación 3-9:</b>	Altura del triangulo equilátero del director de la antena Delta Loop . . . . .	92
<b>Ecuación 3-10:</b>	Reflector - Radiante . . . . .	92
<b>Ecuación 3-11:</b>	Radiante - Director . . . . .	92
<b>Ecuación 3-12:</b>	Longitud total del radiante de la antena Dipolo . . . . .	99
<b>Ecuación 3-13:</b>	Longitud por lado del radiante de la antena Dipolo . . . . .	99
<b>Ecuación 3-14:</b>	Longitud total del radiante de la antena Cuadra-Cúbica . . . . .	103
<b>Ecuación 3-15:</b>	Longitud por lado del radiante de la antena Cuadra-Cúbica . . . . .	103
<b>Ecuación 3-16:</b>	Longitud por lado del reflector de la antena Cuadra-Cúbica . . . . .	103
<b>Ecuación 3-17:</b>	Reflector - Radiante . . . . .	103
<b>Ecuación 3-18:</b>	Longitud total del radiante de la antena Cuadra-Cúbica . . . . .	104

<b>Ecuación 3-19:</b>	Longitud por lado del radiante de la antena Cuadra-Cúbica . . . . .	104
<b>Ecuación 3-20:</b>	Longitud total del radiante de la antena Cuadra-Cúbica . . . . .	104
<b>Ecuación 3-21:</b>	Longitud por lado del radiante de la antena Cuadra-Cúbica . . . . .	104

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CREACIÓN Y ESTABLECIMIENTO DEL RADIO CLUB FIE-ESPOCH:  
REGLAMENTO DEL CLUB, AVAL ACADÉMICO, DIRECTIVA Y QUÓRUM
- ANEXO B:** SOCIALIZACIÓN EN ARCOTEL PARA LA CONCESIÓN DEL TÍTULO  
HABILITANTE DE RADIOAFICIONADO
- ANEXO C:** ADECUAMIENTO DEL RADIO CLUB FIE-ESPOCH
- ANEXO D:** VISITA DE AUTORIDADES DE ARCOTEL A LAS INSTALACIONES DEL  
RADIO CLUB FIE-ESPOCH: INSPECCIÓN DE FUNCIONAMIENTO
- ANEXO E:** POTENCIA DEL HACKRF ONE
- ANEXO F:** POTENCIA DEL HACKRF ONE CON PREAMPLIFICADOR
- ANEXO G:** INSTALACIÓN Y RESULTADO DE ANTENA DELTA LOOP
- ANEXO H:** CONSTRUCCIÓN Y RESULTADO DE ANTENA DIPOLO
- ANEXO I:** INSTALACIÓN Y RESULTADO DE ANTENA CUADRA-CÚBICA
- ANEXO J:** MEDICIÓN DEL PARÁMETRO S11 PARA LA ANTENA DELTA LOOP a  
28,5 MHz
- ANEXO K:** MEDICIÓN DEL PARÁMETRO S11 PARA LA ANTENA DIPOLO a 28,5 MHz
- ANEXO L:** MEDICIÓN DEL PARÁMETRO S11 PARA LA ANTENA CUADRA-CÚBICA  
EN 50,313 MHz
- ANEXO M:** MEDICIÓN DEL PARÁMETRO S11 PARA LA ANTENA CUADRA-CÚBICA  
EN 146 MHz
- ANEXO N:** MEDICIÓN DEL PARÁMETRO S11 PARA LA ANTENA CUADRA-CÚBICA  
EN 221 MHz
- ANEXO Ñ:** ESTACIÓN DE RADIOAFICIONADOS IMPLEMENTADA
- ANEXO O:** RECEPCIÓN HF EN LOS CERROS CACHA, PUNTO MEDIO Y SAN  
FRANCISCO
- ANEXO P:** RECEPCIÓN VHF EN EL PUNTO 1
- ANEXO Q:** RECEPCIÓN VHF EN LOS PUNTOS 2, 3 y 4
- ANEXO R:** RECEPCIÓN VHF EN LANGOS

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación propuso implementar una estación de radioaficionados en las instalaciones de la carrera de Telecomunicaciones de la ESPOCH, destinadas a operar en las bandas HF y VHF. Inicialmente, se llevó a cabo un análisis de la normativa nacional sobre la concesión de frecuencias en colaboración con la Coordinación Zonal 3 de la ARCOTEL. Se profundizó en el funcionamiento de una estación de radioaficionados y se realizó un estudio técnico. La implementación inició con el desarrollo de un transceptor basado en SDR mediante GNU RADIO. Se diseñó el sistema radiante utilizando un software de simulación para radioaficionados, y se eligieron 3 antenas estratégicas para el funcionamiento del sistema radiante, una Delta Loop y un Dipolo para HF, así como una antena Cuadra-Cúbica para VHF. Se incorporó una etapa de amplificación mediante la integración de módulos para la operación del sistema. Las pruebas de cobertura en HF se realizaron en tres puntos a distancias superiores a 5 km utilizando un sistema móvil, mientras que las pruebas en VHF abarcaron escenarios locales con y sin línea de vista directa. Destacando los logros, se estableció el Club de Radioaficionados, legalmente constituido en la institución, y se gestionó un espacio de trabajo para la estación.

**Palabras Clave:** <ANTENAS>, <RADIOENLACES>, <RADIOAFICIONADOS>, <GNURADIO>, <RADIOMOBILE>, <MMANA-GAL>, <ESPECTRO RADIOELÉCTRICO>, <TRANSCEPTOR SDR>, <TELECOMUNICACIONES>.



28-03-2024

0354-DBRA-UPT-2024

## SUMMARY

The present graduation project aimed to implement an amateur radio station within the Telecommunications department facilities at ESPOCH, intended to operate on HF and VHF bands. Initially, analyzing the national regulations regarding frequency allocation was conducted in collaboration with Zonal Coordination 3 of ARCOTEL. A thorough examination of amateur radio station operations was undertaken, followed by a technical study. Implementation began implementing a Software Defined Radio (SDR)-based transceiver using GNU RADIO. The radiating system was designed using amateur radio simulation software, and three strategic antennas were selected: a Delta Loop and a Dipole for HF, as well as a Quad-Cube antenna for VHF. An amplification stage was incorporated through module integration to enhance system operation. HF coverage tests were conducted at three points over distances exceeding 5 km using a mobile system, while VHF tests covered local scenarios with and without a direct line of sight. Among the achievements, establishing an Amateur Radio Club constituted legally within the institution and providing a workspace for the station was highlighted.

**KEY WORDS:** <ANTENNAS>, <RADIO LINKS>, <AMATEUR RADIO>, <GNU RADIO>, <RADIOMOBILE>, <MMANA-GAL>, <RADIO SPECTRUM>, <SDR TRANSCEIVER>, <TELECOMMUNICATIONS>.



Lic. Maritza Larrea Mg.

0603370784

## **INTRODUCCIÓN**

Los avances tecnológicos en los sistemas de comunicaciones convencionales, como la telefonía móvil, la radio y la internet, han marcado eventos significativos en el mundo tecnológico. Además, los sistemas de radioaficionados, a pesar de haber perdido relevancia con el tiempo, juegan un papel crucial en situaciones de emergencia cuando los sistemas convencionales colapsan. A lo largo de la historia, se puede evidenciar la importante actividad de los radioaficionados en todo el mundo. En Ecuador, clubes de radioaficionados, como el Radio Club Guayaquil, siguen siendo representativos del país.

El presente trabajo de titulación se propone reactivar los sistemas de comunicación por radio mediante la implementación de una estación de radioaficionados en la carrera de Telecomunicaciones de la ESPOCH, sin perder de vista los avances tecnológicos. La elección de Software Defined Radio (SDR) como herramienta principal destaca la adaptación a las últimas tecnologías.

Al analizar la normativa del espectro radioeléctrico y explorar las posibilidades de las bandas HF y VHF, este proyecto busca no solo impulsar un logro técnico y operativo en el ámbito de las telecomunicaciones, sino también fortalecer la presencia de la radioafición en la ESPOCH. A medida que se avanza en los detalles de este proyecto, queda claro cómo la convergencia de conocimientos teóricos y prácticos pueden traducirse en soluciones tangibles y beneficiosas para la comunidad académica y la sociedad en general.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

La radioafición se remonta a finales del siglo XIX, fue el italiano Guillermo Marconi quien logra la primera transmisión de radio en mar abierto, abarcando una distancia de alrededor de 6 kilómetros y comunicando el mensaje “Estás preparado”, desde el canal de Bristol (Inglaterra) a Penarth (Gales) el 14 de mayo de 1897. Mas tarde, en 1909 recibiría el Premio Nobel de Física que compartió con el físico alemán Karl Ferdinand Braun, por las contribuciones al desarrollo de la telegrafía sin hilos (Sadurní, 2023, pág. 1). Luego, a inicios del siglo XX, Marconi fundó su empresa la cual contribuyó más tarde en los rescates marítimos del Titanic el 15 de abril de 1912 y el del Lusitania el 7 de mayo de 1915.

Los radioaficionados han venido siendo imprescindibles en el establecimiento de las comunicaciones de emergencia ante desastres naturales como riadas, terremotos, incendios, tormentas, huracanes, explosiones, descarrilamientos y accidentes aéreos. El primer gran desastre en el que los radioaficionados prestaron un significativo servicio de comunicaciones de emergencia, fue la gran tormenta de granizo que asoló las partes de occidental y septentrional del estado de Nueva York en diciembre de 1929 (Laster, 1984, pág. 11). La tormenta derribó el suministro eléctrico y las líneas telefónicas provocando aislamiento a muchas poblaciones de la zona afectada.

Otro de los mayores desastres ocurrió en Estados Unidos en el que los radioaficionados prestaron sus servicios, fue el huracán Carla en Tejas (Septiembre de 1961) y la riada de Dakota del Sur (junio 1972) (Laster, 1984, pág. 12). Otra de las contribuciones fue en Estados Unidos, en la primera guerra mundial cerca de 4000 radioaficionados sirvieron a las fuerzas armadas. De nuevo en la segunda guerra mundial, más de 24000 radioaficionados prestaron sus servicios al ejército, las fuerzas aéreas y marina aportando su talento y habilidad en las comunicaciones para el beneficio de la guerra (Laster, 1984, pág. 13). Vale la pena destacar que casi todas las comunidades los radioaficionados se han visto organizados para proporcionar comunicaciones de emergencia al público en general cuando surge la necesidad. Décadas después, en 1980 un terremoto azotó Italia. La actuación de radioaficionados norteamericanos e italianos con sus transmisiones ayudaron a comunicar información del desastre y de los afectados.

Para los radioaficionados no existe alguna limitación con respecto a distancia, el 31 de marzo de 1983 en Popayán-Colombia, se registró un terremoto con una magnitud de 6,5 MW (Magnitud de momento sísmico) con 250 muertos y 1500 heridos, 4964 construcciones destruidas y 13796 viviendas con daños muy graves. Una vez más los radioaficionados jugaron un papel muy importante en este desastre informando a la defensa civil y otros canales de comunicación para pedir ayuda necesaria en este lugar (Sánchez, 2018, pág. 74). Dos años después en septiembre de 1985 se presentó un fuerte Terremoto que azotó la ciudad de México, destruyendo así los principales medios de comunicación especialmente en las zonas rurales, la radioafición fue la única vía por la que las noticias del desastre pudieron llegar al resto del mundo (Rinaldo, 1995, pág. 4). En ese mismo año erupcionó el volcán nevado Ruiz en Armero-Colombia, departamento de Tolima en donde fallecieron aproximadamente 23000 personas afectando zonas como Armero, Honda y Marquita, en medio de la tragedia el mayor soporte en telecomunicaciones con que contó el alcalde, fueron las acciones espontáneas de radioaficionados en Armero y Bogotá, y gran parte de la información que se manejó en la zona del desastre, se debió a un reporte acertado aunque insuficiente (Sánchez, 2018, pág. 73).

Dirigiéndose al siglo XXI, El terremoto ocurrido en Nepal en el año 2015, fue una situación de emergencia para el país que ocasionó la pérdida de vida de personas y de la comunicación con los lugares afectados por la destrucción de los sistemas de telecomunicación convencionales, es aquí donde los radioaficionados del territorio ayudaron en gran medida al manejo de esta crisis, brindando la comunicación durante esfuerzos de rescate y recuperación, además de proveer de un apoyo técnico que permitió establecer sistemas de comunicación temporales en las áreas más afectadas facilitando la respuesta frente al desastre natural (BHIDE, 2015).

Un año después de los acontecimientos en Nepal, otro terremoto sacudió varias regiones a lo largo de la costa ecuatoriana. Este evento tuvo lugar el sábado 16 de abril de 2016, a las 18:58 horas. Dos minutos después, a las 19:00 horas, los miembros del Quito Radio Club establecieron los primeros contactos con radioaficionados de Portoviejo, Guayaquil y Manta, permitiéndoles obtener una comprensión real de la magnitud del desastre natural. A partir de ese momento, este club sin fines de lucro con sede en la capital tomó la decisión de involucrarse activamente en las labores de comunicación de emergencia. Un radioaficionado de Guayaquil se ofreció a viajar a Portoviejo para servir como enlace con el Quito Radio Club. Durante la noche del sábado y hasta las 15:30 del jueves 21 de abril de 2016, los miembros de esta organización recibieron un total de 130 mensajes procedentes de la zona afectada. El objetivo primordial de esta iniciativa fue facilitar la comunicación entre las personas atrapadas en la zona cero, los damnificados y los equipos de rescate con sus familias (Quillupangui, 2016, pág. 1). Además, la noticia llegó a territorios españoles donde

Javier Fernández Prieto “EA1GTR”, un radioaficionado español se contactó con colegas de las zonas de la tragedia, brindando un enlace de comunicación entre los ecuatorianos y los españoles, en donde se informó a familiares con residencia en España sobre posibles víctimas o supervivientes.

Y finalmente, 2 años después del suceso en Ecuador, otro terremoto ocurrió en Indonesia el 28 de septiembre de 2018, provocando un tsunami que causó la muerte de muchas personas e indisponibilidad en la comunicación en los lugares afectados. La rápida actuación de los radioaficionados como respuesta a este desastre fue de gran ayuda, brindando la mayor cobertura en comunicación para agilizar el rescate, respuesta y accionar del personal salvavidas (IARU, 2018). Y así, muchas situaciones de emergencia se presentan a lo largo de la historia, por lo tanto, los radioaficionados quienes gracias a su aporte con eficacia y autonomía en la comunicación ante estas circunstancias extremas de emergencia demuestran más solvencia que los otros sistemas de comunicación, convirtiéndose en uno de los principales medios de transmisión.

Al igual que se ha visto un avance tecnológico en las telecomunicaciones actuales, se presentan innovaciones tecnológicas en el área de los radioaficionados, por ejemplo, en el artículo científico de (Chua, 2019, pág. 1), cuyo objetivo principal fue el diseño e implementación de una unidad de radioaficionado de bajo coste para satélites cúbicos. La radioafición es accesible a la población en situaciones de emergencia, por lo general, el costo de implementación es bajo. Para el diseño de la unidad se utilizó módulos de bajo costo como un Raspberry Pi, con dicho diseño se concluye que es posible disminuir aún más el costo de la implementación de una estación de radioaficionados. Dos años después, (Espín, 2018, pág. 9) en su tesis desarrollaron el diseño e implementación de antenas de transmisión, recepción y radioenlace de una estación de radioaficionado. Para el diseño se utilizó un arreglo de cuatro dipolos para repetidora fijas, antenas landstorfer con un dipolo doblado simple para la respectiva estación móvil con la utilización de antenas de estación fija y móvil, a nivel de cobertura con el arreglo respectivo se obtienen valores aceptables mediante simulaciones y como evidencia práctica se realizaron varias mediciones de campo en el cual se comprobó los niveles de potencia en el receptor correspondiente obteniéndose así una buena coincidencia con la simulación realizada.

Otro de los avances fue desarrollado por (Mehmet, 2022, pág. 1), en su artículo se realizó un amplificador de potencia RF para aplicaciones de radioaficionados, se utilizó un circuito amplificador de potencia dentro del bloque de ganancia de RF en la banda de 433 MHz con una ganancia superior a 16dB y un LPF con ancho de banda de 100 MHz, este diseño se utiliza para aplicaciones satélites de

aficionados a una latitud de 600Km y dispositivos de comunicación por radio, adicionalmente puede

ser aplicable en países como Portugal y Noruega, en donde se implementa la tecnología 5G en esa banda de frecuencia.

## **1.2 Planteamiento del problema**

¿Cómo implementar una estación de radioaficionados en las instalaciones de la carrera de Telecomunicaciones de la ESPOCH en la banda HF y VHF?

## **1.3 Justificación**

### ***1.3.1 Justificación teórica***

El desarrollo de la radioafición en Latinoamérica no ha sido tan notable como lo es en Norteamérica y Europa, sin embargo, existen personas que brindan el servicio de radioaficionados en el continente manteniendo viva esta pasión por la radiotecnia y por su utilidad en el ámbito investigativo y en situaciones de emergencia. A lo largo de la historia se puede evidenciar que su servicio ha sido vital como una comunicación alternativa, por esta razón la iniciativa de implementación de una estación de radioaficionados en la ESPOCH enriquecerá la educación de los estudiantes interesados en la radioafición y radiotecnia en donde desarrollarán habilidades prácticas.

El apoyo y el permiso de las autoridades de la institución será un factor muy importante que harán factible la implementación de la estación de radioaficionados en la ESPOCH. Rigiéndose a las normativas técnicas dictadas por la Agencia Regulacion y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), el servicio de radioaficionados tiene por objeto la instrucción individual, la intercomunicación y los estudios técnicos, efectuados por aficionados, esto es, por personas debidamente autorizadas que se interesan en la radiotecnia con carácter exclusivamente personal y sin fines de lucro. Así mismo se permitirá la explotación de las bandas HF y VHF orientadas a la radioafición, la estación estará en capacidad de operar en los rangos de 28 a 29 MHz para HF y de 50 a 54 MHz, 146 a 148 MHz y 220 a 222 MHz para VHF.

De acuerdo con el reglamento de derecho por concesión y tarifas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico los radioaficionados pagarán una sola tarifa por el título habilitante y el uso de las bandas designadas, de esta manera el costo económico para el uso del servicio de radioaficionados no sería una limitante para la implementación de la estación de radioaficionados en la ESPOCH.

En la ciudad de Riobamba, el uso del servicio de Radioaficionados es poco explotado, por lo tanto,

la creación de un club de radioaficionados en las instalaciones de la ESPOCH impulsará el ámbito educativo fomentando la investigación, experimentación y aplicación para todos aquellos estudiantes de la Facultad de Informática y Electrónica interesados en la radioafición y radiotecnica.

Uno de los beneficios colaterales que puede provocar la implementación de este proyecto es que en un futuro se pueda realizar innovaciones, la cual permitirá establecer convenios con organizaciones que brindan servicios de seguridad y ayuda humanitaria como la Policía Nacional, el cuerpo de Bomberos y la cruz Roja.

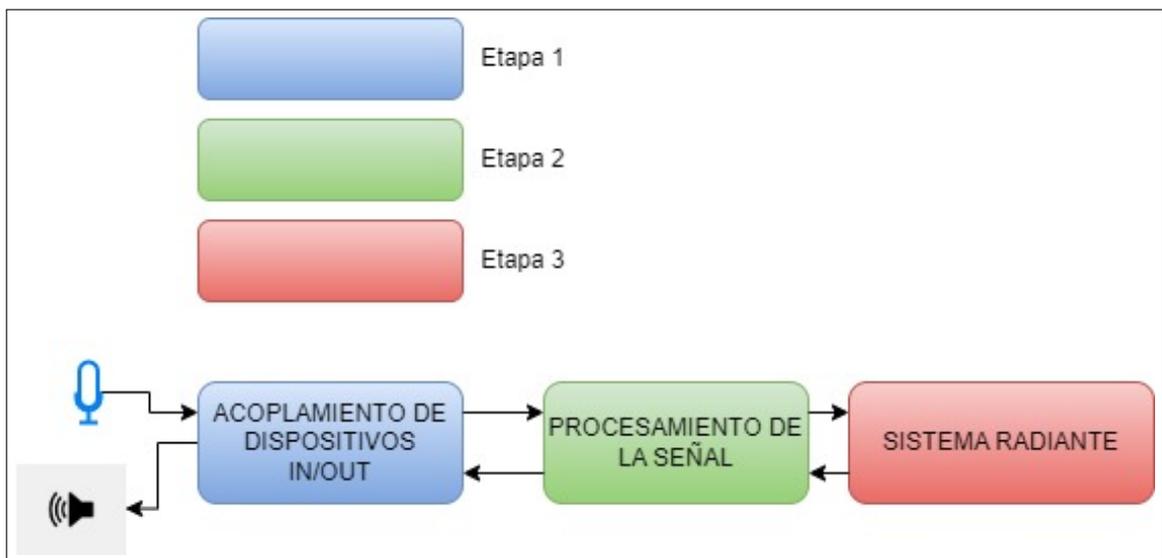
### ***1.3.2 Justificación aplicativa***

Se realizará un análisis exhaustivo para determinar las posibilidades de representación del servicio de radioaficionados, a partir de reuniones con las autoridades de la institución. El propósito será identificar el responsable de dirigir el servicio, la cual podría involucrar a entidades como la institución, la facultad o personas naturales relacionadas con este proyecto de titulación. Una vez identificado el responsable, se realizará un proceso definido por la ARCOTEL mediante un análisis de la normativa para la operación del servicio de radioaficionados, dicho proceso consta de: una solicitud dirigida a la dirección ejecutiva, posteriormente se presentará un formato técnico (F0-DRE-09), el cual consta de todos los datos personales del solicitante, características de las estaciones, especificaciones de equipos y antenas a utilizarse, así como un esquema general del sistema. Adicionalmente, el peticionario deberá tener conocimientos especializados en la operación de equipos de radiocomunicaciones motivo por el cual se rendirá un examen de aprobación a la obtención del título habilitante y finalmente se presentará una declaración de responsables.

Se analizará el estado del arte de cada una de las etapas de funcionamiento, mediante la recolección de información de trabajos ya elaborados como libros, artículos, revistas y radio clubs. Bajo fundamentos teóricos se realizará un estudio técnico para la operación del servicio de radioaficionados y se desarrollará en un software, que permite diseñar redes de Telecomunicaciones compuestas por estaciones de radio. En el estudio técnico se considerará dispositivos como: antenas, equipo transceptor, micrófono, bocina, cableado, conectores, ubicación de la estación, etc. En la simulación se considerará parámetros de operación para el sistema de comunicaciones como: potencia, frecuencia, ancho de banda, ganancia, diagrama de radiación de la antena, pérdidas, sensibilidad del receptor, relación señal-ruido (SNR), polarización, conductividad y permitividad del suelo, etc. Estos parámetros deberán coincidir con las características del entorno y de los equipos que se utilizará para la implementación el sistema, además se evidenciará el alcance que tendrá la

transmisión en las bandas High Frequency (HF) y Very High Frequency (VHF) mediante la mancha de radiación. Para la banda HF se utilizará el modo de propagación por onda de superficie, y para la banda VHF propagación por onda troposférica, cumpliendo con los parámetros adecuados de la normativa vigente dictada por la ARCOTEL.

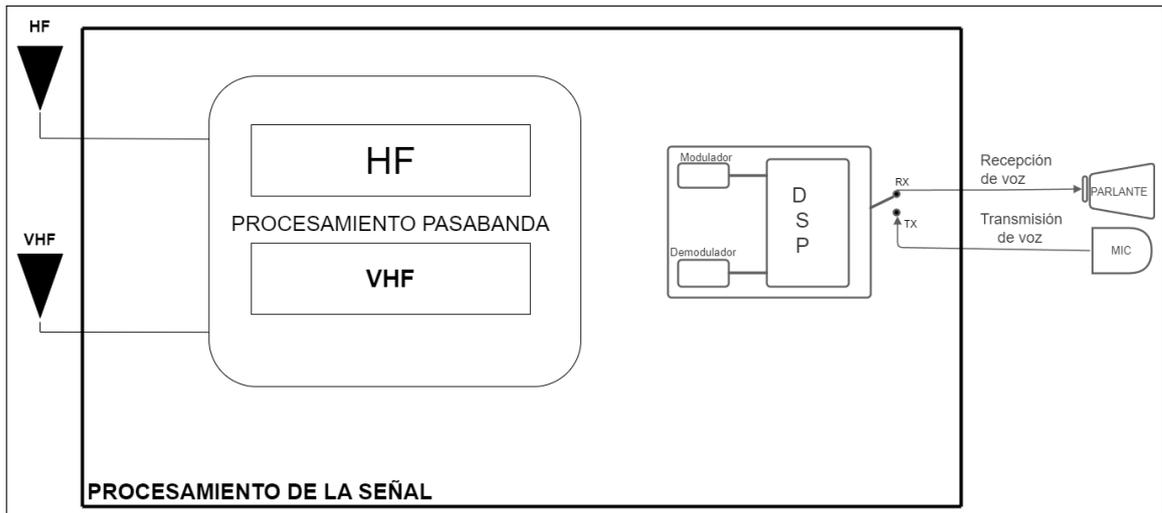
Para el desarrollo del sistema transceptor, se establecerá que el servicio de radioaficionados tendrá una Explotación Semi-Dúplex, lo cual implica que la comunicación será bidireccional pero no simultánea, para ello el sistema constará de 3 etapas que se puede observar en la Ilustración 1-1. En la etapa 1, se tendrá el micrófono y la bocina que permitirá el ingreso y la salida de la información respectivamente. En la etapa 2, se realizará el procesamiento de la señal la cual permitirá que esta sea transmitida en las condiciones adecuadas. Finalmente, en la etapa 3, se tendrá el sistema radiante el cual constará de dispositivos como amplificadores, conmutadores y otros elementos que permitirán el correcto funcionamiento del sistema radiante en la banda HF y VHF en los canales designados para el servicio de radioaficionados.



**Ilustración 1-1:** Diagrama general del sistema

Realizado por: Cofre K., 2024.

El diseño del transceptor dependerá de la banda de operación, las funciones de transmisión y recepción en HF y VHF dependerán del sistema SDR. En la Ilustración 1-2, se detalla la Etapa 2 presentada en la Ilustración 1-1.



**Ilustración 1-2:** Diagrama general del transceptor HF/VHF

Realizado por: Cofre K., 2024.

Se realizarán las gestiones correspondientes para el otorgamiento de los permisos para la utilización de un espacio estratégico en donde se podrá implementar la estación de radioaficionados. En la Ilustración 1-3 se observa el espacio que se utilizará para el funcionamiento de la estación ubicado en el Modular de Electrónica de la FIE aproximadamente a una latitud de  $-1,655424^\circ$  y longitud de  $-78,677582^\circ$  con una altura de 2820 m.s.n.m en la cual la estación de control se establecerá en el segundo piso junto al laboratorio de comunicaciones y el sistema radiante en la loza del edificio.



**Ilustración 1-3:** Ubicación de la Estación

Realizado por: Cofre K., 2024.

Para el cumplimiento de las características operativas se realizará un análisis teórico del reglamento, el cual menciona que el radioaficionado notificará a ARCOTEL la fecha en que las instalaciones estén aptas para operar, con el fin de que se realicen las inspecciones adecuadas. EL radioaficionado no deberá causar interferencias a otras estaciones de este servicio o de otros servicios de telecomunicaciones. Las potencias máximas de operación dependerán de la categoría a la cual pertenezca el título habilitante, y entre otras características que el grupo del club de radioaficionados deberán seguir acatando.

Para comprobar el funcionamiento de la estación de radioaficionados se realizará una comunicación regional con “Guayaquil Radio Club” o con un sistema de radiocomunicación es fijo móvil en la banda HF, y para la banda VHF se realizarán pruebas dentro de la ciudad de Riobamba a través del uso de un dispositivo de recepción portátil.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo General***

Implementar una estación de radioaficionados en las instalaciones de la carrera de Telecomunicaciones de la ESPOCH en la banda HF y VHF.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

- Analizar la normativa vigente en el país para la concesión de frecuencias del espectro radioeléctrico y el estado del arte de las etapas de funcionamiento, así como el estudio técnico para la operación del servicio de radioaficionados.
- Diseño e implementación del sistema transceptor para la banda de 28 a 29 MHz para HF y de 50 a 54 MHz, 146 a 148 MHz y 220 a 222 MHz para VHF.
- Diseño del sistema radiante y la etapa de amplificación para las bandas designadas.
- Adecuar el lugar donde se establecerá la estación del servicio de radioaficionados en la ESPOCH.
- Comprobar el funcionamiento de la estación de radioaficionados a través del establecimiento de una comunicación con un sistema de radioaficionados local y regional o con un sistema de radiocomunicaciones fijo móvil.

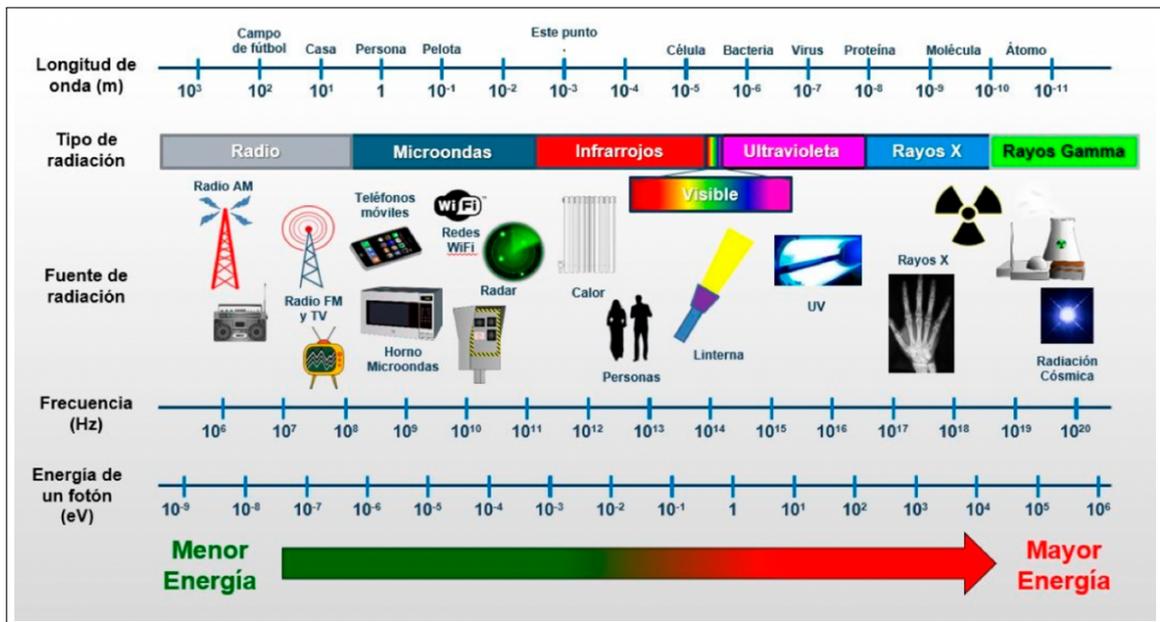
## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Espectro electromagnético y radioeléctrico

##### 2.1.1 Espectro electromagnético

La emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas que se aleja de una fuente se conoce como radiación electromagnética. Esta radiación puede originarse tanto de manera natural como artificial. El espectro electromagnético representa la totalidad de las frecuencias posibles en las cuales puede manifestarse esta radiación electromagnética (Ordoñez, 2012, pág. 18).



**Ilustración 2-1:** Espectro electromagnético

Fuente: RUIZ, 2023

En la Ilustración 2-1 se observa la clasificación del espectro electromagnético. La cual inicia en ondas radioeléctricas y termina en Radiación cósmica.

##### 2.1.2 Espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es una parte específica o segmento del espectro electromagnético, que se destaca debido a su idoneidad para las comunicaciones por radio, es decir, para la transmisión de información a través de medios no físicamente guiados. Esta selección se basa en dos influencias clave: las propiedades de propagación de las ondas electromagnéticas a diversas frecuencias y los

avances tecnológicos desarrollados por la humanidad (Ordoñez, 2012, pág. 20).

### 2.1.2.1 División del espectro radioeléctrico

Las personas están familiarizadas con la forma en que los dispositivos de radio sintonizan diversas “bandas de frecuencia” que comúnmente se conocen como Onda Media, Onda Corta, Modulación en Frecuencia (FM) VHF, y similares. Estas bandas representan subdivisiones del espectro radioeléctrico que se han establecido convencionalmente para asignar diferentes servicios de telecomunicaciones. Cada una de estas rangos de frecuencia presenta características distintivas que influyen en las posibilidades de recepción, incluyendo la calidad y el alcance, entre otros aspectos (Kustra, 2008). La división general se observa en la Tabla 2-1.

**Tabla 2-1:** División del espectro radioeléctrico

<b>DISTRIBUCIÓN CONVENCIONAL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO</b>					
Sigla	Denominación	Longitud de onda	Gama de frecuencia	Características	Uso típico
VLF	VERY LOW FRECUENCIAS Frecuencias muy bajas	30.000 m a 10.000 m	10 KHz a 30 KHz	Propagación por onda de tierra, atenuación débil. Características estables	ENLACES DE RADIO A GRAN DISTANCIA
LF	LOW FRECUENCIAS Frecuencias bajas	10.000 m a 1.000 m	30 KHz a 300 KHz	Similar a la anterior, pero de características menos estables	Enlaces de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima
MF	MEDIUM FRECUENCIAS Frecuencias medias	1.000 m a 100 m	300 KHz a 3 MHz	Similar a la precedente, pero con una absorción elevada durante el día. Propagación prevalentemente Ionosférica durante la noche	RADIODIFUSIÓN

HF	HIGH FRECUENCIAS	100 m a 10 m	3 MHz a 30 MHz	Propagación ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y de la noche	COMUNICACIONES DE TODO TIPO A MEDIA Y LARGA DISTANCIA
VHF	VERY HIGH FRECUENCIAS	10 m a 1 m	30 MHz a 300 MHz	Propagación directa, esporádicamente propagación ionosférica o troposférica	Enlaces de radio a distancia corta, TELEVISIÓN, FRECUENCIA MODULADA
UHF	ULTRA HIGH FRECUENCIAS	1 m a 10 cm	300 MHz a 3 GHz	Exclusivamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales	Enlaces de radio, RADAR, Ayuda a la navegación aérea, TELEVISIÓN
SHF	SUPER HIGH FRECUENCIAS	10 cm a 1 cm	3 GHz a 30 GHz	Similar a la banda anterior	Radar, Enlaces de radio
EHF	EXTRA-HIGH FRECUENCIAS	1 cm a 1 mm	30 GHz a 300 GHz	Similar a la banda anterior	Similar a la banda anterior
EHF	EXTRA-HIGH FRECUENCIAS	1 mm a 0,1 mm	300 GHz a 3000 GHz	Similar a la banda anterior	Similar a la banda anterior

Fuente: Kustra, 2008

## **2.2 Sistemas radioeléctricos**

### **2.2.1 Parámetros y características**

#### **2.2.1.1 Parámetros de emisión**

Según (Rabanos, 2008, págs. 32-33), describe mediante 6 conceptos la emisión de señales radioeléctricas, las cuales se definen como:

- Clase de emisión: Modulación utilizada, naturaleza de la señal, información que se transmite.
- Anchura de banda necesaria y ocupada: Ancho de banda necesario para mantener calidad y fidelidad en la señal.
- Tolerancia de frecuencia de una emisión: Máxima desviación admisible entre la frecuencia asignada y la situada en el centro.
- Emisión no deseada: clasificadas en no esenciales y fuera de banda.
- Potencia: PEP, Ps, Pc, PIRE, PRA
- Polarización de una Onda: polarización horizontal, vertical, oblicua y circular

La propagación de ondas radioeléctricas se ve afectada por varios fenómenos físicos, como la reflexión, refracción, difracción, dispersión y absorción, y su influencia varía según el tipo de terreno, las condiciones atmosféricas, la frecuencia y la polarización de la onda. Estos factores determinan cómo se transmiten las ondas a través del medio de comunicación (Rabanos, 2008, pág. 38).

### 2.2.1.2 Modos de propagación para rangos de frecuencia

**Tabla 2-2:** Modos de propagación

Propagación por onda de	Descripción
Superficie	Para frecuencias inferiores a 30 MHz, largos alcances, en donde las características del suelo influyen para su propagación.
Ionosférica	Rango comprendido entre 3 y 30 MHz, producidas por reflexión en la ionosfera.
Espacial	Frecuencias superiores a 30 MHz comprendidas por: Onda directa, reflejada y multitrayecto
Dispersión troposférica	Reflexiones por las variaciones de las constantes físicas de la troposfera. Sujetas a pérdidas y a desvanecimientos en cuanto a la señal.

Fuente: (Rabanos, 2008, pág. 24)

De acuerdo con (Ordoñez, 2012, pág. 19), una onda electromagnética puede tener distintos modos de propagación dependiendo de las características eléctricas del terreno, la frecuencia y la atmósfera, estos modos se observan en la Tabla 2-2.

#### 2.2.1.3 Propagación de señales de RF por onda superficial para HF

Las señales de RF que viajan a corta distancia, aproximadamente menor a 100 km y en la banda de HF, comúnmente su propagación es por la Onda Superficial (Rabanos, 2008, pág. 39).

Según (Couch, 2008, pág. 13), la propagación por onda superficial predomina a frecuencias menos a 2 MHz, es decir, en la banda de MF. Este modo es más utilizado cuando se requiere transmitir una señal por modulación AM, debido a que la cobertura local se dirige tal cual el contorno terrestre y la señal viaja sobre el horizonte visual.

#### 2.2.1.4 Propagación de señales de RF por onda ionosférica para HF

La propagación de señales de radio frecuencia a grandes distancias se ve directamente comprometida con la ionización, siempre y cuando la señal que se envía este operando en la banda media MF y alta frecuencia HF.

Según (Couch, 2008, pág. 12), explica que la ionización se debe a factores como: radiación solar y de rayos cósmicos, es decir, que la ionización esta estrechamente relacionada con la hora del día, temporada del año y la actividad solar durante el día. Además, menciona que las regiones ionizadas mas comunes son las capas D, E,  $F_1$  y  $F_2$  y describe cada una ellas.

1. **La capa D de la ionosfera:** que se encuentra más próxima a la superficie terrestre a una distancia aproximada de 72,4205 o 88,5139 km, desencadena la reflexión de las ondas de RF. Esta capa demuestra su mayor actividad durante las horas matutinas y alcanza su máxima ionización cuando el sol está en su punto más alto, lo que conlleva a una radiación máxima sobre la tierra. Sin embargo, su presencia tiende a disminuir significativamente durante las noches.
2. **La capa E de la ionosfera:** tiene una distancia aproximada a la superficie terrestre de 104,607 o 120,701 km, su reflexión máxima es al medio día y desaparece totalmente por la noche.
3. **La capa F de la ionosfera:** tiende a variar en cuanto a su distancia con la superficie terrestre, aproximadamente de 144,841 a 402,336 km y se ioniza con mayor facilidad al amanecer pero alcanza el pico máximo al empezar la tarde y va en decadencia después del atardecer. Esta capa, tiende a dividirse en 2 subcapas durante el día, estas son:  $F_1$  y  $F_2$ , las mismas que se unen para formar una sola capa en la noche,

#### *2.2.1.5 Propagación de señales de RF por onda directa para VHF*

Una señal viaja por la onda directa, cuando la banda de operación es VHF o UHF y definitivamente tiene que existir LOS o línea de vista entre dos estaciones terrestres. Según (Couch, 2008, pág. 16), el modo de propagación LOS presenta una desventaja y es que para que su transición y recepción sea efectiva, durante el trayecto que viaja la señal no debe presentarse ningún obstáculo y que las antenas deberán tener o estar a una gran altura desde el suelo.

#### **2.2.2 Radiocomunicación**

La radiocomunicación se refiere a la transmisión de información mediante ondas radioeléctricas. Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), las ondas radioeléctricas son ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin la necesidad de una guía artificial, y se establece convencionalmente un límite superior de frecuencia en 3.000 GHz. Cuando la radiocomunicación

utiliza dispositivos ubicados en el espacio, se conoce como radiocomunicación espacial, mientras que cualquier otro tipo de radiocomunicación, excluyendo la radioastronomía, se clasifica como radiocomunicación terrestre (Rabanos, 2008, pág. 21).

La radiocomunicación implica transmitir información utilizando ondas electromagnéticas, llamadas portadoras, mediante un proceso llamado modulación creando una onda modulada con un conjunto de frecuencias alrededor de la portadora, que se envía a través de una antena al medio de propagación, los componentes de transmisión, recepción y antenas son cruciales, pero el medio de transmisión puede causar pérdidas y diversas perturbaciones, como distorsión, ruido e interferencias (Rabanos, 2008, págs. 21-22).

### ***2.2.3 Estaciones radioeléctricas***

Una estación radioeléctrica se refiere a un conjunto que puede incluir uno o varios transmisores, receptores o una combinación de ambos, junto con las instalaciones adicionales necesarias, que son esenciales para proporcionar servicios de radiocomunicación en una ubicación específica (Rabanos, 2008, pág. 25). Se clasifican en: Estación terrenal, terrena, espacial, fija y móvil.

#### ***2.2.3.1 Modos de explotación***

Según (Rabanos, 2008, pág. 26), se distinguen tres modos de explotación:

- Simplex: transmite la señal en un solo sentido.
- Dúplex: transmite la señal en dos sentidos.
- Semi dúplex: se comporta en ciertos enlaces como simplex y en otros como dúplex.

#### ***2.2.3.2 Servicios***

Según (Rabanos, 2008, págs. 23-25), clasifica los servicios de radiocomunicaciones en tres clases amplias las cuales se observan en la Tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Clasificación de los servicios de radiocomunicaciones

<b>Servicios</b>	<b>Servicio por sus aplicaciones</b>	<b>Modalidad terrenal/satelital</b>
Fijo	Radio (Navegación/Localización)	Móvil Terrestre
Móvil	Exploración de la tierra por satélite	Móvil Marítimo
Radiodifusión	Radioastronomía e investigación espacial	Móvil aeronáutico
	Frecuencias patrón y señales horarias	
	<i>Aficionados</i>	

Fuente: (Rabanos, 2008, pág. 24)

## **2.3 Servicio de radioaficionados**

Los radioaficionados representan un servicio de radiocomunicación destinado a la educación individual, la comunicación entre aficionados y la realización de investigaciones técnicas. Este servicio está reservado para personas debidamente autorizadas que tienen un interés genuino en la radio tecnología y lo persiguen exclusivamente en un ámbito personal, sin buscar beneficios económicos (ARCOTEL, 2008).

### **2.3.1 Historia de la radioafición**

Todo comenzó con una serie de experimentos que se realizaron en las proximidades de Burdeo, Francia, alrededor del año 1894. El primer intento de comunicación por radio se produjo en 1898 entre la Torre Eiffel y el Panteón en París. En 1899, el científico e inventor Guillermo Marconi logró transmitir un mensaje por radio a través del Canal de la Mancha (Rinaldo, 1995, pág. 3). El logro más destacado ocurrió en 1901, cuando, junto a sus colaboradores británicos, logró enviar señales de radio a través del Océano Atlántico, conectando las localidades de Poldhu en Inglaterra y Halifax en Terranova. Esta hazaña marcó el inicio de la comunicación de larga distancia y tuvo un profundo impacto en la vida de personas de todo el mundo (Laster, 1984, pág. 3)

En 1914, Marconi logró construir una estación junto con sus respectivas antenas para realizar transmisiones diarias a través del océano Atlántico. Con el tiempo, los radioaficionados de diferentes países se volvieron más numerosos y capacitados, empezando a construir y operar sus propios transmisores. Durante la Primera Guerra Mundial, estos radioaficionados desempeñaron un papel significativo en la comunicación militar al utilizar sus habilidades y equipos para proporcionar información a las fuerzas armadas y enviar mensajes a sus hogares. Después de la Primera Guerra Mundial, el número de estaciones comerciales de radiodifusión comenzó a crecer de manera

considerable. Esto generó una gran confusión en el espectro de ondas de radio. Para poner un poco de orden en el caos generado, las administraciones de diferentes naciones acordaron asignar bandas de frecuencia específicas para usos particulares. De esta forma, los radioaficionados también obtuvieron sus propias bandas de frecuencia designadas (Rinaldo, 1995, pág. 4).

Bajo la legislación norteamericana como base, en 1925 se fundó la Unión Internacional de Radioaficionados (IARU) en París, cuya función es representar a los radioaficionados de todo el mundo. A partir de 1927, Unión internacional de las telecomunicaciones (UIT) reconoció a la IARU como la representante internacional de este grupo, y en la actualidad, cuenta con la afiliación de 159 organizaciones nacionales de radioaficionados. Debido a la gran importancia que el servicio de radioaficionados tiene a nivel global, se ha convertido en un Miembro Activo del Sector de Radiocomunicaciones ITU-R. Su función principal en este ámbito es contribuir a la gestión eficiente, justa y económica del espectro radioeléctrico. Además, la ITU-D, el Sector de Desarrollo de la ITU, cuya responsabilidad es promover la cooperación internacional y la solidaridad en la prestación de asistencia técnica, así como facilitar la creación, desarrollo y mejora de redes y equipos de telecomunicaciones y tecnologías de la información y la comunicación en países en desarrollo (Baldeón, 2016, pág. 16).

Después del surgimiento de la afición por la radio, Ecuador dio sus primeros pasos en este ámbito en 1923, cuando en la ciudad de Guayaquil se estableció el primer club de radioaficionados, conocido como "Guayaquil Radio Club". Más adelante, en 1931, se fundó otra organización en la ciudad de Quito bajo el nombre de "Asociación Radio Ecuatoriana", que hoy en día es reconocida como Quito Radio Club (Espín, 2018, pág. 6).

A pesar de los avances tecnológicos en la comunicación inalámbrica, la radioafición sigue siendo una forma fascinante y emocionante de comunicarse y conectarse con otras personas y comunidades en todo el mundo. Hoy en día, la radioafición sigue siendo un pasatiempo popular en todo el mundo, con millones de personas participando en la comunicación inalámbrica, la investigación y la exploración. Los radioaficionados han utilizado sus habilidades y equipos para ayudar en desastres naturales, proporcionar servicios de emergencia y apoyo en eventos de gran envergadura, y han hecho importantes contribuciones en la ciencia y la tecnología.

### **2.3.2 Regulación y normativas**

La radioafición es considerada a nivel internacional como un servicio de radio reconocido y técnicamente se define como un servicio de radiocomunicación que tiene por objeto la instrucción individual, la comunicación mutua y la investigación técnica llevadas a cabo por entusiastas, es decir, individuos debidamente autorizados que tienen un interés personal en la radio tecnología y no buscan beneficios económicos (UIT-D, 2001). Existen regulaciones nacionales e internacionales que rigen el uso del espectro radioeléctrico para la radioafición, con el objetivo de asegurar un uso eficiente y equitativo del espectro y prevenir interferencias entre diferentes usuarios.

A nivel global, el Sector de Radiocomunicaciones de UIT desempeña un papel esencial en la administración de recursos naturales finitos, como el espectro de frecuencias radioeléctricas y las órbitas satelitales. Estos recursos están experimentando una creciente demanda en una variedad cada vez mayor de servicios, abarcando desde comunicaciones fijas y móviles hasta radiodifusión, radioaficionados, investigación espacial, telecomunicaciones de emergencia, pronóstico meteorológico, sistemas de posicionamiento global, monitoreo ambiental y servicios de comunicación esenciales para garantizar la seguridad en tierra, mar y aire (UIT-D, 2018).

La misión primordial de la UIT es promover el uso sensato, equitativo, eficiente y económicamente viable del espectro de radiofrecuencias por parte de todos los servicios de radiocomunicaciones, incluyendo aquellos que operan en órbitas satelitales. Para lograr este objetivo, se dedica a la realización de investigaciones y a la formulación de recomendaciones en el ámbito de las radiocomunicaciones. En última instancia, busca establecer las condiciones propicias para el desarrollo coordinado y la operación eficaz de sistemas de radiocomunicaciones tanto existentes como emergentes, prestando una atención adecuada a todas las partes interesadas involucradas en este campo (UIT-D, 2018). A demás se encargan de asignar bandas de frecuencias específicas para el uso de la radioafición y establece normas y procedimientos para su uso.

De acuerdo con el artículo 25.1 de la Sección I para el servicio de radioaficionados “Se permitirán las radiocomunicaciones entre estaciones de aficionado de países distintos”. Para su cumplimiento el artículo 25.5 de la misma sección mencionan que “Las administraciones interesadas fijarán la potencia máxima de las estaciones”. La sección I – Servicio de aficionados, cuenta con 12 artículos que mencionan cada una de las normas legislativas para la operación del servicio de radioaficionados.

Otro de los entes regulatorios más importantes a nivel internacional IARU. Cuentan con normas que

incluyen la asignación de frecuencias específicas para diferentes modos de comunicación y los procedimientos recomendados para la operación orientados a la radioafición

La IARU, en su rol organizativo, divide el servicio en tres agrupaciones regionales correspondientes a las tres zonas de radio designadas por UIT. Estas zonas se distribuyen de la siguiente manera: Región 1 abarca Europa, África, Oriente Medio y partes de Asia; Región 2 comprende América del Norte, Centro y Sur; y Región 3 engloba principalmente Asia y el Pacífico. Una de las tareas fundamentales de la IARU es colaborar de cerca con la estructura de la UIT con el propósito de salvaguardar y preservar las porciones del espectro radioeléctrico asignadas para servicios como la radiodifusión, la radioafición por satélite y la radioafición en general, para fomentar la utilidad y relevancia de la afición radiofónica (García, 2017, pág. 13).

Finalmente la operación del servicio de radioaficionados en Ecuador es regulada y supervisada por la ARCOTEL, la misma que desempeña la función de supervisar, regular y gestionar las telecomunicaciones, el espectro radioeléctrico y su utilización, además de los aspectos técnicos relacionados con la gestión de medios de comunicación social que empleen frecuencias del espectro radioeléctrico o que establezcan y operen redes de comunicación (ARCOTEL, 2018).

La RESOLUCIÓN 04-03-ARCOTEL-2016, establece una serie de condiciones para la operación del servicio de radioaficionados en Ecuador, la resolución para los Radioaficionados inicia en el capítulo II y se dividen en los apartados siguientes.

#### *2.3.2.1 Categorías de licencias*

De acuerdo con la RESOLUCIÓN 04-03, artículo 150 establece que: “La Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL otorgará esta autorización a personas naturales o jurídicas, asociaciones o radio clubs que cumplan con los requisitos establecidos en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones (LOT), su reglamento general y los requisitos técnicos y legales definidos en este reglamento”. Así mismo de acuerdo a la LOT en el artículo 37 numeral 3, menciona que “El uso del espectro radioeléctrico por parte de los radioaficionados requiere de la obtención previa de un registro, emitida por la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL”. En el mismo artículo se establece que el registro habilita al titular para operar estaciones de radioaficionados en cualquiera de las bandas de frecuencias de acuerdo con el Plan Nacional de Frecuencias. Para la operación del servicio el artículo 150 establece 4 categorías: técnico, general, y la categoría internacional.

### 2.3.2.2 Costos y tiempo de validez de licencias para radioaficionados

De acuerdo con la ARCOTEL, los costos dependerán de la licencia que se pretende obtener, los valores se registran en la Tabla 2-4.

**Tabla 2-4:** Costos y tiempo de validez de licencias para radioaficionados

<b>Categoría</b>	<b>Costo</b>	<b>Tiempo de validez</b>
Técnico	\$ 5.00	10 años
General	\$ 10.00	10 años
Internacional	\$ 20.00	Acuerdos con (IARP)

Fuente: ARCOTEL, 2016

### 2.3.2.3 Requisitos para la obtención de licencias de radioaficionados

Los requisitos establecidos por la ARCOTEL se encuentran en la página oficial, en la cual se dividen en cada uno de los casos existentes en donde se encuentre el solicitante (ARCOTEL, 2008). Los requisitos se detallan desde el numeral 1 al 5.

#### 1. Generales para radioaficionados

- Una solicitud por escrito dirigida a la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL, la cual debe contener el nombre del peticionario y, en el caso de extranjeros, el número de su cédula de ciudadanía o pasaporte.
- El formulario técnico correspondiente, el cual está disponible en la página web oficial de la institución (con códigos IT-DRE-03 y FO-DRE-09).
- Una copia de la autorización de radioaficionado concedida en su país de origen, en el caso de solicitantes extranjeros.
- En el caso de menores de edad, un documento notariado emitido por el padre, la madre o el tutor legal, quienes asumirán la responsabilidad por cualquier uso indebido de la estación radioeléctrica por parte del menor.

#### 2. Específicos para radioaficionados – ciudadanos extranjeros residentes

- Aquellas personas que se encuentren en misiones oficiales de asistencia técnica o asesoría proporcionada por gobiernos extranjeros u organizaciones internacionales al Gobierno del Ecuador y sus instituciones, siempre que su período de servicio se extienda por 18 meses o más.

- Aquellos que, aunque tengan autorización de radioaficionado obtenida en su país de origen, ingresen a Ecuador con una visa de residencia.
- Cónyuges de ciudadanos ecuatorianos que tienen su residencia en el país.
- Extranjeros que, debido a sus logros o méritos, sean determinados por la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL como beneficiarios de este registro.
- Personas que cumplan con los requisitos establecidos en los tratados internacionales suscritos por el país.

### 3. Específicos para radioaficionados en tránsito

- Los radioaficionados que posean licencias extranjeras y estén de paso por Ecuador, con el deseo de operar temporalmente en el país, deben presentar una solicitud por escrito a la Dirección Ejecutiva de ARCOTEL. La aprobación de esta solicitud se otorgará para un período inicial de tres meses y podrá ser renovada por un período adicional de tres meses, aunque solo en una ocasión. Además, los radioaficionados extranjeros que cuenten con licencias internacionales otorgadas de acuerdo con los tratados internacionales de los cuales Ecuador sea signatario operarán conforme a los términos estipulados en dichos tratados.

### 4. Adicionales para radioaficionados – cambio de categoría de técnico a general

- Cumplir con una experiencia mínima de 2 años como radioaficionado en la categoría Técnico.
- Superar satisfactoriamente un examen teórico y práctico sobre equipos de radioaficionados, así como demostrar conocimientos en la calidad de emisión y recepción de la estación. Estos exámenes podrán llevarse a cabo en las instalaciones de ARCOTEL o, en su defecto, los radioclubes podrán proporcionar sus instalaciones para que los aspirantes los realicen.
- Presentar un total de 10 tarjetas de confirmación de comunicaciones QSL (acuse de recibo) que validen la realización de contactos de radio con radioaficionados de otros países.
- Exhibir un conjunto de 10 tarjetas de confirmación de comunicaciones QSL (acuse de recibo) que certifiquen la realización de contactos de radio con radioaficionados ecuatorianos.

## 5. Específicos para radioaficionados para habilitación internacional

- Los radioaficionados que posean una licencia extranjera y se encuentren en tránsito por Ecuador, y deseen operar temporalmente en el país, deben presentar una solicitud por escrito a la Dirección Ejecutiva de ARCOTEL. Esta solicitud será aprobada por un período inicial de tres meses, y podrá ser renovada una sola vez por un período adicional de tres meses. Por otro lado, los radioaficionados extranjeros que cuenten con una licencia internacional otorgada en conformidad con los tratados internacionales de los cuales Ecuador sea signatario operarán de acuerdo con las condiciones establecidas en dichos tratados.

La Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL determinará los términos y condiciones necesarios para la emisión del registro de radioaficionados, los cuales podrán incluir la obligación de rendir y aprobar exámenes técnicos y operativos de radiocomunicaciones en aquellos casos que se consideren pertinentes (ARCOTEL, 2021b, pág. 47).

### ***2.3.3 Características operativas***

El Radioaficionado, ya sea de manera individual o a través de su Radio club, debe informar a la ARCOTEL sobre la fecha en la que todas sus instalaciones estén listas para funcionar, con el propósito de permitir que se realicen las inspecciones que se consideren necesarias. Es una responsabilidad del radioaficionado identificar su estación al comienzo y al final de cada comunicación, así como hacerlo al menos cada 5 minutos durante la operación. También está obligado a obtener una identificación para cada equipo de radio, que debe obtener antes de registrarlos. Esta identificación vence simultáneamente con el registro y debe colocarse de manera visible en cada equipo. El distintivo o número de identificación de las estaciones de radioaficionados en Ecuador se ajustará a las directrices establecidas en la Norma Técnica de Identificación de Estaciones de Radiocomunicaciones (ARCOTEL, 2021b, pág. 129).

### ***2.3.4 Distintivo***

El identificador de las estaciones de radioaficionados estará compuesto por el prefijo asignado por la UIT a Ecuador (HC y HD), seguido del número correspondiente al distrito y finalizado con una combinación de una a tres letras que serán otorgadas por la ARCOTEL (ARCOTEL, 2021b, pág. 129). El número de distrito asignado para las provincias del Ecuador se puede observar en la Tabla 2-5.

**Tabla 2-5:** Distritos para las provincias del Ecuador

Distrito N°	Provincia
1	Santo Domingo, Pichincha, Imbabura, Carchi
2	Santa Elena, Guayas, Los Ríos
3	Loja y El Oro
4	Esmeraldas y Manabí
5	Azuay, Cañar y Chimborazo
6	Tungurahua, Cotopaxi y Bolívar
7	Zamora Chinchipe, Morona Santiago, Napo, Orellana, Pastaza y Sucumbíos
8	Galápagos
9	Estación Maldonado Antártida

Fuente: ARCOTEL, 2021b

### 2.3.5 Potencias

De igual forma la RESOLUCIÓN 04-03-ARCOTEL-2016 designa las potencias máximas de operación para las bandas orientadas a la radioafición. Las divisiones se pueden observar en la Tabla 2-6

**Tabla 2-6:** Potencias máximas permitidas

HF		VHF y Superiores	
Técnico	General	Técnico	General
500 [Vatios]	2000 [Vatios]	25 [Vatios]	160 [Vatios]

Fuente: ARCOTEL, 2021b

### 2.3.6 Inspección y control

La ARCOTEL dispone de funcionarios autorizados con la capacidad para llevar a cabo inspecciones regulares y de naturaleza técnico-administrativa en las instalaciones de radioaficionados. Durante estas inspecciones, es necesario permitir el acceso a los locales donde se encuentran las estaciones. En caso de que un radioaficionado desee cambiar la ubicación de una estación fija o una estación móvil en un vehículo, está en la obligación de informar dicho cambio a la ARCOTEL en un plazo de treinta días, ya sea a través de su Radio club o personalmente. La falta de cumplimiento de esta obligación resultará en las sanciones correspondientes (ARCOTEL, 2021b, pág. 130).

### **2.3.7 Actividades**

Los radioaficionados pueden establecer contacto para, contribuir solidaridad humana, casos de emergencia, practicar telegrafía a través de Código Morse y otros modos digitales, concursos propios de radioaficionados, transmisión de boletines con asuntos orientados a la radioafición, establecer vínculos de amistad, realización de actividades que elevará el nivel social, cultural, técnico y de colaboración entre comunidades, así como también mantener contactos con diversas estaciones de radioaficionados con el fin de compartir experiencias que mejoren su actividad (ARCOTEL, 2021b, pág. 131).

### **2.3.8 Obligaciones**

Los radioaficionados tienen la responsabilidad de participar en los servicios de radiocomunicaciones en apoyo de la seguridad nacional o la defensa civil, así como contribuir a la formación de redes de comunicación de emergencia en situaciones necesarias. Además, deben cumplir con las disposiciones de la Ley de Seguridad Nacional y decretos de emergencia cuando sea necesario, reconociendo su función en beneficio de la sociedad. La suspensión de las transmisiones de radioaficionados será decidida por la ARCOTEL. También deben notificar cuando vendan o transfieran sus equipos, o cuando dejen de operar definitivamente. Los radioaficionados deben llevar consigo el registro de radioaficionados cuando operen desde estaciones móviles o portátiles registradas en la ARCOTEL (ARCOTEL, 2021b, pág. 131).

La ARCOTEL publicará mensualmente un registro nacional de radioaficionados para conocimiento público. Los radioclubes colaborarán con la ARCOTEL en la supervisión de las bandas y el tráfico de mensajes de radioaficionados, informando por escrito sobre infracciones y proporcionando grabaciones cuando sea posible. Las estaciones de radioaficionados no deben interferir con otras estaciones autorizadas, y en caso de causar interferencias, el radioaficionado o radioclub debe solucionarlas a su costo. La ARCOTEL puede establecer convenios de cooperación con radioclubes para organizar capacitaciones, entrenamiento en situaciones de emergencia y otras actividades que mejoren las relaciones interinstitucionales. Las infracciones y sanciones se rigen por la Ley Orgánica de Telecomunicaciones (ARCOTEL, 2021b, pág. 131).

La ARCOTEL publicará mensualmente un registro nacional de radioaficionados para conocimiento público. Los radio clubes colaborarán con la ARCOTEL en la supervisión de las bandas y el tráfico de mensajes de radioaficionados, informando por escrito sobre infracciones y proporcionando

grabaciones cuando sea posible. Las estaciones de radioaficionados no deben interferir con otras estaciones autorizadas, y en caso de causar interferencias, el radioaficionado debe solucionarlas a su costo. La ARCOTEL puede establecer convenios de cooperación con radio clubes para organizar capacitaciones, entrenamiento en situaciones de emergencia y otras actividades que mejoren las relaciones interinstitucionales. Las infracciones y sanciones se rigen por la Ley Orgánica de Telecomunicaciones (ARCOTEL, 2021b, pág. 131).

### ***2.3.9 Bandas de frecuencias orientadas a la radioafición***

Dentro del contexto legal de las telecomunicaciones, el Plan Nacional de Frecuencias representa la herramienta utilizada por las autoridades de regulación para determinar las frecuencias de operación que se asignarán para la operación de las comunicaciones en el territorio nacional (Espín, 2018, pág. 13).

El objetivo principal del Plan Nacional de Frecuencias es ofrecer pautas claras y comprensibles para administrar el espectro de manera eficaz y eficiente, previniendo interferencias perjudiciales entre los distintos servicios y promoviendo una utilización óptima de este recurso (ARCOTEL, 2021a, pág. 5).

De acuerdo con el Plan Nacional de Frecuencias Ecuador 2021, realiza una presentación por capítulos como, Términos y definiciones, Características Técnicas, cuadro de atribución de frecuencias, etc. Para lo cual se hace uso del capítulo 3 para diferenciar las bandas de frecuencia orientadas a la radioafición, las frecuencias designadas según el reglamento se observa en la Tabla 2-7.

## **2.4 Estación de radioaficionados**

La estación se divide en dos partes principales: la estación de control y el sistema radiante.

### ***2.4.1 Estación de control***

La estación de control consta de un transceptor que permite transmitir y recibir señales de radio en diversas bandas de frecuencia, junto con una fuente de alimentación, un micrófono, auriculares o altavoces para la comunicación de voz, un panel de control o interfaz de ordenador para gestionar la operación, y, en caso de operaciones digitales, una interfaz de sonido.

**Tabla 2-7:** Bandas de frecuencias orientadas a la radioafición.

BANDA	LONGITUD DE ONDA	FRECUENCIA	
LF	2200 m	135,7 KHz	137,8 KHz
MF	630 m	472 KHz	479 KHz
	160 m	1800 KHz	2000 KHz
HF	80 m	3500 KHz	4000 KHz
	60 m	5351,5 KHz	5366,5 KHz
	40 m	7000 KHz	7300 KHz
	30 m	10100 KHz	10150 KHz
	20 m	14000 KHz	14350 KHz
	17 m	18068 KHz	18668 KHz
	15 m	21000 KHz	21450 KHz
	12 m	24890 KHz	24990 KHz
	10 m	28000 KHz	29700 KHz
VHF	6 m	50 MHz	54 MHz
	2 m	146 MHz	148 MHz
	1,25 m	220 MHz	222 MHz
UHF	70 cm	420 MHz	450 MHz
	33 cm	902 MHz	928 MHz
SHF	9 cm	3300 MHz	3500 MHz
	5 cm	5650 MHz	5925 MHz
	3 cm	10000 MHz	10500 MHz
	1,2 cm	24000 MHz	24250 MHz
EHF	6 mm	47 GHz	47,2 GHz
	4 mm	76 GHz	81,5 GHz
	2,5 mm	122,250 GHz	123 GHz
	2 mm	134 GHz	141 GHz
	1 mm	241 GHz	250 GHz

Fuente: ARCOTEL, 2021a

### 2.4.2 Sistema radiante

El sistema radiante, compuesto por un conjunto de elementos que transmiten y/o reciben las señales electromagnéticas, comúnmente denominadas antenas (Solares, 2018, pág. 14).

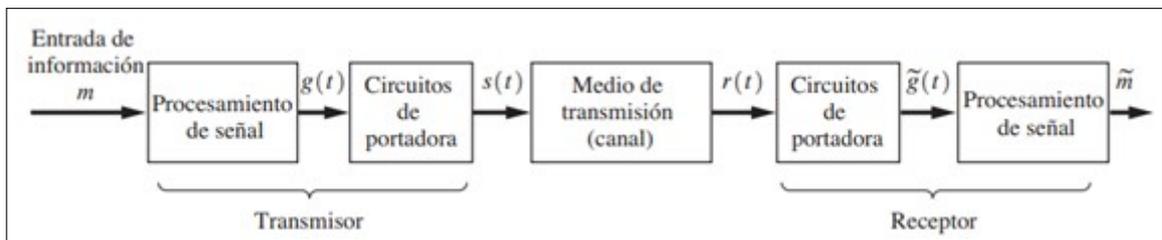
## 2.5 Características técnicas de los sistemas de comunicación

### 2.5.1 Categoría de las señales

En el contexto de las formas de onda, se distinguen dos categorías fundamentales. Por un lado, la forma de onda de banda base se caracteriza por tener una magnitud espectral significativa en las frecuencias alrededor del origen ( $f = 0$ ), siendo despreciable en cualquier otro caso. En contraste, la forma de onda pasabanda presenta una magnitud espectral diferente de cero en una banda específica concentrada alrededor de la frecuencia portadora ( $f = f_c$ ), donde  $f_c$  es una frecuencia mayor que cero (Couch, 2008, pág. 231).

### 2.5.2 Sistema de comunicación

En la Ilustración 2-2 se observa un diagrama de bloques generalizado, la misma que explica el proceso de un sistema de comunicaciones.



**Ilustración 2-2:** Sistema de comunicación

Fuente: (Couch, 2008, pág. 231)

Donde:

$g(t)$ : Es la envolvente compleja.

$s(t)$ : Señal modulada.

$r(t)$ : Ruido de que influirá en la señal modulada.

“Cualquier forma de onda pasabanda física puede ser representada mediante una expresión general”,

en la Ecuación 2-1 se observa la expresión general.

$$s(t) = \text{Re}\{g(t)e^{jw_c t}\}$$

**Ecuación 2-1:** Onda pasabanda

Donde:

$\text{Re}\{.\}$ : Denota la parte real

$W_c : 2\pi F_c$ , donde  $F_c$  es la frecuencia portadora.

La envolvente compleja, que también recibe el nombre de función o señal analíticas, es un principio empleado en el procesamiento de señales con el propósito de expresar de forma única y eficaz una señal en relación con su amplitud y frecuencia. Este concepto se establece mediante la utilización de números complejos, en la Ecuación 2-2 se observa su representación matemática, donde  $x(t)$  es la componente en fase y  $y(t)$  la componente en cuadratura (Couch, 2008, pág. 233).

$$g(t) = x(t) + jy(t)$$

**Ecuación 2-2:** Envolvente compleja

### 2.5.3 Principios de modulación

Dado que a menudo resulta no práctico transmitir información a través de cables metálicos, fibra óptica o la atmósfera terrestre, es común recurrir a la modulación de la información de origen mediante una señal analógica de mayor frecuencia conocida como portadora. En términos simples, la señal portadora facilita el transporte de la información a lo largo del sistema. La señal de información modifica la portadora al alterar su amplitud, frecuencia o fase. La modulación es esencialmente el proceso de cambiar una o más propiedades de la portadora en relación con la señal de información (Tomasi, 2003, pág. 2).

Existen dos categorías fundamentales de comunicaciones electrónicas: analógica y digital. En el caso de los sistemas de comunicaciones analógicos, la energía se transmite y recibe en forma de señales analógicas, como una onda senoidal de variación continua en donde la información como la portadora son señales analógicas. Por otro lado, el término comunicaciones digitales engloba diversas técnicas, que incluyen la transmisión y la radio digitales. La transmisión digital constituye

un sistema genuinamente digital en el cual los pulsos digitales, con valores discretos como (+5V y tierra), se desplazan entre distintos puntos en el sistema de comunicaciones. A diferencia de la comunicación analógica, en la transmisión digital no existe una portadora analógica, y la fuente original de información puede adoptar la forma de señales digitales o analógicas (Tomasi, 2003, pág. 2). Este documento se centra en modulaciones Analógicas.

### 2.5.3.1 Modulación en amplitud

La modulación en amplitud, como su nombre lo indica sufre variaciones en la amplitud de la señal, cada modulación cuenta con su propia envolvente compleja, en la ecuación 2-3 se expresa la señal modulada junto a su envolvente compleja.

$$s(t) = Ac[1 + m(t)]\cos(w_ct)$$

#### **Ecuación 2-3: Señal Modulada en Amplitud**

Donde:

$A_c$ = Denota el nivel de potencia.

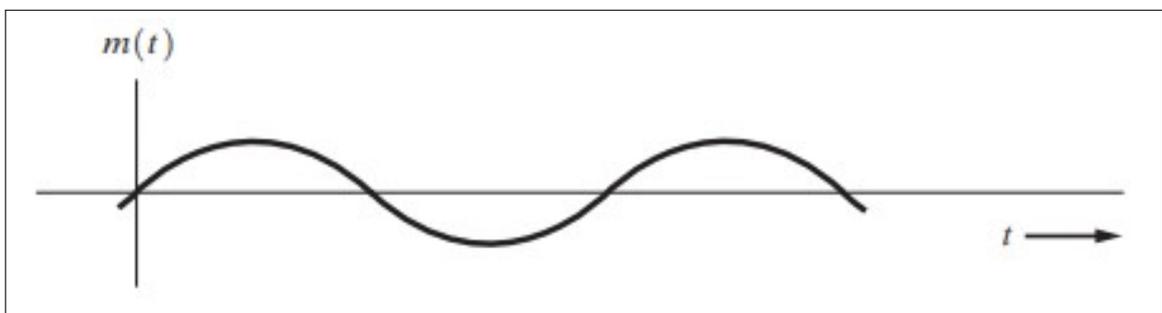
1: Es la componente de Dc.

$m(t)$ : Es la señal moduladora.

$\cos(w_ct)$  : Es la señal portadora.

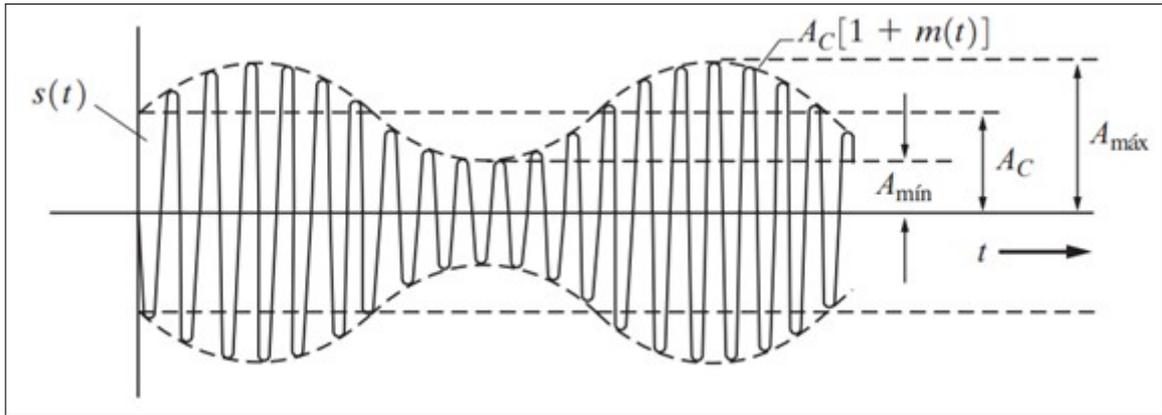
$s(t)$ : Es la señal Moduladora.

En la ilustración 2-3 y 2-4 se observa la señal portadora y modulada respectivamente



**Ilustración 2-3: Señal Portadora**

Fuente: (Couch, 2008, pág. 231)



**Ilustración 2-4:** Señal Modulada en AM

Fuente: (Couch, 2008, pág. 231)

De esta modulación se desglosan modulaciones como DSB-SC, USSB, LSSB, etc. Las cuales se describen en (Couch, 2008, pág. 5).

### 2.5.3.2 Modulación angular en frecuencia y modulación en fase

FM y la modulación en fase Modulación en Fase (PM) radica esencialmente en qué propiedad de la portadora se ajusta directamente de acuerdo con la señal moduladora: si es la frecuencia o la fase, y cuál se ajusta de manera indirecta. La variación de la frecuencia de una portadora conlleva automáticamente una variación en la fase, y viceversa. En consecuencia, tanto la FM como la PM están presentes simultáneamente siempre que se realiza alguna forma de modulación angular. Cuando la frecuencia de la portadora se ajusta directamente según la señal moduladora, se obtiene la FM. Por otro lado, si la señal moduladora ajusta directamente la fase de la portadora, se produce la PM (Tomasi, 2003, pág. 229). En la Ecuación 2-4 se expresa la señal modulada.

$$s(t) = A_c \cos[w_c t + \theta(t)]$$

### Ecuación 2-4: Modulación en Fase y Frecuencia

Donde:

$A_c$ : Es una constante

$\theta f$ : Función lineal de la señal moduladora

La función lineal de la señal moduladora o también conocida como la fase puede representarse de dos formas, si se requiere modulación PM o si se requiere modulación FM, en la Ecuación 2-5 y 2-6

se representa la fase para la modulación PM y PM respectivamente.

$$\theta(t) = D_p m(t)$$

**Ecuación 2-5:** Fase para modulación PM

$$\theta(t) = D_f \int m(t) dt$$

**Ecuación 2-6:** Fase para modulación FM

Donde  $D_p$  es la sensibilidad de fase y  $D_f$  es la constante de desviación de frecuencia, lo común entre en estos parámetros es que, dependen del máximo valor de la señal moduladora. Uno de los parámetros de transmisión para modulación en frecuencia es  $\Delta f$  (Desviación de frecuencia pico) que involucra el índice de modulación y el ancho de banda de la señal moduladora, su expresión matemática se observa en la Ecuación 2-7.

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi} D_f V_p = \beta \cdot B$$

**Ecuación 2-7:** Desviación de frecuencia pico

Donde:

$\beta$ : Es el índice de modulación.

B: Es el ancho de banda de la señal moduladora

Otro de los parámetros importantes es el ancho de banda de la señal modulada, depende del índice de modulación y del ancho de banda de la señal moduladora, la expresión matemática se observa en la Ecuación 2-8.

$$B_T = 2(1 + \beta) * B$$

**Ecuación 2-8:** Ancho de banda de transmisión

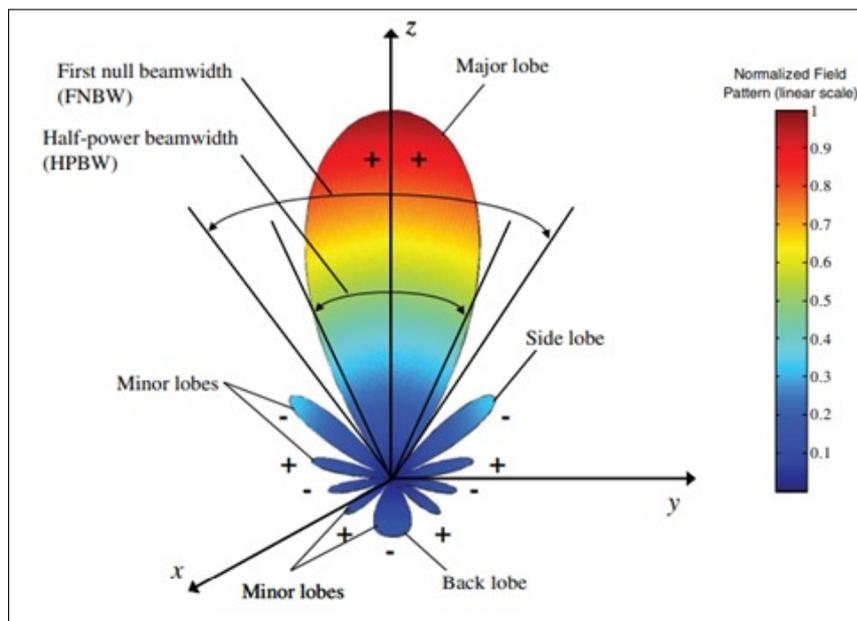
## 2.5.4 Parámetros de un sistema radiante

Las antenas cuentan con muchas características y condiciones que se deben cumplir para que un sistema de comunicaciones funcione correctamente.

### 2.5.4.1 Patrón de radiación

El patrón de radiación de una antena, también conocido como patrón de antena, se define como una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en relación con las coordenadas espaciales. Por lo general, el patrón de radiación se determina en la región del campo lejano y se representa como una función de las coordenadas direccionales. Entre las propiedades de radiación se incluyen la densidad de flujo de potencia, la intensidad de radiación, la fuerza del campo, la directividad, la fase o la polarización (Balanis, 2016, págs. 25-26). Para la representación del lóbulo de radiación se utiliza una escala logarítmica llamada decibelios (dB).

El patrón o diagrama de radiación cuenta con distintos lóbulos de radiación, estos lóbulos se clasifican en: lóbulo principal la cual indica el margen angular entorno a la máxima dirección de radiación y lóbulos secundarios la cual son los máximos relativos por debajo del principal. Adicionalmente el patrón de radiación cuenta con un parámetro denominado “Ancho del Haz”, la cual es el margen angular de direcciones. En la Ilustración 2-5 se observan cada una de las características mencionadas.



**Ilustración 2-5:** Patrón de Radiación

Fuente: (Balanis, 2016, pág. 28)

Entre la clasificación de los patrones de radiación están los patrones isotrópicos que emiten la misma densidad de potencia en todas sus direcciones, las omnidireccionales, representan simetría en un eje, y los directivos que emiten la máxima potencia en una sola dirección.

#### 2.5.4.2 Ancho de banda

Es el conjunto de frecuencias a ambos lados de una frecuencia central, donde las características de la antena como la impedancia de entrada, el patrón, la anchura del haz, la polarización, el nivel de lóbulos laterales, la ganancia, la dirección del haz, la eficiencia de radiación se encuentra dentro de un valor aceptable en comparación con la frecuencia central (Balanis, 2016, pág. 67). En donde el elemento radiante puede caracterizarse como antenas de banda ancha, y antenas de banda estrecha. La Ecuación 2-9. muestra cómo se calcula el porcentaje de ancho de banda.

$$BW_T(\%) = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_c}$$

#### **Ecuación 2-9:** Porcentaje de ancho de banda

Donde:

$f_{\max}$ : Considera la frecuencia más alta de la banda (Hz)

$f_{\min}$ : Considera la frecuencia más baja de la banda (Hz)

$f_c$ : Es el valor de la frecuencia de resonancia

#### 2.5.4.3 Directividad

Se define como la relación entre la intensidad de radiación en una dirección dada desde la antena y la intensidad de radiación promediada sobre todas las direcciones. La intensidad de radiación promedio es igual a la potencia total radiada por la antena dividida por  $4\pi$ . Si la dirección no está especificada, se da por entendido que se refiere a la dirección de la máxima intensidad de radiación. La Ecuación 2-10 muestra su relación matemática.

$$D = \frac{U}{U_i} = \frac{4\pi U}{P}$$

#### **Ecuación 2-10:** Directividad

Donde:

U: Intensidad de radiación de la fuente isotrópica (W/Unidad de ángulo sólido)

$U_i$ : Intensidad de radiación (W/Unidad de ángulo sólido)

P: Potencia Radiada total (W)

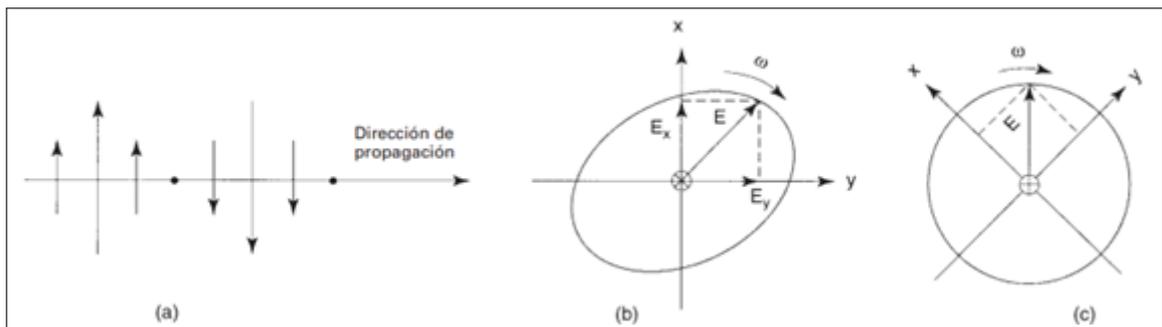
#### 2.5.4.4 Ganancia

La ganancia de la antena está estrechamente relacionada con la directividad, es una medida que tiene en cuenta tanto la eficiencia de la antena como sus capacidades direccionales se define como: “La relación entre la intensidad en una dirección dada y la intensidad de radiación que se obtendría si la potencia aceptada por la antena se radiara isotrópicamente” (Balanis, 2016, págs. 61-62).

#### 2.5.4.5 Polarización

La polarización de una antena se refiere a la dirección del campo eléctrico que emana de ella. La polarización puede manifestarse de manera lineal (generalmente en sentido horizontal o vertical, dependiendo de la disposición de los elementos de la antena en un plano horizontal o vertical), elíptica o circular. Cuando una antena emite una onda electromagnética con polarización vertical, se la clasifica como polarizada verticalmente. En cambio, si emite una onda electromagnética con polarización horizontal, se considera que la antena está polarizada horizontalmente. Si el campo eléctrico describe una elipse, la antena se dice que está elípticamente polarizada, y si el campo eléctrico gira de forma circular, se clasifica como circularmente polarizada (Tomasi, 2003, pág. 382).

En la Ilustración 2-6 se distinguen las diversas formas de polarización mencionadas anteriormente:



**Ilustración 2-6:** Polarización de las Antenas

Fuente: (Tomasi, 2003)

#### 2.5.5 Campo en condiciones de espacio libre

De acuerdo a los parámetros emisión se destacan los parámetros generales:

### 2.5.5.1 PIRE

La PIRE, es el producto de la potencia suministrada a la antena por la ganancia isotrópica de la misma (Rabanos, 2008, pág. 54). En la Ecuación 2-11, se observa su expresión matemática.

$$pire(\theta, \phi) = p_t g(\theta, \phi)$$

**Ecuación 2-11: PIRE**

### 2.5.5.2 PRA

La PRA, en aplicaciones de Radiodifusión y TV se usan antenas derivadas del dipolo en  $\lambda/2$  (Paneles, Antenas Yagi, etc), en estos casos se especifica la ganancia en función del dipolo ( $g_d$ ) como se observa en la Ecuación 2-12.

$$pra = p_t * g_d$$

**Ecuación 2-12: PRA**

## 2.6 Sistemas tecnológicos

### 2.6.1 SDR

La Radio Definida por Software (SDR) otorga flexibilidad al diseñar sistemas de control de comunicaciones inalámbricas al permitir la implementación de componentes como transmisores, receptores, amplificadores y mezcladores. En lugar de requerir modificaciones en el hardware para cada sistema de comunicación inalámbrica, los parámetros de estos elementos pueden ser ajustados de forma dinámica a través del software (Rodríguez, 2021, pág. 45). El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEE) en conjunto con el grupo p1900.1 establecen la siguiente definición: “Radio en el que parte o la totalidad de las funciones de la capa física son definidas por software”. Entre las herramientas de desarrollo libre y abiertas para la implementación de SDR está GNU RADIO y LABVIEW.

### **2.6.2 DSP**

Un Procesador Digital de Señales (DSP) se emplea para hacer referencia a cualquier chip que maneje señales que están representadas de manera digital. En un contexto más concreto, se refiere a microprocesadores especialmente diseñados para llevar a cabo procesamientos digitales de señales. Estos DSP utilizan arquitecturas específicas con el fin de agilizar los cálculos matemáticos intensivos que son necesarios en la mayoría de los sistemas de procesamiento de señal en tiempo real (Salazar, 2000, pág. 46).

### **2.6.3 Diferencia entre SDR y DSP**

Según (Salazar, 2000, pág. 46), un DSP se centra en el procesamiento de señales, mientras que (Rodríguez, 2021, pág. 45) menciona que un SDR es un sistema de comunicaciones que utiliza software para definir y configurar sus funciones de procesamiento de señales, lo que proporciona flexibilidad y adaptabilidad a una variedad de aplicaciones de radiofrecuencia. Un SDR a menudo incorpora DSP en su funcionalidad, pero no se limita a él.

### **2.6.4 Software para el uso de SDR**

#### **2.6.4.1 SDR-Sharp**

SDR-Sharp es un programa que posibilita la observación y audición de señales de radio sin costo alguno. Se le reconoce como una plataforma completa para los dongles RTL-SDR y para los equipos creados por AIRSPY, la marca responsable de su desarrollo (Romani, 2021).

#### **2.6.4.2 SDR-Angel**

SDR-Angel es una aplicación de software multiplataforma que posibilita la exploración del espectro electromagnético, abarcando desde frecuencias de radio LF hasta microondas en la banda Ku. Además, permite la visualización tridimensional de señales. Cabe destacar que se trata de un software de código abierto o de uso gratuito (SDRangel, 2024).

#### **2.6.4.3 Spektrum**

Spektrum, al igual que SDR-Sharp y SDR-Angel, es una aplicación diseñada principalmente para emular un analizador de espectros utilizando un RTL-SDR. Realiza barridos en un amplio rango de

frecuencias y ofrece una plataforma interactiva e intuitiva para el usuario (GitHub, 2024).

### 2.6.5 *Softwares de simulación*

#### 2.6.5.1 *Mmana-gal*

Se trata de un software de acceso gratuito en la red, inicialmente desarrollado por Makoto Mari y posteriormente mejorado por los alemanes Alex Schewelew e Igor Gontcharenko. Este programa resulta invaluable para radioaficionados, debido a que permite obtener información detallada acerca de características específicas de la antena, tales como su ganancia, los lóbulos de radiación y su comportamiento en el espacio (Tapa, 2019, pág. 42).

#### 2.6.5.2 *Hfss*

El software se emplea para diseñar y comprobar el rendimiento de sistemas de comunicación, radares y otros productos de alta frecuencia. HFSS utiliza herramientas altamente precisas y confiables para modelar estructuras electromagnéticas tridimensionales mediante su mallado adaptable y un conjunto de solucionadores mejorados con tecnología de alto rendimiento. Además, el software facilita a los usuarios la resolución de problemas en simulaciones a través de una interfaz amigable (Tinoco, 2020, pág. 37).

#### 2.6.5.3 *Gnu Radio*



**Ilustración 2-7:** Logo de GNU RADIO

**Fuente:** <https://www.gnuradio.org/>

Se trata de un software de código abierto destinado a la creación de bloques para la implementación de sistemas de Radio Definida por Software (SDR). Incluye un entorno de simulación especializado para configurar ambientes ideales en las comunicaciones por radio, tanto analógicas como digitales, y está dirigido a radioaficionados, entornos educativos y comerciales. Su objetivo principal es proporcionar apoyo en investigaciones relacionadas con las comunicaciones inalámbricas y los sistemas de radio en todo el mundo. Este software puede ser utilizado a través de un entorno

gráfico o desarrollado mediante el lenguaje de programación Python, y en niveles avanzados de rendimiento, se implementa en lenguaje C++ (Nieva, 2018, pág. 30). En la Ilustración 2-7 se observa el logo característico del software respectivo. GNU RADIO admite el uso con sistemas operativos como: Linux, Windows y Mac OS X.

#### 2.6.5.4 Radiomobile

Radiomobile es un programa de simulación de radio propagación de distribución gratuita desarrollado por Roger Coudé, diseñado para prever el comportamiento de sistemas de radio, realizar cálculos y simulaciones de radioenlaces a larga distancia, y representar la cobertura de redes de radiocomunicación, entre otras funciones. Este software emplea perfiles geográficos combinados con información detallada sobre equipos (potencia, sensibilidad del receptor, características de antenas, pérdidas, etc.) que se deseen simular. Con un rango de trabajo entre 20 MHz y 20,000 MHz y distancias que van desde 1 km hasta 2000 km, radiomobile implementa eficientemente el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) o el modelo Longley-Rice, específicamente diseñado para la predicción troposférica en transmisiones de radio sobre terreno irregular en enlaces de largo y medio alcance. Además, ofrece diversas utilidades de apoyo para el diseño y simulación de enlaces y redes de telecomunicaciones (Ortiz, 2017, pág. 50).

## 2.7 Materiales y equipos

### 2.7.1 Sistema de control

#### 2.7.1.1 Computador portátil



**Ilustración 2-8:** Computador portátil HP

Realizado por: Cofre K., 2024.

En la Ilustración 2-8 se observa el computador portátil. Cuenta con un procesador “AMD Ryzen 7 4700U con Radeon Graphics”, una tasa de refresco de 2 GHz y con una memoria RAM de 16 GB. Son características aceptables para el manejo herramientas de desarrollo libre como GNU. Las

características técnicas de este equipo se detalla en la Tabla 3-7.

### 2.7.1.2 Parlante



**Ilustración 2-9:** Parlante Genius

**Fuente:** <https://mundodigitalecuador.com/product/parlantes-genius-sw-2,1-375/>

El parlante o conocido como altavoz, estará conectado en el computador con el fin de aumentar el rango auditivo, la marca del dispositivo es Genius, que será acoplado con una tarjeta de sonido y las características técnicas se detallan en la Tabla 3-8.

### 2.7.1.3 Micrófono para PC

El micrófono es un aparato de entrada que transforma las ondas sonoras en señales eléctricas, las cuales pueden ser procesadas por diversos dispositivos, tales como grabadoras, computadoras, sistemas de sonido y teléfonos móviles, entre otros, el dispositivo se observa en la Ilustración 2-10 y las características técnicas se muestran en la Tabla 3-9.



**Ilustración 2-10:** Micrófono EZRA: MP03  
**Fuente:** <https://fixcelstore.cl/producto/microfono-ezra-mp03/>

#### 2.7.1.4 HackRF One

El HackRF One de Great Scott Gadgets es un dispositivo periférico de Radio Definido por Software que tiene la capacidad de enviar o recibir señales de radio. Este dispositivo ha sido diseñado con el propósito de facilitar la prueba y el desarrollo de tecnologías de radio modernas y de próxima generación. Además, el HackRF One es una plataforma de hardware de código abierto que puede funcionar como un periférico USB o ser programado para operar de manera autónoma, su ensamblaje se observa en la ilustración 2-11. La características técnicas de operación se observan en la Tabla 3-10.



**Ilustración 2-11:** Hack Rf One  
**Fuente:** <https://greatscottgadgets.com/hackrf/one/>

### 2.7.1.5 RTL-SDR

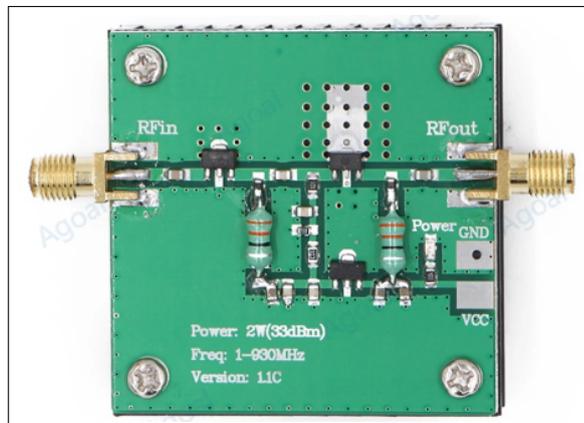


**Ilustración 2-12:** RTL SDR BLOG V4

Fuente: <https://www.amazon.com/RTL-SDR-Blog-RTL2832U>

Este tipo de dispositivos son aquellos que en la que la mayoría de las funciones de un sistema de radio están implementadas mediante software en lugar de hardware tradicional. Esto permite una mayor flexibilidad y versatilidad en la recepción y transmisión de señales de radio, cabe recalcar que el QTL SDR BLOG V4 solo puede funcionar únicamente para recibir señales radioeléctricas, en la Ilustración 2-12 se observa el dispositivo.

### 2.7.1.6 Preamplificador



**Ilustración 2-13:** Preamplificador

Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/32761941012>

El amplificador de potencia RF de banda ancha cuyas características técnicas se observan en la Tabla 3-11, es un dispositivo electrónico diseñado para amplificar señales de radiofrecuencia en un rango amplio de frecuencias, haciendo que sea adecuado para diversas aplicaciones de transmisión de radio, ñ diseño se observa en la Ilustración 2-13. El fabricante subraya la importancia de tomar precauciones contra la electricidad estática, incluyendo la conexión de la interfaz RF antes de

suministrar energía, con el fin de prevenir posibles daños.

#### 2.7.1.7 Amplificador lineal

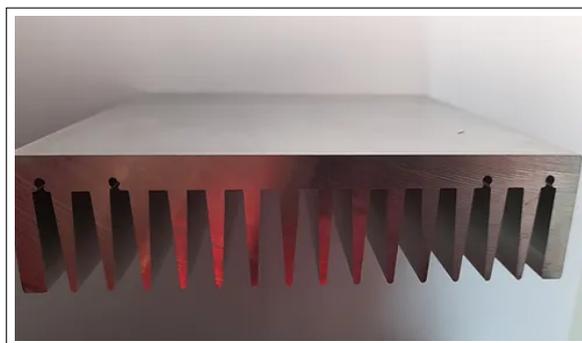


**Ilustración 2-14:** Amplificador Lineal LDMOS

**Fuente:** <https://es.aliexpress.com/item/32761941012>

En la Ilustración 2-14 se observa la placa amplificadora lineal 600W HF/6M V2.0, está diseñada para amplificar señales de radiofrecuencia en un rango amplio de frecuencias, abarcando desde HF hasta los 55MHz. El diseño de la placa opera en modo clase AB push-pull, permitiendo su utilización para diversos modos de transmisión. Con un rango de voltaje de ofrece una eficiencia alta. Su versatilidad y potencia hacen que sea adecuada para aplicaciones que requieren amplificación de señales de radio en diferentes modos y frecuencias. Las características técnicas del modulo se detallan en la Tabla 3-13.

#### 2.7.1.8 Heatsink DX-15



**Ilustración 2-15:** Heatsink DX-15

**Fuente:** <https://www.dxworld-e.com/product-page/heatsink-dx-15>

El Heatsink DX-15 que se observa en la Ilustración 2-15, es un disipador de calor utilizado comúnmente en la refrigeración de componentes electrónicos para disipar el calor generado durante su funcionamiento. Las dimensiones y características de fabricación se observan en la Tabla 3-12

#### 2.7.1.9 Filtro pasa bajas



**Ilustración 2-16:** Filtro LPF

**Fuente:** <https://www.dxworld-e.com/product-page/hf-lpf-filters-160-6m-1500w>

El filtro pasa bajas funciona para bandas de 160 a 10 metros es un dispositivo diseñado para filtrar señales de radiofrecuencia, permitiendo el paso de frecuencias más bajas mientras atenúa las frecuencias más altas, la placa se observa en la Ilustración 2-16. En la Tabla 3-14 se detallan sus características técnicas.

#### 2.7.1.10 Fuente de alimentación conmutada 48 V

Este producto pertenece a la serie SE-600 y tiene un peso de 2,13 kg. Su principal aplicación está destinada a ser un suministro de energía eficiente para diversos dispositivos electrónicos, como amplificadores u otros equipos que requieran una fuente de alimentación de alta calidad y rendimiento, el dispositivo se puede observar en la Ilustración 2-17. Las características técnicas se describen en la Tabla 3-15.



**Ilustración 2-17:** Fuente de alimentación conmutada 48 V

**Fuente:** <https://www.meanwell.com/product>

#### 2.7.1.11 Fuente de 12 V

La fuente de poder que se observa en la Ilustración 2-18, está certificada para trabajar con dispositivos que admitan estos valores específicos. El voltaje directo ofrecido por esta fuente tiene una polaridad fija sin variación de frecuencia, similar al voltaje presente en pilas alcalinas o baterías recargables de dispositivos como teléfonos móviles, las características técnicas se detallan en la Tabla 3-16.



**Ilustración 2-18:** Fuente de 12 V

**Fuente:** <https://www.sincables.com.ec/product/12v>

#### 2.7.1.12 Soporte para el sistema de amplificación

Para el soporte de cada uno de los módulos o dispositivos para el sistema de amplificación se hará uso de una caja con material MDF que se observa en la Ilustración 2-19.



**Ilustración 2-19:** MDF

**Fuente:** <https://www.maderasantana.com/caracteristicas-tableros-madera-mdf/>

### 2.7.1.13 Ventilador



**Ilustración 2-20:** Ventilador de aire

**Fuente:** <https://www.mouser.com/ProductDetail/Sunon/SF23092A-2092HSL.GN>

La etapa de amplificación debe contar con un sistema de ventilación adecuado, para ello se hará uso del ventilador que se observa en la Ilustración 2-20.

## 2.7.2 Sistema radiante

### 2.7.2.1 Cable Coaxial de 50 $\Omega$

- CNT-400



**Ilustración 2-21:** CNT-400

**Fuente:** <https://tecnit.com.ec/producto/rollo-de-cable-coaxial-inc73e-400-cnt-400-50-ohm-19-metros/>

CNT-400 es un cable coaxial que permite la transmisión de señales de radiofrecuencia acopladas a 50  $\Omega$  y que soporta potencias elevadas en el orden de los kW, esta compuesto por un cable conductor de cobre seguido de una aislante que lo recubre y a esta una malla conductora y finalmente una cubierta por una chaqueta aislante, tal como se muestra en la Ilustración 2-21. Los parámetros técnicos del cable coaxial se detallan en la Tabla 3-17.

- RG58

RG58 es un cable coaxial que permite la transmisión de señales de radiofrecuencia acopladas a 50  $\Omega$  y soporta alrededor de 44 W de potencia, esta compuesto por un cable conductor de cobre seguido de una aislante que lo recubre y a esta una malla conductora y finalmente una cubierta por una chaqueta aislante, tal como se muestra en la Ilustración 2-22. Los parámetros técnicos del cable coaxial se detallan en la Tabla 3-18.



**Ilustración 2-22: R58**

**Fuente:** <https://tecnit.com.ec/producto/cable-coaxial-anera-rg58-50-ohm-por-metro/>

#### 2.7.2.2 Cable Coaxial de 75 $\Omega$



**Ilustración 2-23: RG6**

**Fuente:** <https://tecnit.com.ec/producto/rollo-de-cable-coaxial-connection-rg6-75-ohm-305mts/>

RG56 es un cable coaxial que permite la transmisión de señales de radiofrecuencia acopladas a 75  $\Omega$ , esta compuesto por un cable conductor de cobre seguido de una aislante que lo recubre y a esta una malla conductora y finalmente una cubierta por una chaqueta aislante, tal como se muestra en la Ilustración 2-23. Los parámetros técnicos del cable coaxial se detallan en la Tabla 3-19.

### 2.7.2.3 Conector PL-259 macho



**Ilustración 2-24:** Conector PL-259 macho

**Fuente:** <https://www.compelectronica.com/product/conector-pl259-macho-para-soldar-en-cable-rg8-pl259>

El conector PL-259 macho, también conocido como conector UHF, es utilizado en aplicaciones de radiofrecuencia. Tiene forma cilíndrica, tal como se muestra en la Ilustración 2-24, consta de un pasador central para la transmisión de señales y una rosca externa para la conexión y contacto a tierra. Las características técnicas se describen en la Tabla 3-21.

### 2.7.2.4 Conmutador de antena



**Ilustración 2-25:** Conmutador CA-201

**Fuente:** <https://es.aliexpress.com/item/1005006372426-137.html?spm=a2g0o.productlist.main>

El conmutador que se observa en la Ilustración 2-25 permite seleccionar entre dos antenas diferentes conectadas a una única entrada, permitiendo al operador elegir cuál de las dos antenas utilizar en un momento dado. Este dispositivo es especialmente útil en entornos de radioaficionados o

comunicaciones de radio donde se trabaja en diferentes bandas de frecuencia y se requiere la capacidad de cambiar entre antenas. Las características técnicas se describen en la Tabla 3-20.

#### 2.7.2.5 Antena Delta Loop para HF



**Ilustración 2-26:** Antena Delta Loop  
Realizado por: Caiza D., 2024.

La Antena Delta Loop, empleada en radioaficionados, su forma se observa en la Ilustración 2-26, destaca por su diseño triangular que se asemeja a la letra delta griega. Reconocida por su versatilidad, esta antena ofrece eficiencia en diversas bandas de frecuencia. Su forma triangular permite operar en múltiples frecuencias, y su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones la convierte en una elección apreciada entre la comunidad de radioaficionados. Las características técnicas se describen en la Tabla 3-22.

### 2.7.2.6 Antena Dipolo para HF



**Ilustración 2-27:** Antena Dipolo

Realizado por: Caiza D., 2024.

La antena Dipolo se muestra en la Ilustración 2-27, es una opción básica pero altamente eficaz en la transmisión de señales de radiofrecuencia. Está compuesta por tubos o alambres de igual longitud, típicamente de  $\lambda/2$  o  $\lambda/4$ . Se alimenta en el centro de estos elementos, con una separación usualmente entre 2 y 5 centímetros. Su orientación puede ser tanto vertical como horizontal, dependiendo de los

requisitos específicos del radioaficionado o del tipo de comunicación que se desee establecer. Las características técnicas se describen en la Tabla 3-23.

### 2.7.2.7 Antena Cuadra-Cúbica para VHF



**Ilustración 2-28:** Antena Cuadra-Cúbica  
Realizado por: Caiza D., 2024.

La Antena Cuadra-Cúbica tal como se observa en la Ilustración 2-28, preferida en radioaficionados, destaca por su eficiencia y sencillo diseño en forma de cubo. Con la capacidad de operar en diversas frecuencias y su instalación fácil, es una elección popular entre los aficionados a la radio. Las características técnicas se describen en la Tabla 3-24.

### 2.7.2.8 Antena Dipolo extensible para VHF



**Ilustración 2-29:** Antena Dipolo Extensible

**Fuente:** <https://www.astroradio.com/p/kit-antenas-dipolo-multiuso/>

La Antena Dipolo Extensible se muestra en la Ilustración 2-29, consta del cable de alimentación RG174 de 60 cm de longitud, conector macho SMA y dos antenas telescópicas de 23 cm a 1 m para formar el dipolo. Estas antenas cubren la banda de VHF y UHF. Las características técnicas se describen en la Tabla 3-25.

### 2.7.3 Equipos de medición

#### 2.7.3.1 Multímetro: Digital Best DT9205M

**Tabla 2-8:** Características técnicas del multímetro Digital Best DT9205M

Características Técnicas	
Pantalla	LCD
Voltaje DC	200 mV y 2-20-200-1000 V
Voltaje AC	200 mV y 2-20-200-700 V,
Resistencia	200 $\Omega$ , 2-20-200 k $\Omega$ y 2-20-200 M $\Omega$
Corriente continua	2-20-200 mA y 20 A
Corriente alterna	2-20-200 mA y 20 A
Capacitancia	200-20-2 uF y 200-20 nF
Fusible	200 mA

**Fuente:** <https://www.sigmaelectronica.net/producto/dt9205m/>

El Multímetro Digital Best DT9205M, el cual se muestra en la Ilustración 2-30, es un dispositivo que permite la medición de circuitos o componentes electrónicos y ofrece: continuidad eléctrica, diodos, HFE para transistores, capacitancia, resistencia, voltaje y corriente DC/AC.

En la Tabla 2-8 se detallan las características técnicas del equipo.



**Ilustración 2-30:** Multímetro

Fuente: <https://roboticsec.com/producto/multimetro-digital-dt9205m/>

### 2.7.3.2 Medidor de ROE: AMITEC-VSWR METER VSM10

**Tabla 2-9:** Características técnicas de AMITEC-VSWR METER VSM10

Características Técnicas	
Frecuencia	1 kHz
Pantalla	Medidor análogo de 85 mm

Atenuador	65 dB
Puerto #1: IN	Audio
Puerto #2: OUT	Amp
Puerto #3: Escala	Normal/Expand
Puerto #4: VSWR	Entrada

Fuente: <https://www.tecnos.ro/catalog/AMITEC-ELECTRONICS-Ltd.pdf>

El AMITEC-VSWR METER VSM10 es un dispositivo que permite medir la relación de energía emitida vs energía reflejada por una antena. En la Tabla 2-9 se detallan las características técnicas del instrumento de medición de ROE.



**Ilustración 2-31:** Medidor de ROE

Fuente: <https://www.tecnos.ro/catalog/AMITEC-ELECTRONICS-Ltd.pdf>

### 2.7.3.3 Analizador de espectros: Anritsu-MS2724C

La Ilustración 2-32, presenta el Analizador de Espectros Anritsu-MS2724C portátil, proporciona una amplia gama de capacidades de análisis desde 9 kHz hasta 20 GHz del espectro electromagnético, Entre las funcionalidades que ofrece esta el análisis de interferencias, así como mediciones de Radio Frecuencia y microondas.

En la Tabla 2-10 se detallan las características técnicas del equipo.

**Tabla 2-10:** Características técnicas del analizador de espectros: Anritsu-MS2724C

Características Técnicas	
Rango de frecuencias	9 kHz a 20 GHz
Impedancia de entrada RF	50 $\Omega$
Resolución de ancho de banda (RBW)	1 a 10 MHz
Rango de nivel de referencia	-150 a +30 dBm
Resolución de Pantalla	800 x 600
Dimensiones	315 x 221 x 77 mm
Peso	3,5 Kg
Batería	2,5 Horas

Fuente: <https://dl.cdn-anritsu.com/en-us/test-measurement/files/Brochures-Datasheets-Catalogs/datasheet/11410-00525K.pdf>



**Ilustración 2-32:** Analizador de espectros Anritsu MS2724C

Fuente: <https://dl.cdn-anritsu.com/en-us/test-measurement/files/Brochures-Datasheets-Catalogs/datasheet/11410-00525K.pdf>

#### 2.7.3.4 Generador de señales: Anritsu-MG3692C

El generador de señales que se visualiza en la Ilustración 2-33 pertenece al modelo MG3692C de la marca Anritsu. Este dispositivo permite enviar señales desde frecuencias de audio, HF, VHF, UHF, SHF y microondas, es decir, su rango se amplía hasta los 20 GHz del espectro electromagnético.

La Tabla 2-11, se detallan las características técnicas del equipo.

**Tabla 2-11:** Características técnicas del analizador de espectros: Anritsu-MG3692C

Características Técnicas	
Rango de frecuencias	50 MHz a 20 GHz
Impedancia de entrada RF	50 $\Omega$
Potencia de entrada	-120 a +19 dBm
Nivel de ruido SSB	-119 dB/Hz, salida de 10 Ghz y compensación de 10 kHz
Resolución	0.01 Hz
Dimensiones	133 x 429 x 450 mm
Peso	3,5 Kg

**Fuente:** <https://www.axiomtest.com/documents/models/ANR%20MG3692C%20Datasheet.pdf>



**Ilustración 2-33:** Generador de señales: Anritsu-MG3692C

**Fuente:** <https://www.axiomtest.com/documents/models/ANR%20MG3692C%20Datasheet.pdf>

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Introducción

Este capítulo detalla los pasos necesarios para la implementación de una estación de radioaficionados en las instalaciones de la ESPOCH, describiendo minuciosamente cada etapa del proceso.

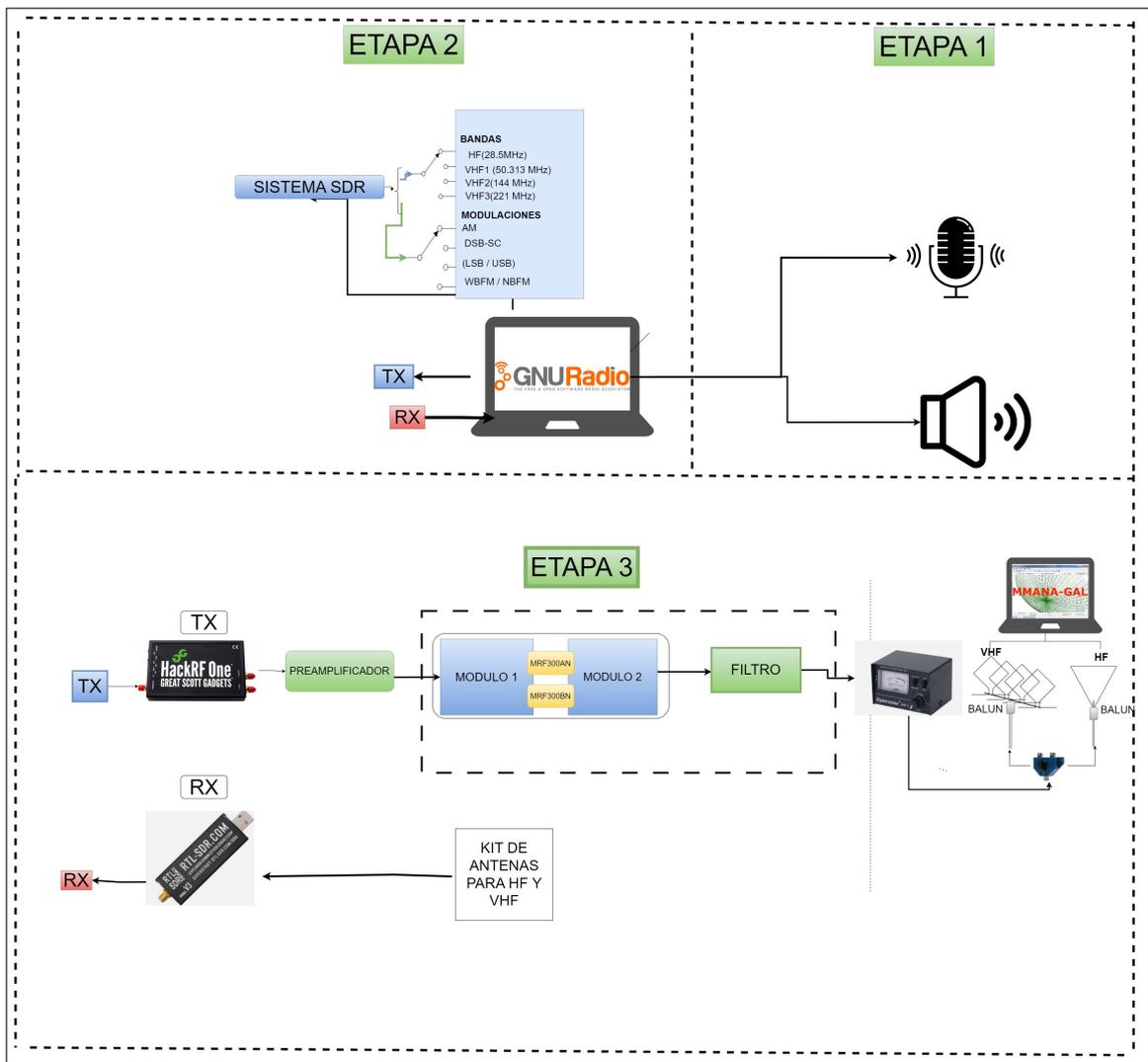
La implementación comienza con la Etapa 1, cuya sección se observa en la Ilustración 1-1, en donde se realizó la conexión de un micrófono y un altavoz al computador.

En la Etapa 2, se hizo uso de la tecnología SDR utilizando el Dispositivo HackRF One. En esta etapa, se llevó a cabo el primer procesamiento de la señal, que incluye etapas de filtrado inicial y modulación. Se aplicaron modulaciones analógicas, como Modulación en Amplitud (AM), Modulación en Amplitud con Portadora Suprimida (DSB-SC), Modulación de banda lateral superior (USB), Modulación de banda lateral inferior (LSB), Modulación FM de banda Ancha (WBFM) y Modulación de Frecuencia de Banda Estrecha (NBFM). La implementación abarca dos bandas conforme al plan nacional de frecuencias para radioaficionados. La banda HF opera en el rango de 27-29 MHz con una frecuencia portadora de 28,5 MHz, mientras que la banda VHF utiliza tres rangos de frecuencia: 50-54 MHz, 146-148 MHz y 220-222 MHz, con frecuencias operativas de 50,313 MHz, 146 MHz y 221 MHz, respectivamente. El diseño del transceptor se realizó con GNU RADIO en el sistema operativo windows.

En la Etapa 3, se llevó a cabo el diseño de un amplificador lineal que realiza la amplificación en el rango de cobertura, seguido de un filtro pasa bajos para la banda HF, y para la banda VHF, filtros pasabanda. En este proceso, se incorporó un medidor de ROE para proteger los dispositivos, y se conectó un conmutador de antenas que permitirá seleccionar la antena de trabajo para el sistema. También se diseñaron dos antenas, una Delta Loop para transmisión y una dipolo para recepción en la banda HF y una antena Cuadra-Cúbica para las bandas VHF, estas antenas fueron simuladas en MMANA-GAL, para la implementación se fijaron las antenas Delta Loop Y Cuadra-Cúbica a 1/4 de la longitud de onda y finalmente se realizaron sistemas de acoplamiento de impedancia para un funcionamiento óptimo.

Para las pruebas en la banda HF se realizó un enlace punto a punto con Radio Club Guayaquil en un

entorno de simulación con la finalidad de conocer como se comporta el sistema en condiciones de máxima transferencia de potencia, para las pruebas reales se realizaron enlaces con un sistema de comunicaciones fijo móvil. En cuanto a la banda VHF, se realizaron pruebas locales de cobertura en cuatro sitios estratégicos ubicados alrededor de la estación, tanto simulados como reales, además se realizó un enlace con línea de vista directa desde la estación hacia Langos ubicado en la ciudad de Riobamba.



**Ilustración 3-1:** Etapas de la implementación de la estación de radioaficionados

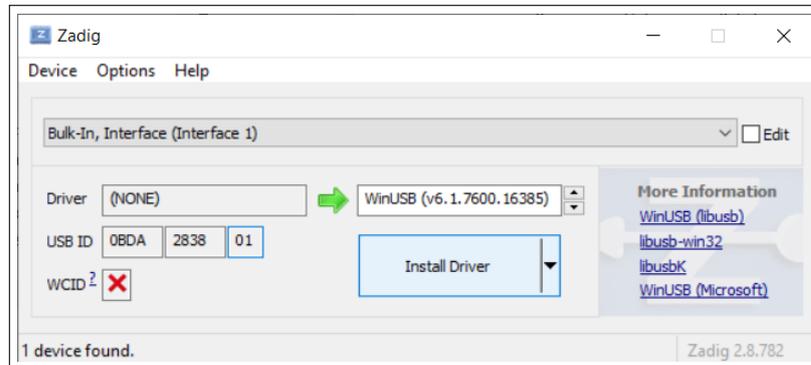
Fuente: Cofre K., 2024.

### 3.2 Instalación de GNU RADIO y controladores

Para la implementación del transceptor en GNU RADIO se utilizó el sistema operativo windows.

### 3.2.1 Zadig

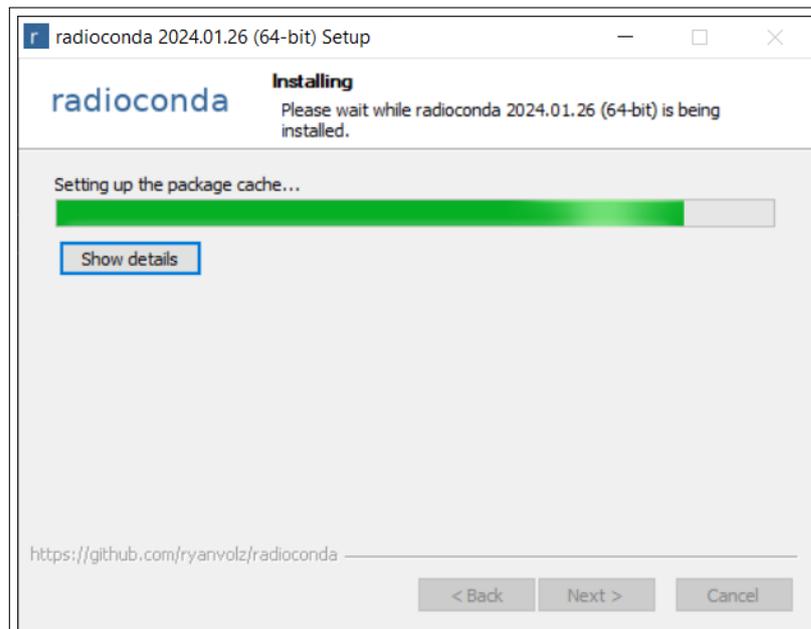
Antes de instalar GNU Radio, se instalaron los controladores para la utilización del HackRF One y el RTL SDR BLOG V4. Para ello se descargó el ejecutable Zadig versión 2.8. En la Ilustración 3-2, se observa la ventana con las configuraciones para el proceso de instalación.



**Ilustración 3-2:** Configuraciones Zadig

**Realizado por:** Cofre K., 2024.

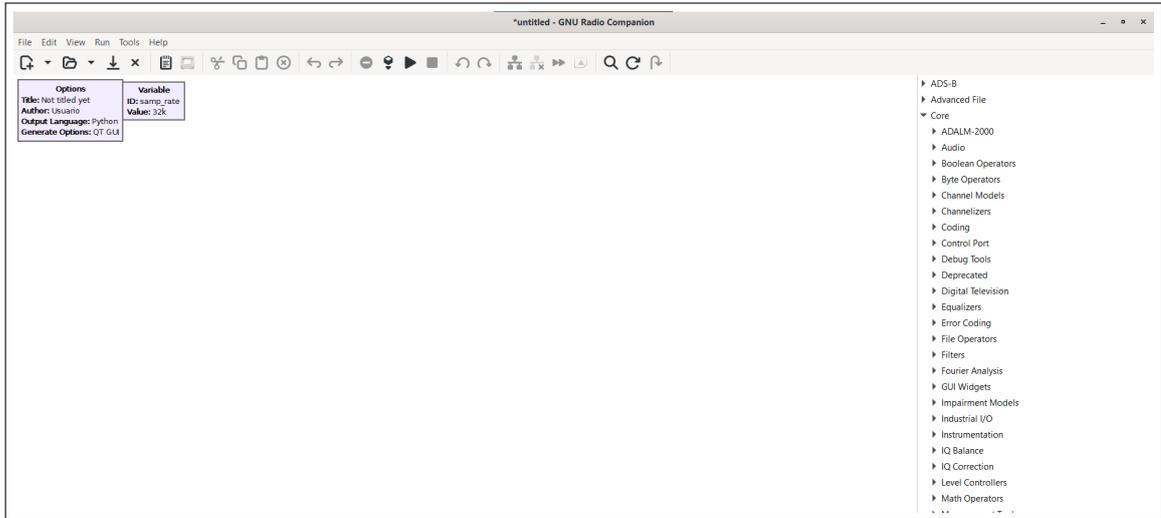
Para instalar el software en el sistema operativo windows, se hizo uso de la página oficial de GNU RADIO. Se descargó la última versión disponible, en este caso es la versión **v3.10.9.2**, se ejecutó como administrador la aplicación e inmediatamente inicia el proceso, en la Ilustración 3-3 se observa el progreso de la instalación,



**Ilustración 3-3:** Instalación de GNU RADIO

**Realizado por:** Cofre K., 2024.

Una vez finalizada la instalación aparece el icono para la ejecución del programa, en la Ilustración 3-4 se observa el entorno de desarrollo.



### **Ilustración 3-4:** Instalación de GNU RADIO

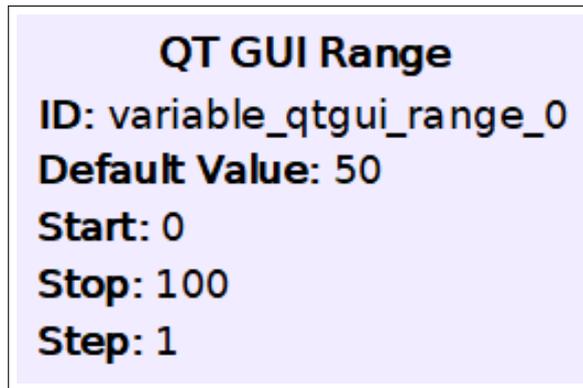
**Realizado por:** Cofre K., 2024.

En la presentación inicial aparecen dos bloques por defecto, el primer bloque es para la configuración general del proyecto y el segundo es una variable en donde inicialmente mostró una tasa de muestreo de 32 kHz. Para iniciar un proyecto se crea un nuevo archivo, eligiendo la opción **File** y posteriormente **New**.

## **3.3 Bloques principales**

### **3.3.1 QT GUI Range**

La Ilustración 3-5 muestra el bloque QT GUI RANGE, permite crear variables que pueden ser modificadas en tiempo real dependiendo del rango que se establezca, el parámetro ID es el identificador global del bloque, el parámetro Default Value, es el valor por defecto que se establece en la variable al iniciar el programa y los últimos 3 parámetros muestran el rango de la variable y los saltos que va a tener al cambiar los valores.

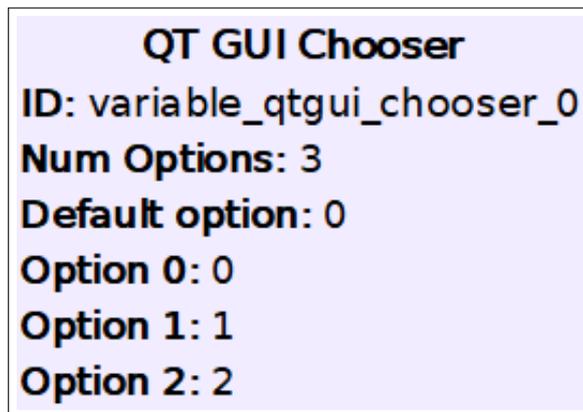


**Ilustración 3-5:** QT GUI RANGE

Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.3.2 *QT GUI Chooser*

El bloque WT GUI Chooser que se muestra en la Ilustración 3-6, sirve para crear un menú de selección, en el que se puede cambiar de funciones en el sistema, por ejemplo, tazas de muestreo, frecuencias de operación, filtros, señal de entrada etc. El parámetro que aparecen en este bloque es: Num Option, la cual indica el número de opciones que tendrá el menú, adicionalmente se puede modificar el tipo de variable, puede ser de tipo string, float, etc.

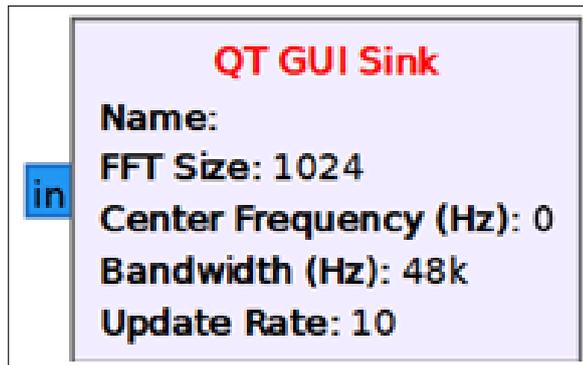


**Ilustración 3-6:** QT GUI CHOOSER

Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.3.3 *QT GUI Sink*

El bloque QT GUI Sink sirve para graficar señales en función del tiempo, frecuencia, waterfall, y constelaciones, un bloque muy útil para presentar señales de transmisión y recepción, adicionalmente el bloque permite modificaciones de las configuraciones en tiempo real, los parámetros de configuración se observan en la Ilustración 3-7

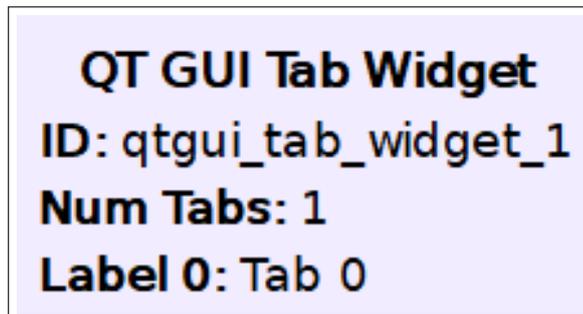


**Ilustración 3-7:** QT GUI SINK

Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.3.4 QT GUI Tab Widget

El bloque QT GUI Tab Widget sirve para crear múltiples pestañas en donde se pueden organizar gráficos, debido a que GNU no puede crear múltiples ventanas de ejecución, es indispensable una organización de gráficos por pestañas, los parámetros correspondientes se observan en la Ilustración 3-8.

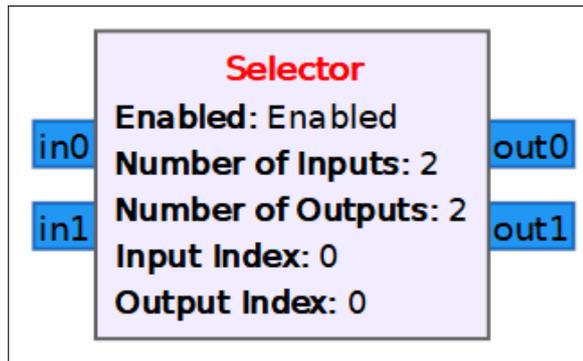


**Ilustración 3-8:** QT GUI TAB Widget

Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.3.5 Selector

El bloque selector que se observa en la Ilustración 3-9, se complementa con el bloque QT GUI Chooser, en el parámetro Number of Inputs/Outputs, se ingresa el ID, dependiendo del enfoque se puede utilizar a la salida o a la entrada del selector, cuando se elige una opción en el menú los otros pines se inhabilitan y solo pasa la información por el pin seleccionado.

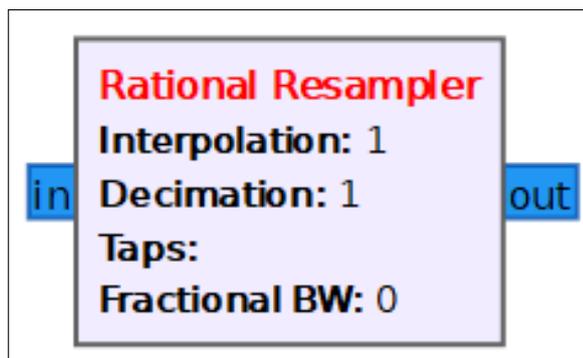


**Ilustración 3-9:** SELECTOR

Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.3.6 *Rational resampler*

En la Ilustración 3-10 se muestra el bloque Rational Resampler, cuya función es aumentar o disminuir la tasa de muestreo para el envío de la señal. El parámetro Interpolation, multiplica la tasa y la Decimation, la divide.

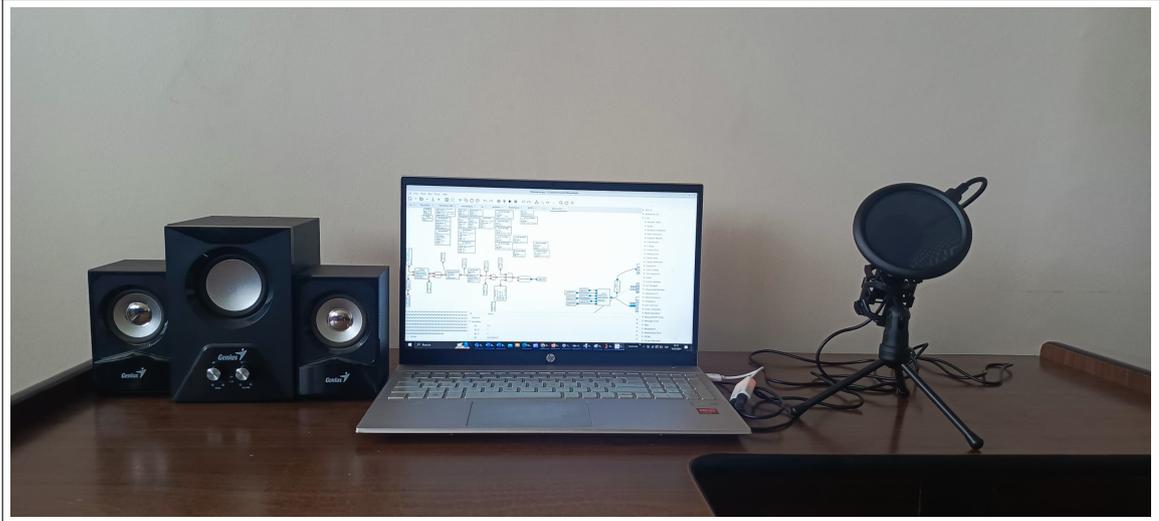


**Ilustración 3-10:** Rational Resampler

Realizado por: Cofre K., 2024.

Estos bloques son fundamentales para la construcción de un entorno de simulación. Además, existen otros bloques como generadores de señales y constantes, así como bloques que facilitan la realización de operaciones matemáticas y el control del fondo, entre otros. En GNU RADIO, la diferenciación entre los formatos de señal se realiza mediante colores específicos en los pines: el azul indica un formato complejo, mientras que el naranja señala un formato flotante.

### 3.4 Acoplamiento de entrada y salida de audio



**Ilustración 3-11:** Entrada y salida de Audio

**Realizado por:** Cofre K., 2024.

Para la entrada y salida de audio en el computador se realizó la adquisición de un adaptador de audio, un Alta voz Genius, y un micrófono con filtro POP que se observan en las ilustraciones 2-10 y 2-9 respectivamente, mediante el cual se buscó mejorar la calidad de ingreso y salida de la señal de audio.

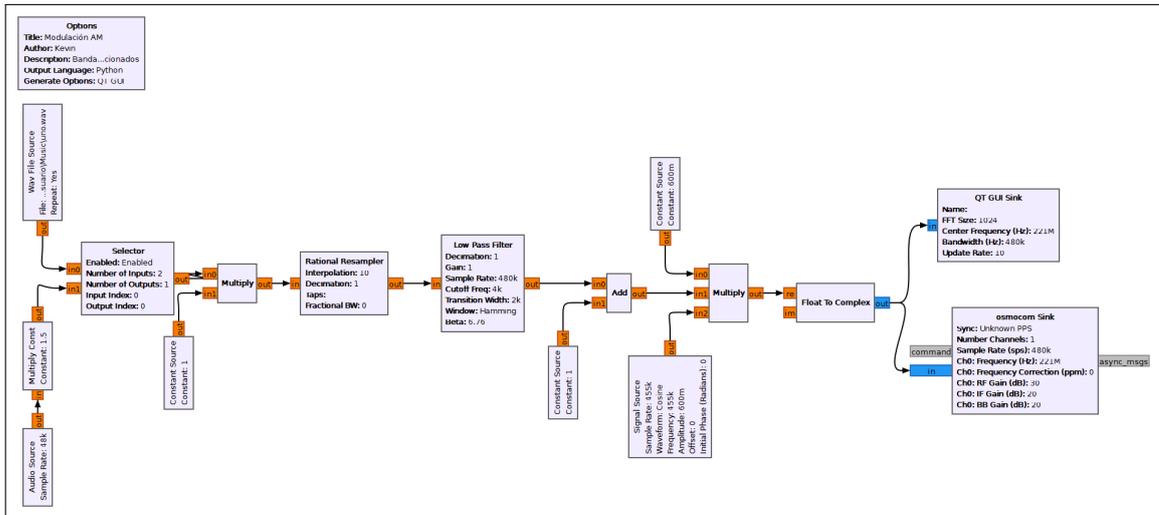
En primer lugar, se colocó la computadora en una superficie estable. Luego, se procedió a conectar el parlante Genius y el micrófono al adaptador para que se puedan conectar los dos dispositivos al computador, posteriormente se realizaron pruebas prácticas reproduciendo audio a través del parlante y grabando con el micrófono, ajustando los niveles de entrada y salida según fuera necesario para obtener la calidad de audio deseada, los dispositivos conectados se observan en la Ilustración 3-11.

### 3.5 Sistema transceptor en GNU Radio

#### 3.5.1 Sistema transmisor

Para cada una de las modulaciones analógicas empleadas en GNU RADIO, se utilizó la envolvente compleja en modulaciones como: AM, DSB-SC y bloques predefinidos que proporciona el software para Modulaciones de Banda lateral Unica (SSB) y FM.

### 3.5.1.1 Modulación AM



**Ilustración 3-12:** Modulación AM

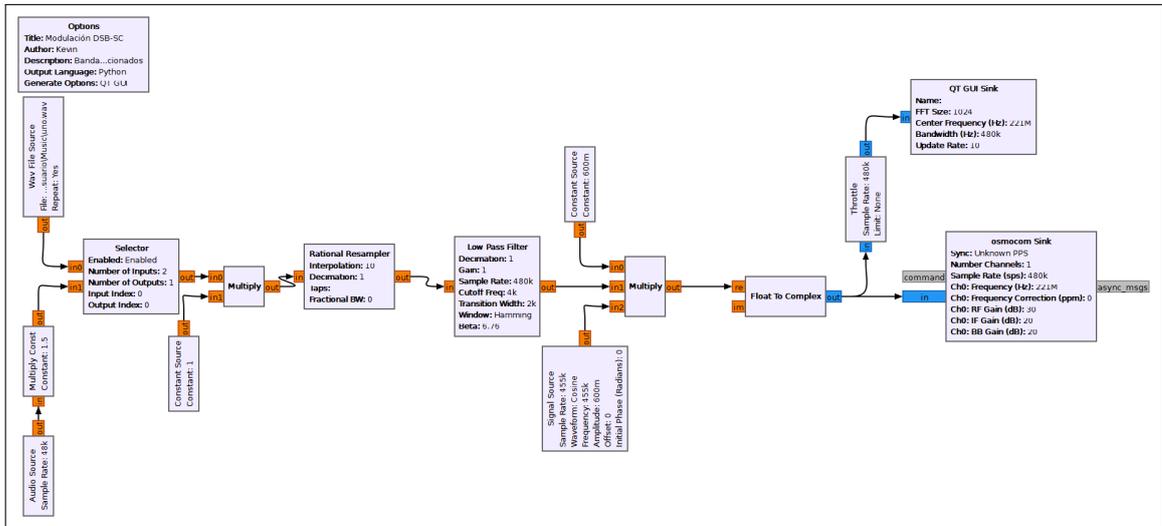
**Realizado por:** Cofre K., 2024.

Para cada una de las modulaciones se inició con dos bloques de entrada aplicadas a un selector en donde se puede elegir la señal de entrada, dicha señal puede ser voz o un archivo .wav, cabe recalcar que el archivo .wav debe estar descargado en el ordenador. A la señal de voz se aplicó un nivel de ganancia al multiplicar la señal con una constante, luego se utilizó una interpolación de 10 en el bloque Rational Resampler al muestreo principal que en este caso es de 48 kHz cuya salida será de 480 kHz para aplicar un primer filtrado de la señal a 4 kHz.

Después del primer preprocesamiento se realizó la modulación AM aplicando la Ecuación 2-3, la cual involucra la envolvente compleja para la modulación respectiva. Finalmente la señal modulada es enviada al bloque OSMOCON que pertenece al HackRF One para la transmisión. El diagrama de bloques se observa en la Ilustración 3-12.

Cabe recalcar que en el sistema se utilizó una etapa de IF, a una frecuencia de 455 kHz, cuyo valor será utilizado para cada una de las modulaciones, y el bloque OSMOCON actúa como un **UP Converter** elevando la frecuencia a las frecuencias de operación.

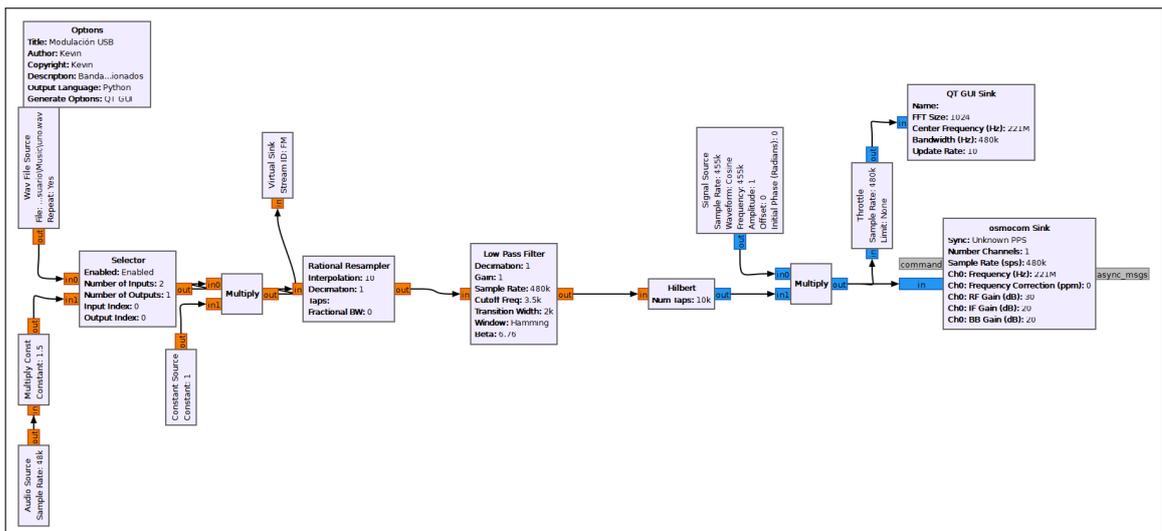
### 3.5.1.2 Modulación DSB-SC



**Ilustración 3-13: Modulación DSB-SC**  
Realizado por: Cofre K., 2024.

Para la modulación DSB-SC se aplicó el mismo principio de la modulación AM, la única diferencia en la Ecuación 2-3 es que se suprime la componente de DC (offset). En la Ilustración 3-13 después del primer filtrado se multiplicó la señal eliminando el offset, posteriormente todo el proceso es el mismo, de esta manera se obtiene la modulación DSB-SC.

### 3.5.1.3 Modulación USB

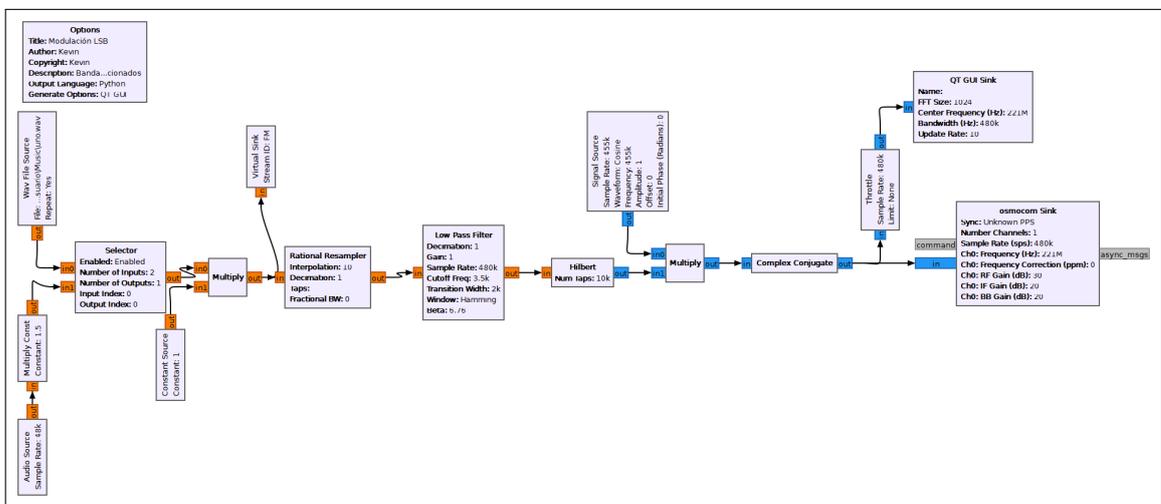


**Ilustración 3-14: Modulación USB**  
Realizado por: Cofre K., 2024.

Para la modulación USB, se hizo uso del filtro de Hilbert a la señal de entrada, posteriormente se realizó la modulación banda base multiplicando la señal por una señal sinusoidal para la modulación banda base, finalmente se aplicó el bloque OSMOCON del HackRF One que eleva la frecuencia a la banda deseada, los bloques explicados se observan en la Ilustración 3-14.

### 3.5.1.4 Modulación LSB

Para la modulación LSB se utilizó la misma modulación USB, para cambiar a LSB se aplicó la conjugada antes de enviar al bloque OSMOCON del HackRF One, el cambio se puede observar en la Ilustración 3-15.



**Ilustración 3-15:** Modulación LSB

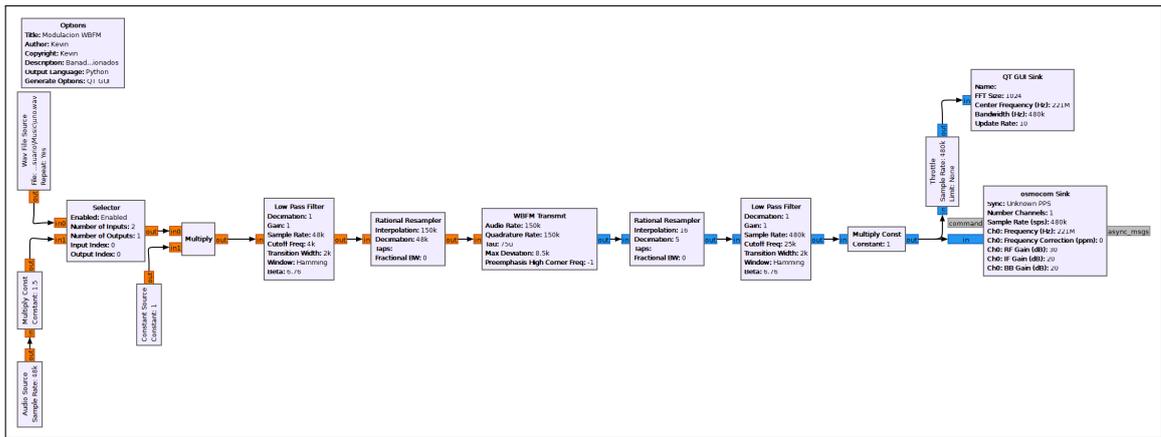
Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.5.1.5 Modulación WBFM

En el contexto de la modulación WBFM destinada a radioaficionados, se establece un ancho de banda aceptado de 25 kHz. El ancho de banda de la voz humana está entre 300 y 3000 Hz, debido a ello se utilizó un valor de 4 kHz para garantizar una banda de guarda en el caso de que las componentes lleguen a superar el rango establecido, este valor provocó un índice de modulación de 2,125 para lograr a la salida un ancho de banda de 25 kHz, lo cual se obtuvo evaluando la Ecuación 2-8. La implementación de la modulación se simplifica mediante el uso de un bloque WBFM predefinido en GNU RADIO.

El diseño se observa en la Ilustración 3-16, comienza con dos posibles señales de entrada: voz o un archivo .wav. Posteriormente, se aplicó un filtrado a la señal banda base, seguido por la aplicación de un bloque que facilita el aumento de la tasa de muestreo. Luego, se realizó otro re-muestreo antes de

dirigir la señal al bloque OSMOCON del HackRF One.

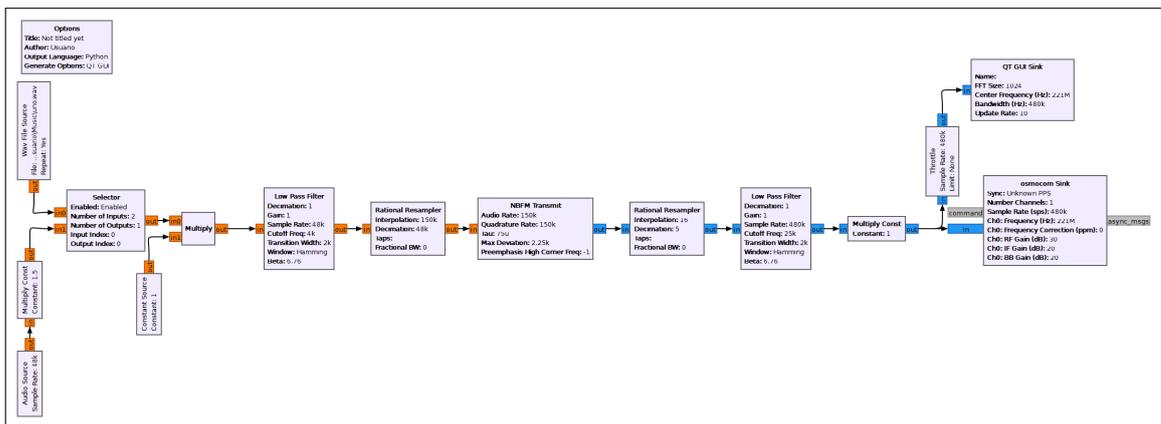


**Ilustración 3-16:** Modulación WBFM

Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.5.1.6 Modulación NBFM

La modulación NBFM se rige por el mismo principio que la modulación WBFM. La diferencia principal radica en el bloque de modulación y en el ancho de banda de transmisión. En el caso de NBFM, el ancho de banda de transmisión es de 12,5 kHz, lo cual implica la modificación del índice de modulación, ajustándolo a un máximo de 0,5625 para lograr el ancho de banda deseado. Los bloques con estos parámetros modificados se pueden visualizar en la Ilustración 3-17. Así mismo, para determinar los parámetros apropiados, se hizo uso de la Ecuación 2-8.



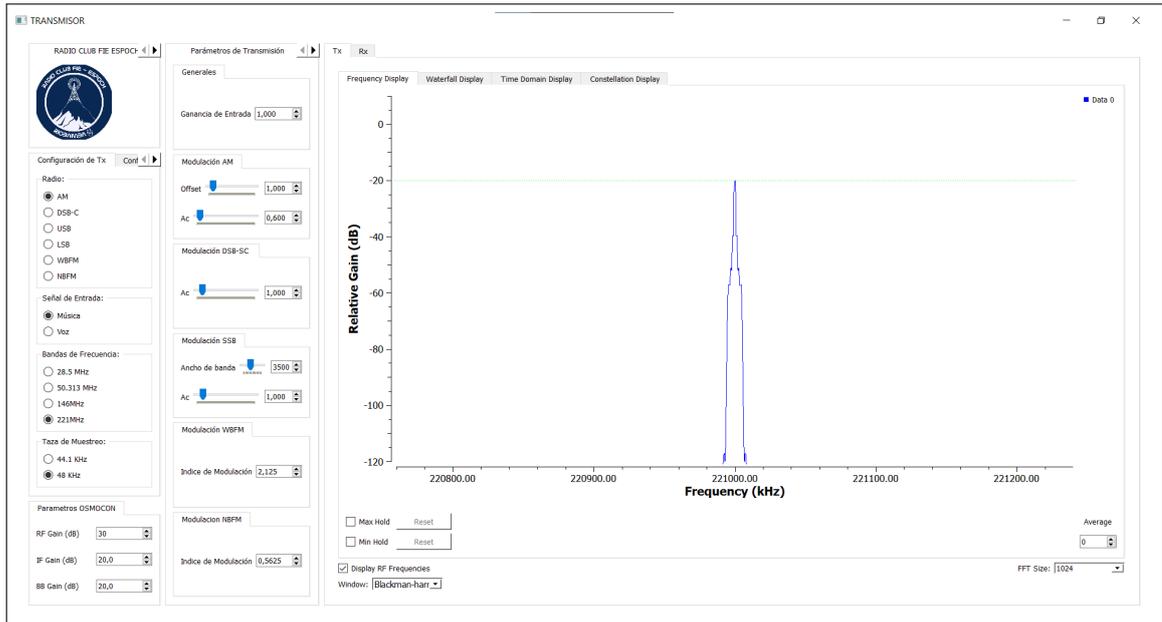
**Ilustración 3-17:** Modulación NBFM

Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.5.2 Sistema de transmisión general

Una vez finalizada las configuraciones de todas las modulaciones analógicas, se agrupó cada una en un archivo de configuración general, la interfaz principal se observa en la Ilustración 3-18. Para el

diseño se hizo uso de bloques como: QT GUI RANGE, QT GUI TAB Widget, Selector, Virtual Sink, QT GUI Graphic ITEM, y QT GUI Background.



**Ilustración 3-18:** Sistema transmisor  
**Realizado por:** Cofre K., 2024.

### 3.5.3 Sistema receptor

Para el sistema de recepción se hizo uso de bloques creados que proporciona GNU RADIO, tanto para modulaciones en amplitud como modulaciones en frecuencia.

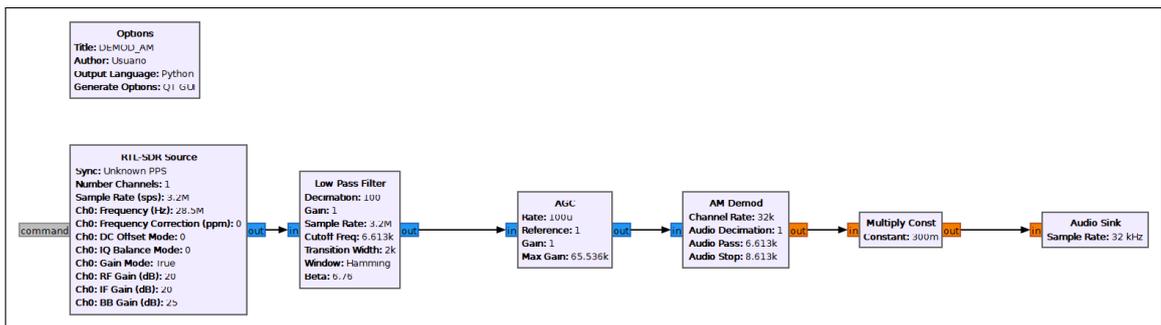
#### 3.5.3.1 Demodulación AM

Para realizar la demodulación AM, se inició con el bloque RTL-SDR SOURCE, ajustando las portadoras a las frecuencias deseadas para la recepción de la señal. En este ejemplo, se trabajó con una frecuencia central ( $F_c$ ) de 221 MHz y una tasa de muestreo de 3,2 MHz. El bloque SDR de recepción traslada la frecuencia sintonizada a banda base para facilitar el procesamiento de la señal en la computadora.

Después de la sintonización, se aplicó un filtro pasa bajos con un ancho de banda superior a los 4 kHz. En este caso, se optó por utilizar un ancho de banda de 6,613 kHz con un ancho de transición de 2 kHz. Se realizó un proceso de diezmado en el filtro, con un valor de 100, dando como resultado a la salida una tasa de 32 kHz. Posteriormente se aplicó un Control automático de ganancia (AGC) con parámetros predeterminados. La función del AGC es detectar el nivel de la señal de entrada para

mantener una amplitud constante y optimizar la calidad de la señal.

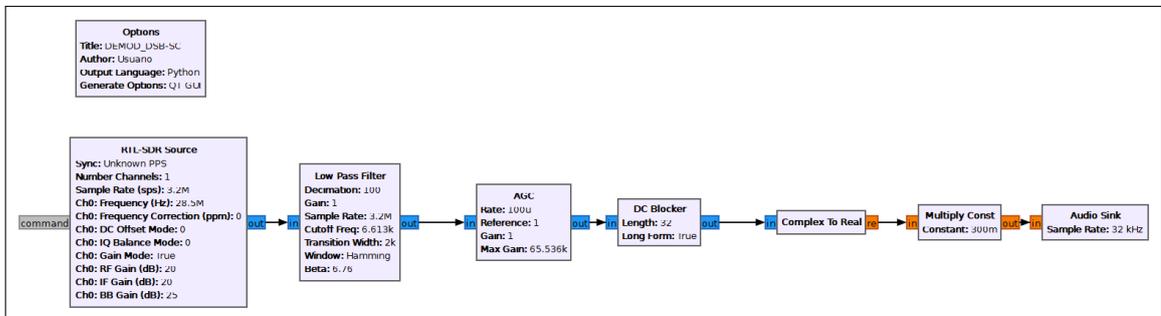
Luego, se aplicó el bloque AM Demod, que funciona como un detector de envolvente. El parámetro Channel Rate se estableció en 32 kHz la cual es la tasa de llegada de la señal. El parámetro Audio Decimation se configura en 1, ya que se tiene una tasa óptima para escuchar la señal. El rango de frecuencia de aceptación se establece en 6,613 kHz, con un ancho de transición de 2 kHz. Finalmente, se conectó al bloque Audio Sink, cuya función es reproducir la señal recibida. Los bloques interconectados se pueden observar en la Ilustración 3-19.



**Ilustración 3-19:** Demodulación AM

Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.5.3.2 Demodulación DSB-SC



**Ilustración 3-20:** Demodulación DSB-SC

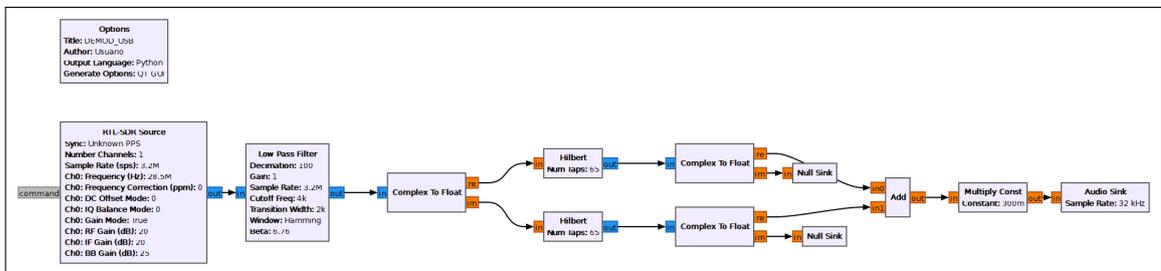
Realizado por: Cofre K., 2024.

Para el receptor DSB-SC se utilizó los mismos tres bloques iniciales presentadas en el receptor AM, posteriormente se aplicó un DC Blocker cuya función es eliminar la componente de DC, después se aplica un convertidor de complejo a real, y los últimos dos bloques constan del volumen seguido del bloque audio sink, su diagrama se observa en la Ilustración 3-20.

### 3.5.3.3 Demodulación USB

Para la recepción USB, se utilizó la Transformada de Hilbert. Después de la etapa de recepción mediante el bloque SDR, se implementó un filtro pasa bajos con una frecuencia de corte de 4 kHz y una frecuencia de transición de 2 kHz. Luego, se empleó un convertidor de complejo a tipo FLOAT para separar la señal en sus componentes real e imaginaria. La transformada de Hilbert se aplicó a ambas partes (real e imaginaria).

Para obtener la banda USB se suman las señales resultantes de la transformada de Hilbert en ambas partes. Finalmente, se aplicó un control de volumen y, como último paso, se hace uso del bloque audio sink para permitir la escucha de la señal recibida. El esquema de este proceso se visualiza en la Ilustración 3-21.

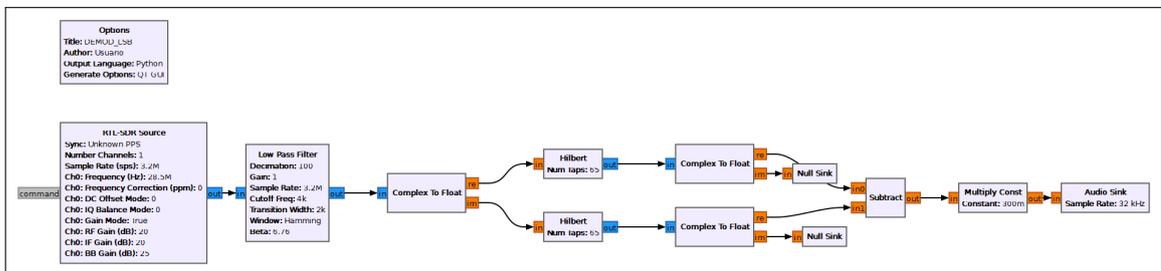


**Ilustración 3-21:** Demodulación USB

Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.5.3.4 Demodulación LSB

Para la banda LSB, se utilizó el mismo principio que la demodulación USB, con la diferencia en el bloque de adición en este caso a la salida de la transformada de Hilbert se aplica un bloque de resta como se observa en la Ilustración 3-22.



**Ilustración 3-22:** Demodulación LSB

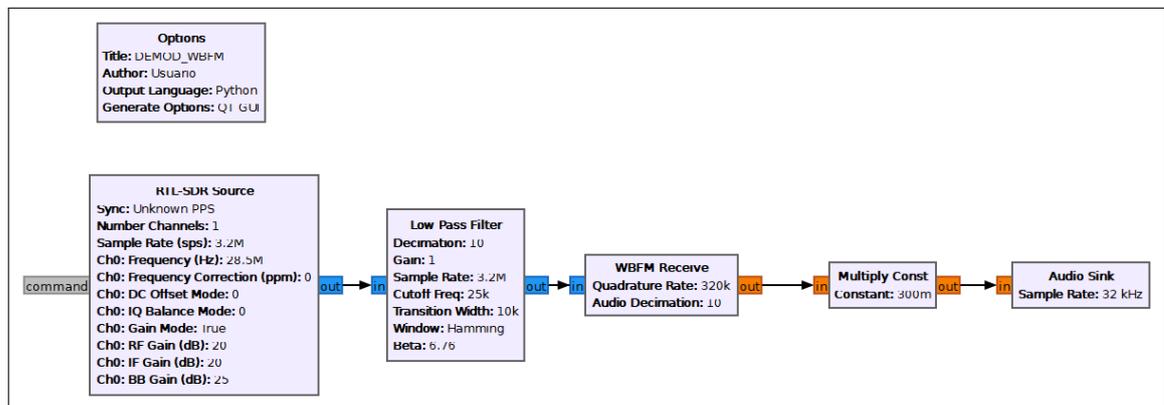
Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.5.3.5 Demodulación WBFM

Para la recepción de señales de radio WBFM, como se ilustra en la Ilustración 3-23, se aplicó un filtro pasa bajos a la salida del bloque SDR. Este filtro tiene una frecuencia de corte de 25 kHz y una transición de 2 kHz, adaptándose a una frecuencia de muestreo de 3.2 MHz. Se realizó un proceso de diezmado con un factor de 10 para obtener una tasa de salida de 320 kHz. Luego, se introduce el bloque WBFM Receive, dicho bloque es una construcción jerárquica diseñada para demodular señales de modulación de frecuencia de radiodifusión.

En comparación con el bloque WBFM Receive PLL, este bloque realiza una demodulación mono simple con deénfasis, ofreciendo una opción más básica y eficiente, especialmente adecuada para aplicaciones de radioaficionados que no requieren una demodulación estéreo completa.

Los parámetros clave del bloque incluyen la "Velocidad de canal", que determina la frecuencia de muestreo de la entrada de banda base compleja (flotante). Así mismo, se configuró el parámetro de diezmado con un valor de 10, dando como resultado en una tasa de 32 kHz. Finalmente, se incorporó un bloque de control de volumen antes de conectar la señal al bloque Audio Sink. Este diseño ofrece una solución efectiva y ajustable para la recepción de señales WBFM, proporcionando flexibilidad y adaptabilidad en diferentes escenarios de transmisión



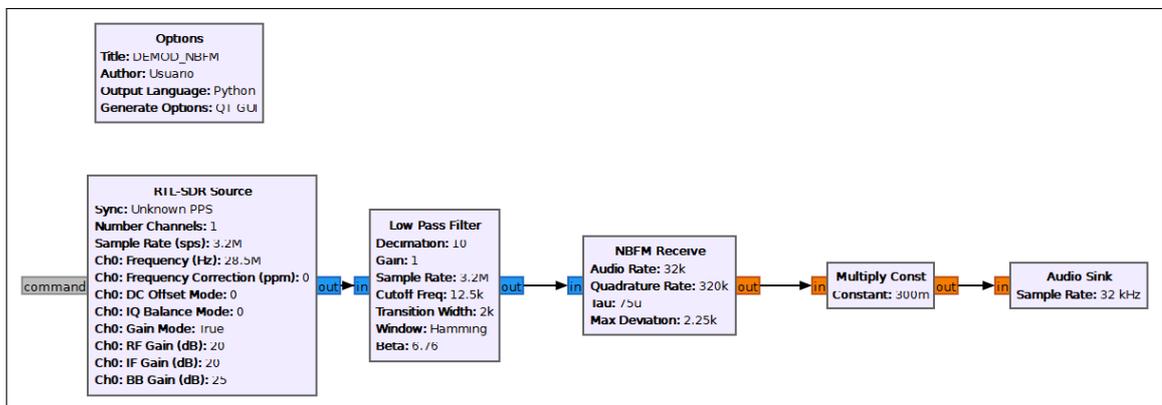
**Ilustración 3-23:** Demodulación WBFM

Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.5.3.6 Demodulación NBFM

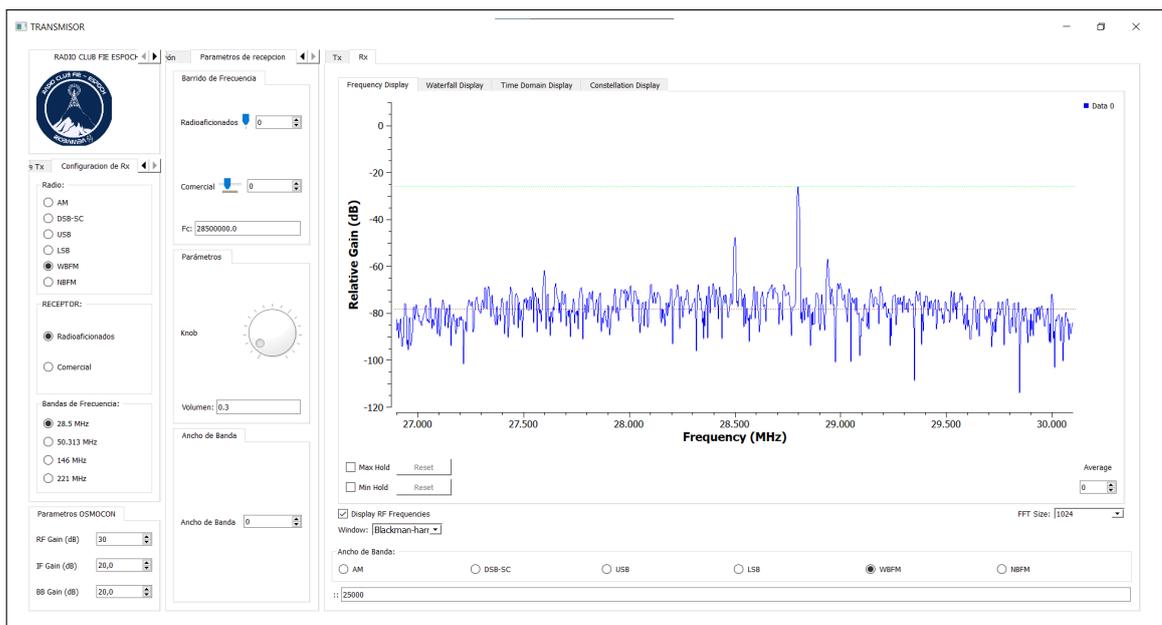
Para recepción NBFM, se utilizó el mismo principio que WBFM, se insertó a la entrada un filtro pasa bajos con un ancho de banda aceptable de 12,5 kHz, posteriormente el bloque NBFM que es diseñado para procesar un único flujo de entrada de banda base complejo y generar un solo flujo de

salida de muestras de audio en formato flotante, sus parámetros ajustables en tiempo de ejecución incluyen la "Velocidad de audio", que representa la frecuencia de muestreo de la transmisión de audio y debe ser mayor o igual a 16 kHz en este caso se utiliza un valor de 32 kHz, la "Tasa de cuadratura", que define la frecuencia de muestreo del flujo de entrada cuyo valor es de 320 kHz y cumple con la condición de ser un múltiplo entero de la velocidad de audio, y "Tau", como la constante de tiempo de preénfasis. De igual forma después del bloque se insertó un control de volumen para conectar al bloque audio sink. Este diseño ofrece flexibilidad para adaptarse a diferentes condiciones de transmisión, brindando una salida de audio en un formato óptimo para su procesamiento y reproducción. El diseño se puede observar en la Ilustración 3-24.

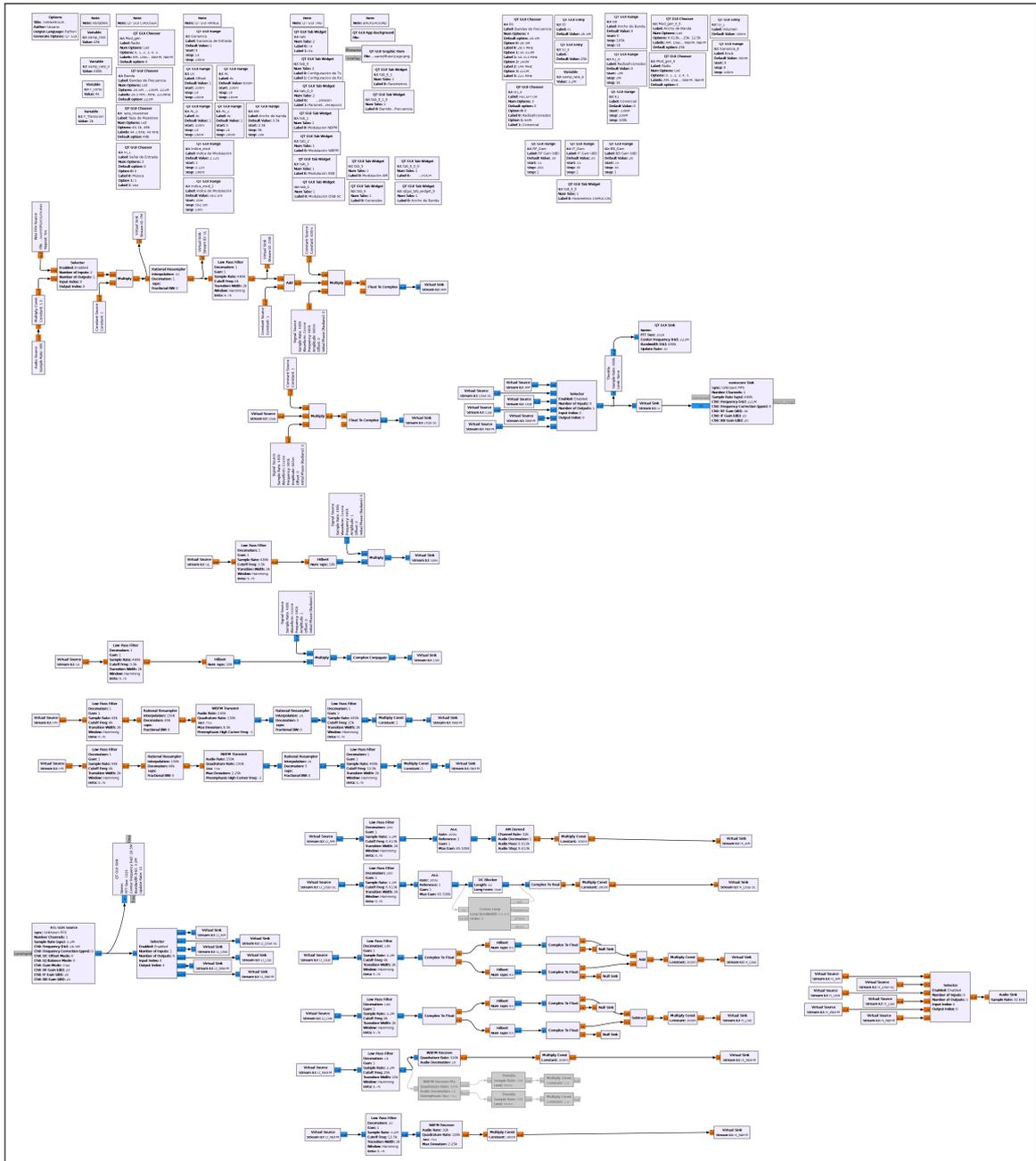


**Ilustración 3-24:** Demodulación NBFM  
Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.5.3.7 Sistema de recepción general



**Ilustración 3-25:** Sistema receptor  
Realizado por: Cofre K., 2024.



**Ilustración 3-26: Convergencia de bloques GNU**

**Realizado por:** Cofre K., 2024.

Al igual que el sistema Transmisor se hizo la integración de cada una de las modulaciones, el sistema tiene la opción para poder seleccionar las bandas de frecuencia que se desee sintonizar, cuenta con controles de: volumen, barrido de frecuencia, ancho de banda y adicionalmente el sistema tiene la opción de seleccionar el tipo de receptor, puede ser comercial o solo para radioaficionados, la interfaz se observa en la Ilustración 3-25

En la Ilustración 3-26, se observa el sistema tranceptor, el archivo consta de la integración de

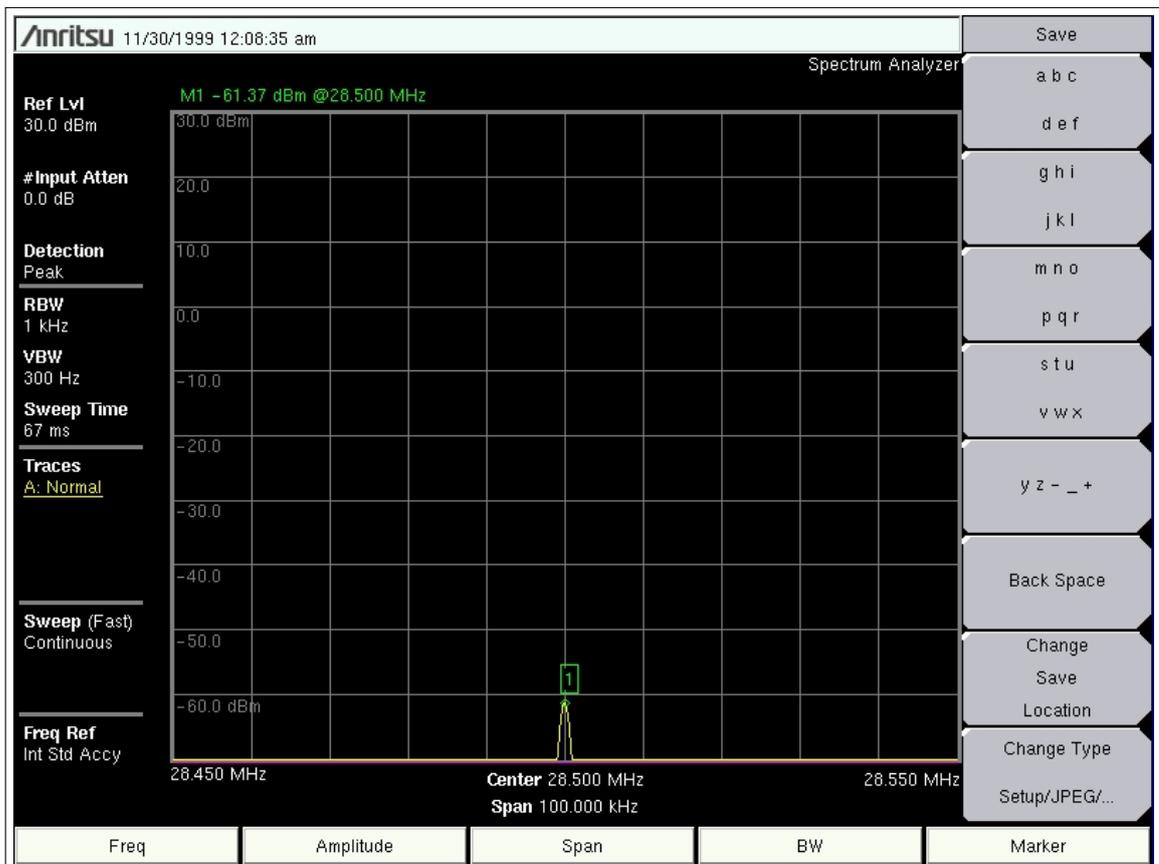
cada una de las modulaciones y demodulaciones, en la cual se hizo uso de bloques que permiten la interactividad entre funciones como QT GUI CHOOSER, QT GUI RANGE, QT GUI TAB, Selectores, etc.

### 3.6 Sistema de amplificación

#### 3.6.1 Pruebas de potencia de emisión con el HackRF One

Para las pruebas realizadas, se hizo uso de una transición SMA macho a macho para la conexión directa entre HackRF One y el analizador de espectros. La conexión respectiva se observa en el Anexo E. El dispositivo cuenta con ganancias internas que pueden ser elevadas por el usuario; el rango oscila entre 0 y 30 dB de ganancia a parámetros como IF, RF y Banda Base.

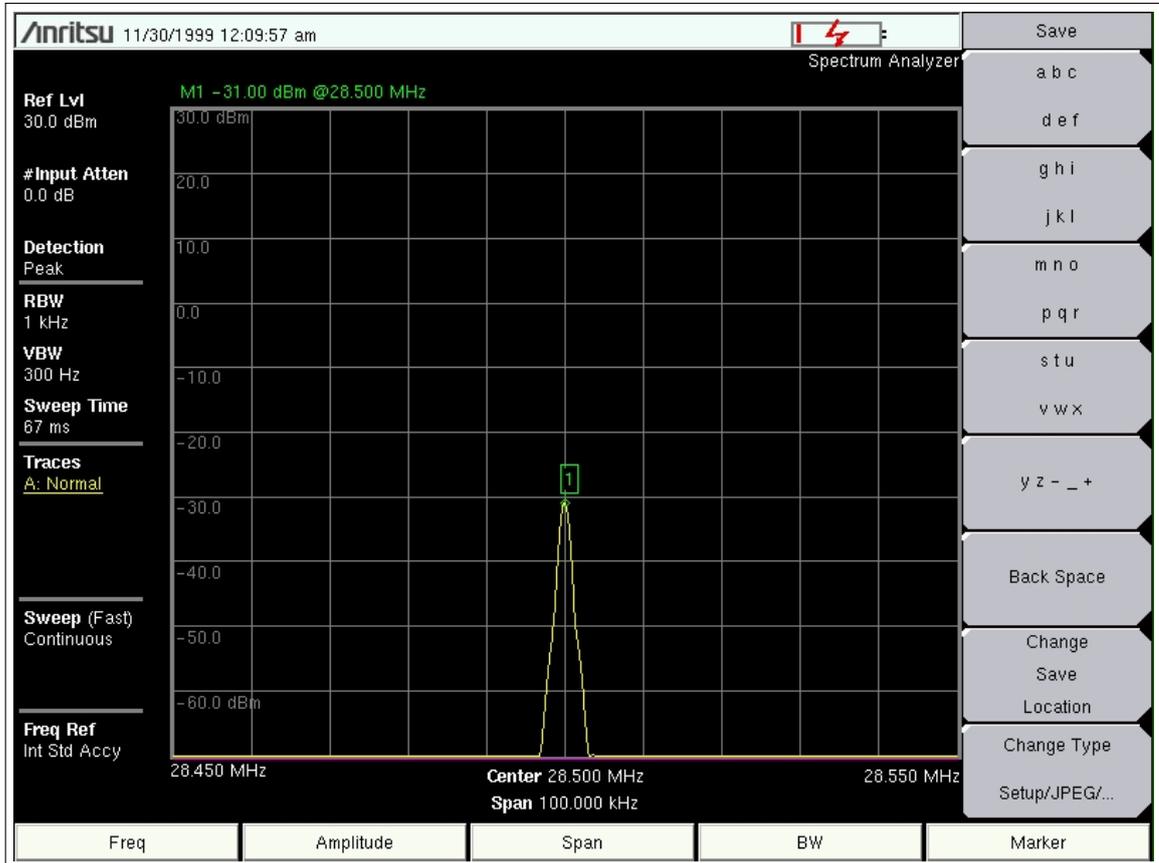
Para ello, la primera medición que se realizó fue utilizando el dispositivo con la mínima ganancia, dando como resultado un valor de -60 dBm de potencia de transmisión, lo cual implica una potencia relativamente baja. En la Ilustración 3-27 se observa la medición realizada.



**Ilustración 3-27:** Potencia mínima de transmisión del HackRF One

Realizado por: Cofre K., 2024.

La segunda medición se realizó utilizando la ganancia total del HackRF One, lo que implica un aumento máximo de 30 dB, y el resultado es el esperado: un valor de -30 dBm a su capacidad máxima. En la Ilustración 3-28 se observa la medición realizada. Este resultado indica que la potencia sigue siendo muy baja, por este motivo se optó por un preamplificador para elevar la potencia de transmisión inicial.



**Ilustración 3-28:** Potencia máxima de transmisión del HackRF One  
Realizado por: Cofre K., 2024.

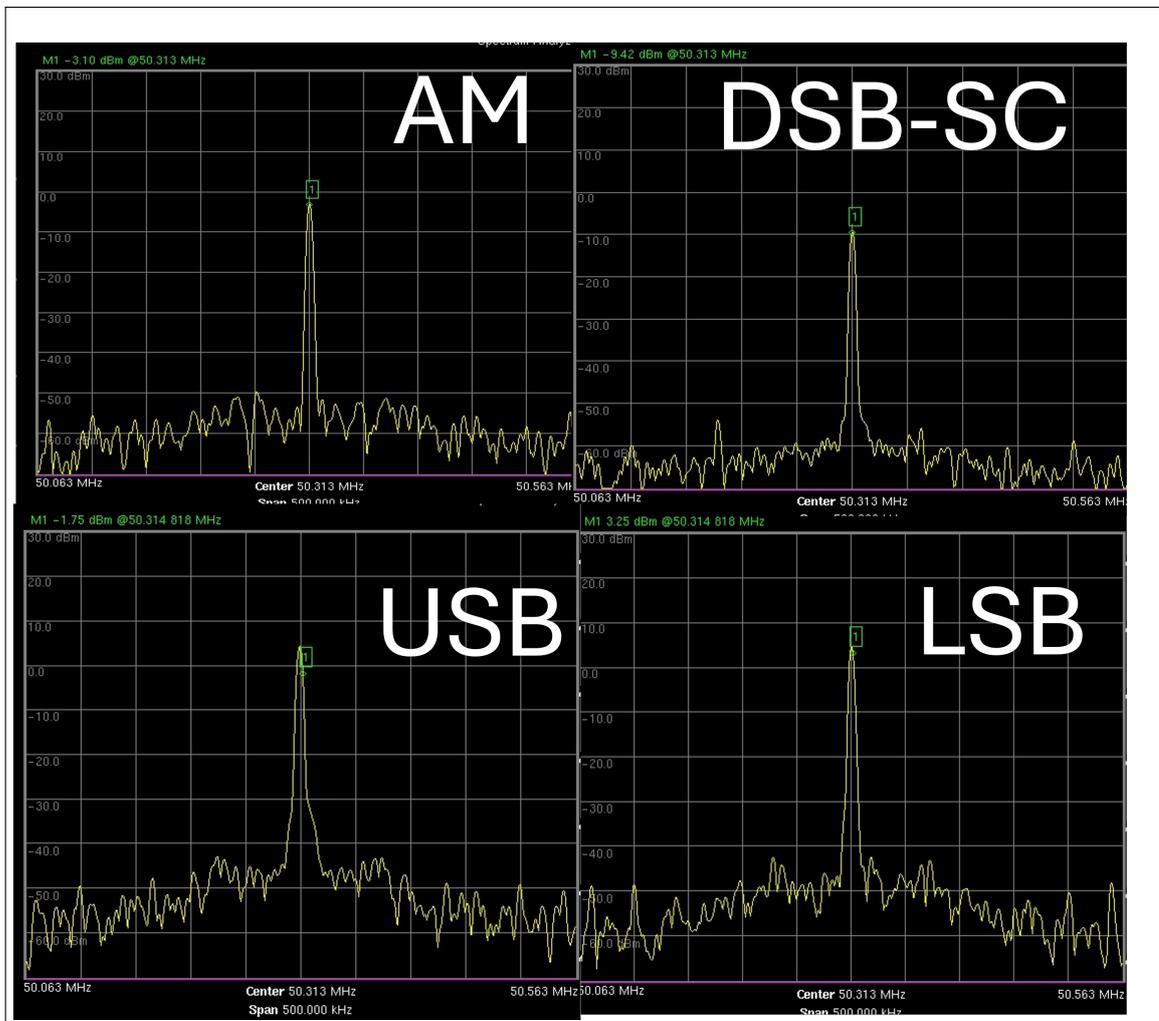
### 3.6.2 Mediciones de potencia de transmisión del HackRF One con el preamplificador

Para el aumento de la potencia de transmisión, se hace uso del preamplificador que se observa en la Ilustración 2-13. Este dispositivo realiza un incremento de 33 dB, de acuerdo a las especificaciones técnicas. Según las pruebas realizadas, se pudo observar que el preamplificador varía su rendimiento.

- AM, DSB-SC, LSB, USB

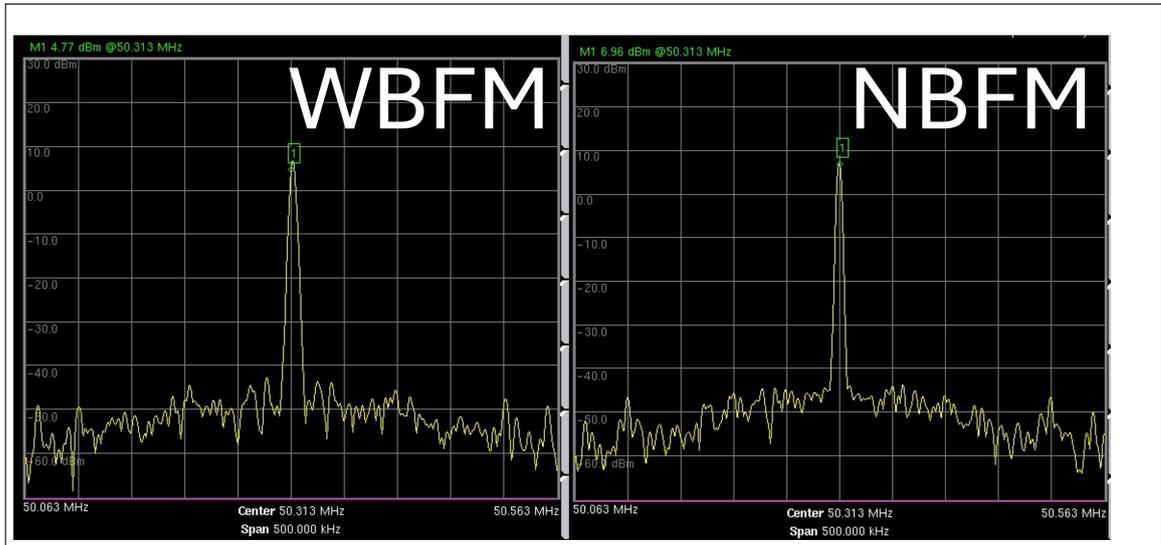
En la Ilustración 3-29, se observan las respuestas de potencias en las modulaciones AM, DSB-SC, LSB y USB, evidenciándose la variación de la potencia máxima de salida. Los resultados fueron de -3,10 dBm, -9,42 dBm, -1,75 dBm y 3,25 dBm, respectivamente. Cabe

resaltar que los valores no son fijos, ya que existe aleatoriedad según se envía la información. Estas pruebas se realizaron en la banda de 50,313 MHz. En la Ilustración 3-30, se observan las respuestas con modulaciones WBFM y NBFM. La particularidad es que la potencia de transmisión se mantiene en un valor casi fijo. Para WBFM, se tuvo un valor de 4,77 dBm, y para NBFM, 6,96 dBm. De esta forma se comprueba el comportamiento de las modulaciones en amplitud y modulaciones en frecuencia. No obstante, los valores tienden a cambiar en distintas frecuencias. Para analizar esto, se realizó un análisis en cada banda utilizando la modulación NBFM, que es más estable para su transmisión. Las conexiones de medición se observan en el Anexo F. Para la banda de 28,5 MHz se tuvo una potencia de 5,74 dBm, para 146 MHz un valor de 6,96 dBm, para 146 MHz un valor de 5,90 dBm y para 221 MHz, 9,72 dBm. Cada uno de los resultados se observa en la Ilustración 3-31.



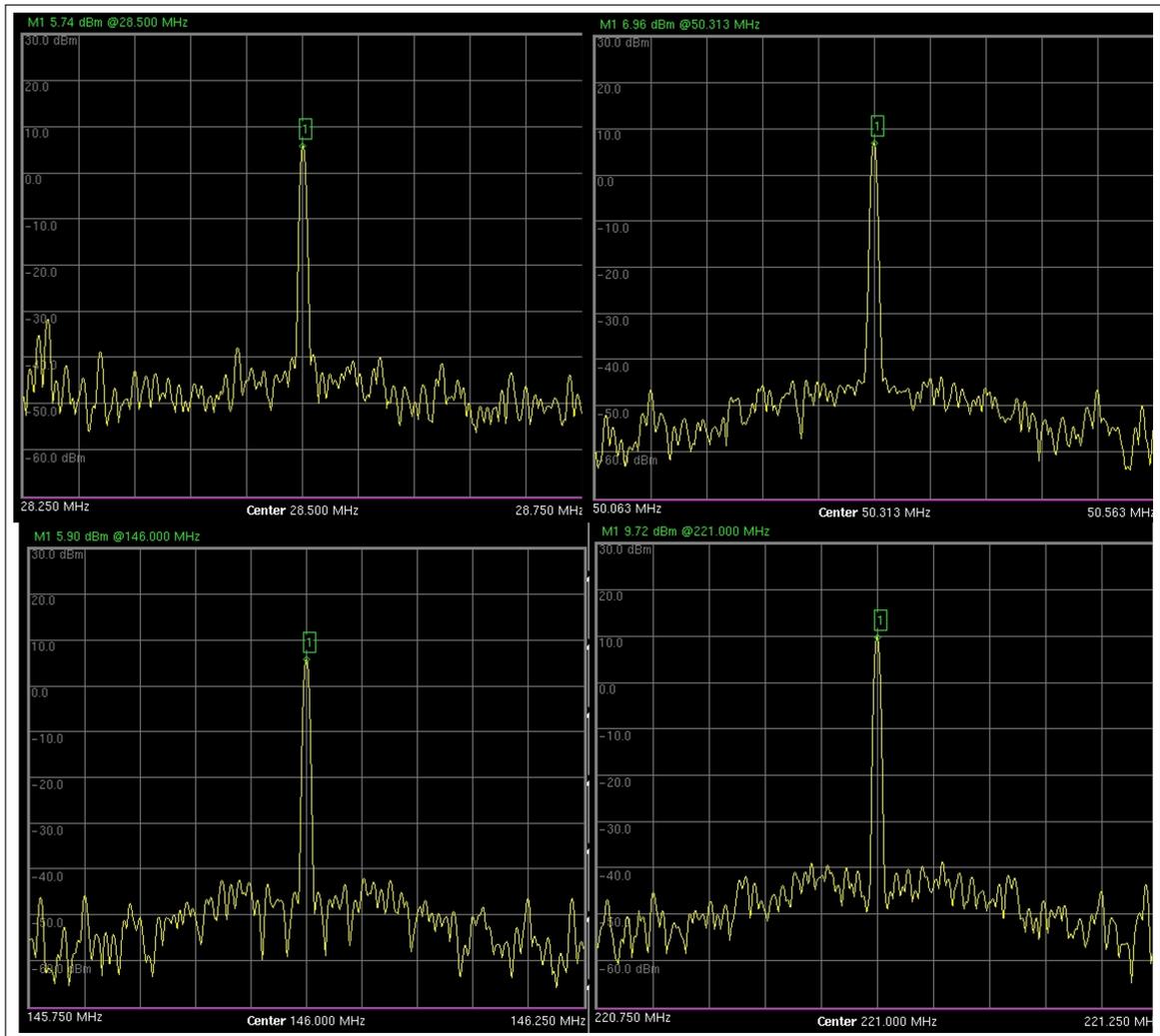
**Ilustración 3-29:** Potencias de salida del preamplificador en AM, DSB-SC, SSB

Realizado por: Cofre K., 2024.



**Ilustración 3-30:** Potencias de salida del preamplificador en WBFM y NBFM

Realizado por: Cofre K., 2024.

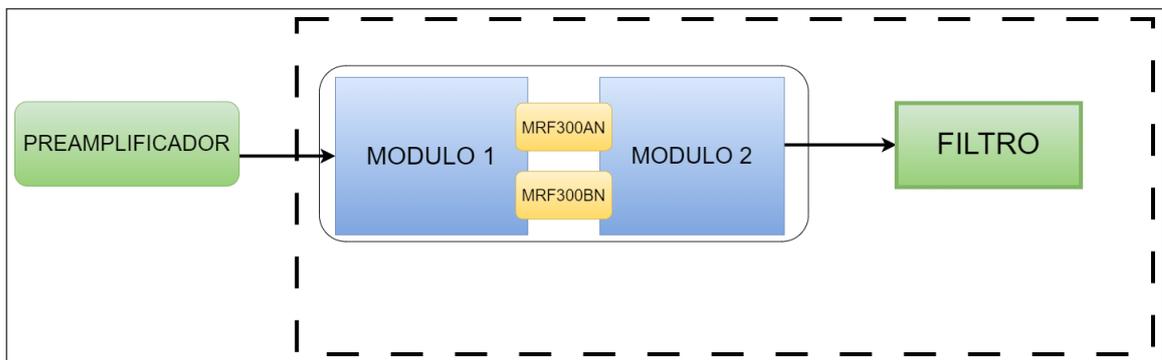


**Ilustración 3-31:** Variabilidad de potencias del Preamplificador

Realizado por: Cofre K., 2024.

Por tal motivo, se lleva a cabo la implementación de un amplificador lineal de alta potencia en la etapa de transmisión de la estación de radioaficionados. Esto se justifica esencialmente por la necesidad de potenciar las señales emitidas, asegurando que la señal irradiada alcance distancias deseadas y supere obstáculos adversos. Dado que el HackRF One emite señales con baja potencia, el amplificador se convierte en un componente clave para elevar la potencia de transmisión, mejorando así la calidad y la fiabilidad de la comunicación. La implementación de la etapa de amplificación se dividió en dos partes, una destinada a la banda HF y otra a la banda VHF.

### 3.6.3 Banda HF



**Ilustración 3-32:** Diseño del amplificador lineal para la banda HF

Realizado por: Cofre K., 2024.

Para la banda HF, se utilizaron módulos que van interconectados entre sí para la etapa de transmisión. La Ilustración 3-32 muestra el diseño de la etapa de amplificación.

Este diseño consta de un preamplificador, un módulo general que emplea transistores LDMOS y un filtro pasa bajos. Cada módulo se observa en las Ilustraciones 2-13, 2-14 y 2-16, respectivamente. Para la operación eficaz del módulo general, se requiere que la señal de entrada cuente con una potencia en el orden de los W sin embargo puede funcionar con potencias en el orden de los mW. Dado que el HackRF One emite señales con potencias en el orden de uW, es necesario implementar un preamplificador.

#### 3.6.3.1 Integración de la fuente de alimentación al preamplificador

De acuerdo a las características técnicas el Preamplificador funciona con un voltaje de 12 V, para lo cual se hizo uso de la Fuente que se observa en la Ilustración 2-16. Para corroborar el valor de voltaje se hizo la medición utilizando un multímetro, la medición respectiva se observa en la Ilustración 3-33. El resultado de la medición fue de 12,10 V, cuyo valor es aceptable para el funcionamiento del

preamplificador, para integrar la fuente de alimentación en el módulo respectivo se soldó la parte positiva y negativa en los pines correspondientes como se observa en la figura 3-34.

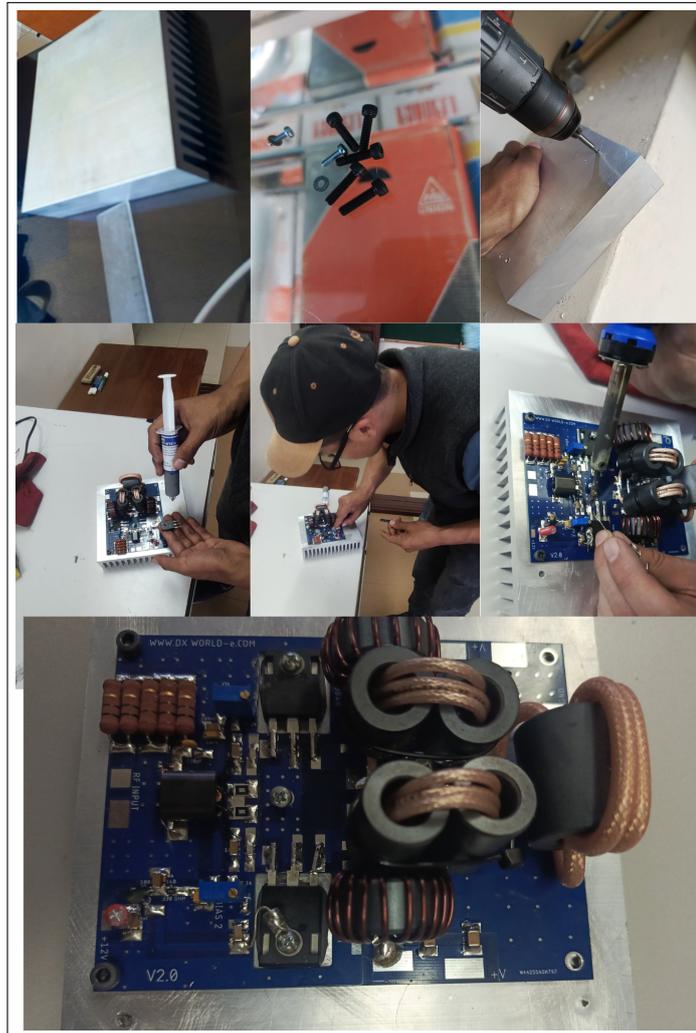


**Ilustración 3-33:** Medición de la Fuente de 12 V  
Realizado por: Cofre K., 2024.



**Ilustración 3-34:** Preamplificador alimentado con 12 V  
Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.6.3.2 Acoplamiento del modulo amplificador al disipador de calor



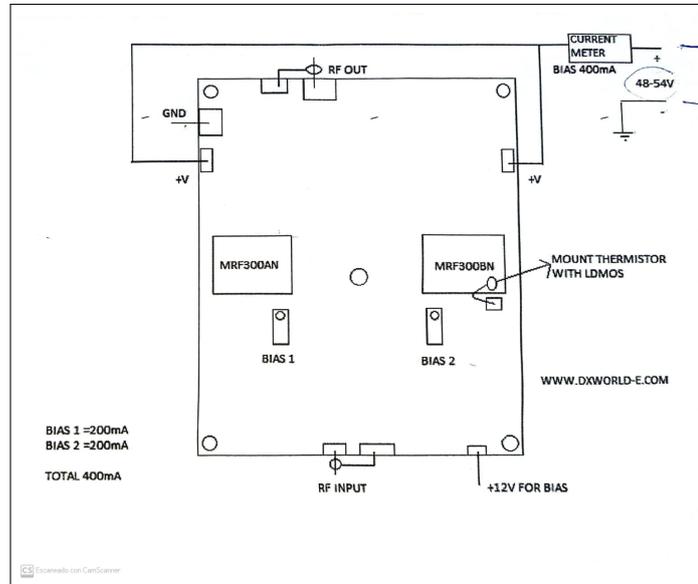
**Ilustración 3-35:** Modulo Amplificador y Disipador de calor

**Realizado por:** Cofre K., 2024.

Para lograr un acoplamiento eficiente del módulo amplificador al disipador de calor, se adquirieron tornillos de 4 y 3 mm, los cuales se ajustaron a la placa tras realizar perforaciones en el disipador con machuelos correspondientes. Después de aplicar pasta térmica sobre los componentes MRF300AN y MRF300BN del módulo, se soldaron a la placa. Posteriormente, se fijó el módulo al disipador mediante los tornillos, ajustándolos para garantizar un acoplamiento firme. La pasta térmica se utilizó para mejorar la transferencia de calor entre los componentes y el disipador, optimizando así la refrigeración del módulo amplificador, en la Ilustración 3-35 se observa el proceso en el orden mencionado.

### 3.6.3.3 Sistema de alimentación del módulo amplificador

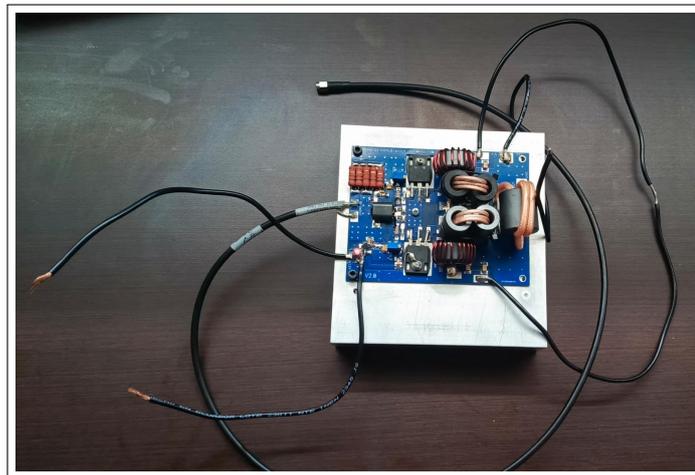
El módulo **MRF300 LDMOS**, desarrollado por **DX WORLD-e**, presenta un detallado circuito de alimentación que debe seguirse meticulosamente. Este esquema crucial se encuentra ilustrado en la figura 3-36.



**Ilustración 3-36:** Esquema de alimentación del módulo MRF300

**Fuente:** <https://www.dxworld-e.com/product-page/mrf300>

**Realizado por:** Cofre K., 2024.



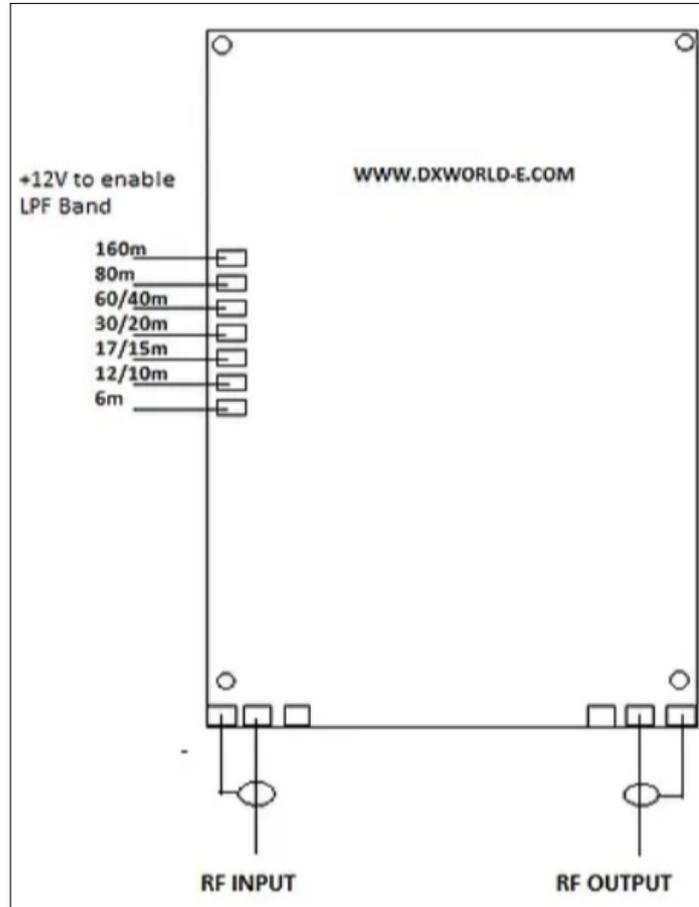
**Ilustración 3-37:** Conexiones físicas del módulo MRF300

**Realizado por:** Cofre K., 2024.

Una vez comprendido el diagrama de alimentación, se realizó las conexiones necesarias. Esto incluyó el puente de alimentación entre los pines V+, la conexión del GND, la alimentación de +12 V para la BIAS y la conexión de un cable destinado a la entrada de Radiofrecuencia. Estas

configuraciones fueron fundamentales para la calibración de las **BIAS**. Las conexiones realizadas se observan en la Ilustración 3-37.

#### 3.6.3.4 Acoplamiento del filtro LPF para el sistema de amplificación

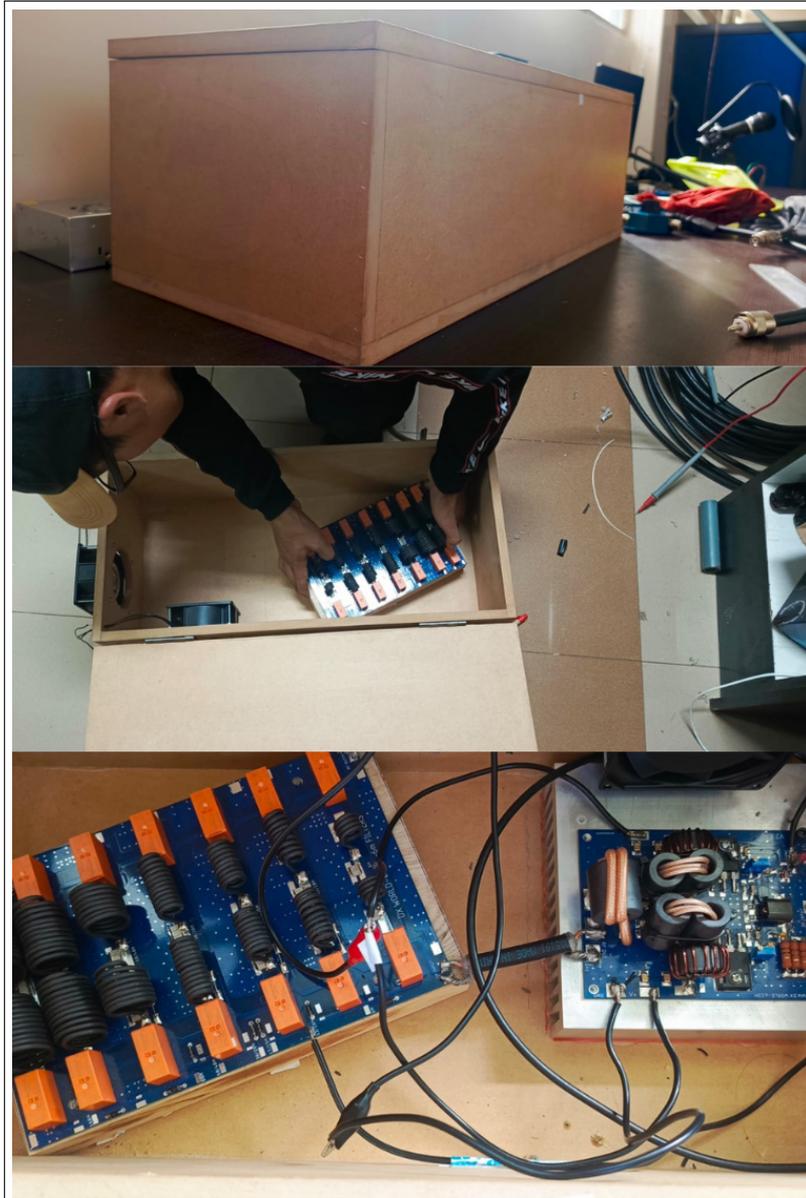


**Ilustración 3-38:** Esquema de alimentación del LPF

**Fuente:** <https://www.dxworld-e.com/product-page/mrf300>

**Realizado por:** Cofre K., 2024.

La implementación del LPF en el amplificador de potencia, se justifica debido a que para este sistema se utiliza la banda de 10 m, lo cual corresponde a una banda no muy alta en frecuencia a comparación de VHF, para la implementación se utiliza el LPF que se observa en la 2-16. Para las conexiones se debe seguir el diagrama presentado en la 3-38. En RF Input se conecto el cable de salida del amplificador, para el pin RF Output se conecto un cable para la entrada al medidor de ROE y para la selección de la banda de filtrado se agregó una fuente de alimentación de 12 V al pin correspondiente, en este caso al pin 2 en donde se observa la longitud de onda de 10 m.



**Ilustración 3-39:** Sistema de amplificación y filtrado para HF  
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

Para la implementación del sistema se hizo uso de un caja para el soporte del amplificador, el filtro y el sistema de ventilación, la caja esta diseñada con material MDF que se observa en la Ilustración 2-19, tiene dimensiones de 57 cm de ancho, 27 cm de largo y 17 cm de alto. En el interior de la caja se colocó el amplificador y el filtro LPF, tomando en cuenta la posición adecuada con el fin de no comprometer las conexiones de alimentación del amplificador, finalmente se realizaron las conexiones adecuadas para el acoplamiento del filtro y el amplificador, el proceso realizado se observa en la Ilustración 3-39.

### 3.6.3.5 Sistema de ventilación

Para el sistema de ventilación se implementó 3 ventiladores, 2 que enfría el sistema, un ventilador se implementó en la parte lateral, y el otro en la superior, el tercer ventilador absorbe el aire y lo expulsa, para ello se utilizó el ventilador que se observa en la Ilustración 2-20. Se alimentan con 100 V-AC directamente, para energizar los tres ventiladores a la vez se realizó una conexión en paralelo. El diseño se observa en la Ilustración 3-40.

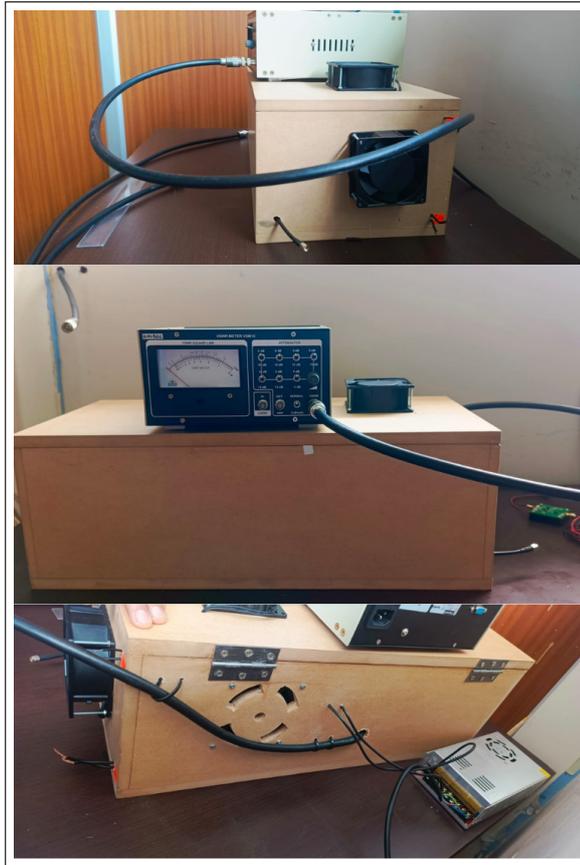


**Ilustración 3-40:** Sistema Ventilación  
Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

### 3.6.3.6 Amplificador de potencia HF

El soporte para el amplificador de potencia está diseñado con material MDF, la caja contiene un módulo LDMOS, seguido de un Filtro LPF, y un sistema de ventilación para un funcionamiento óptimo. El diseño del sistema de amplificación se observa en la Ilustración 3-41, el amplificador de potencia cuenta con tres fuentes de alimentación, la primera que se alimenta a 48V, la segunda a 12 V y la tercera a 110 V, y dos salidas coaxiales, una para el ingreso de la señal, y la otra para la salida de la señal. Para el ingreso de la señal se utilizó un cable coaxial con entrada SMA macho y para la salida de la señal se utilizó el cable CNT-400 con un conector PL-259 junto a un adaptador PL-259

hembra a BNC para que se pueda conectar al medidor de ROE.



**Ilustración 3-41: AMPLIFICADOR HF**  
Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

Para utilizar el amplificador diseñado, es esencial calibrar la alimentación de **BIAS**, tal como se detalla en la figura 3-36. Este proceso implica ajustar la corriente a 200 mA en cada extremo, el ajuste provoca a la salida 400 mA. La calibración se lleva a cabo conectando el pin positivo de la fuente de 48 V al pin de medición de corriente en el multímetro, configurándolo en la medición de corriente. Luego, el otro extremo del multímetro se conecta al puente de alimentación positiva del amplificador, y el negativo de la fuente de alimentación se conecta a GND del amplificador.

En esta secuencia, la salida del amplificador se conectaba al medidor de ROE, luego al conmutador y, finalmente, a la antena. Para calibrar el módulo amplificador, era esencial conectar la carga a la salida del sistema para generar un consumo de potencia. En este caso, la conexión se establecía con la Antena Delta Loop. La Ilustración 3-42 ofrecía una representación visual del proceso realizado.



**Ilustración 3-42:** Calibración de BIAS

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

### 3.6.3.7 Relación teórica de potencias de transmisión

En la Tabla3-1, se observa un resumen de las mediciones realizadas en el apartado 3.6.2. Los resultados obtenidos sirven para estimar la potencia transmisión final del amplificador lineal en función de la potencia de entrada, la relación de potencias se calculó en función de su máxima potencia de transmisión, en este caso el módulo acepta una potencia de 8W a la entrada provocando una potencia de transmisión de 600W.

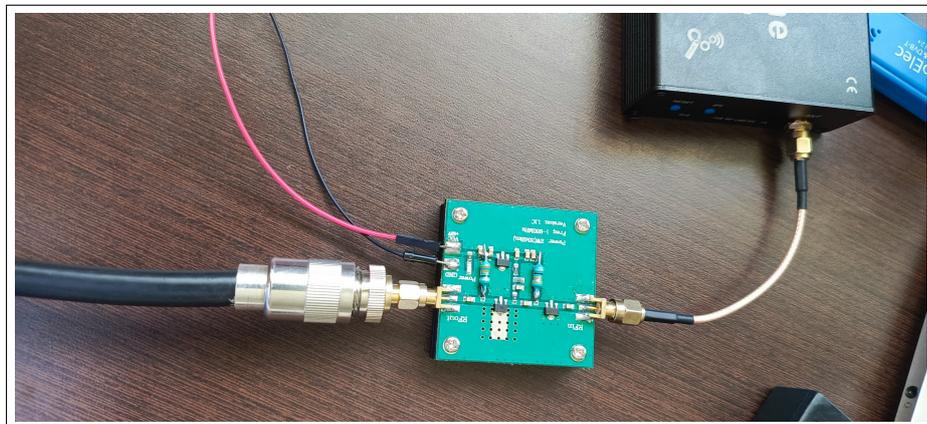
**Tabla 3-1:** Valores teóricos de potencia de transmisión

Parámetros		Potencia de entrada		Potencia de Salida		
Frecuencia(MHz)	Modulación	dBm	mW	W	mW	dBm
50,313	AM	-3,1	7,3345	0,5501	550,0852	27,4043
	DSB-SC	-9,42	3,8985	0,2924	292,3855	24,6596
	USB	-1,75	8,3946	0,6296	629,5928	27,9906
	LSB	3,25	13,8403	1,0380	1038,0230	30,1621
	WBFM	4,77	16,1123	1,2084	1208,4251	30,8222
	NBFM	6,96	20,0571	1,5043	1504,2853	31,7733
28.5	NBFM	5,74	17,7535	1,3315	1331,5157	31,2435
50,313		6,96	20,0571	1,5043	1504,2853	31,7733
146		5,9	18,0399	1,3530	1352,9913	31,3130
221		9,72	26,4323	1,9824	1982,4192	32,9720

Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.6.4 Banda VHF

Para la banda VHF, se utilizó el módulo preamplificador, que se observa en la Ilustración 3-34. Para la conexión al medidor de ROE se cortó 15 cm del cable CNT-400, en donde se colocó conectores PL-259 a los extremos del cable, en el primer extremo se utilizó un adaptador PL-259 hembra a BNC, y al otro extremo un adaptador PL-259 a SMA macho, dicho acoplamiento se observa en la Ilustración 3-43.



**Ilustración 3-43:** Amplificador VHF

Realizado por: Cofre K. 2024.

### 3.7 Sistema radiante

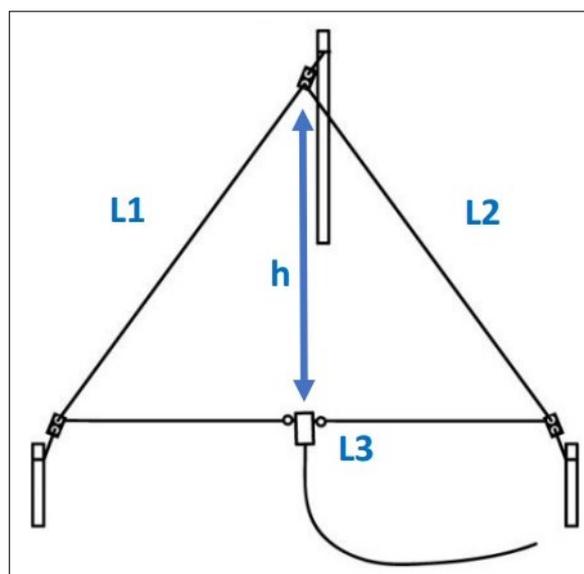
#### 3.7.1 Antenas para HF

##### 3.7.1.1 Antena Delta Loop

###### *Parámetros generales de diseño*

Los parámetros generales de diseño fueron establecidos en función de la longitud de onda, proporcionando una base clave para el desarrollo de la antena. La estructura general de una antena Delta Loop se muestra en la Ilustración 3-44.

- Banda HF: 28-29 MHz.
- Frecuencia de operación: 28,5 MHz.
- Longitud de onda: 10,5263 m.
- Potencia: 100-500 W.
- Impedancia: 75  $\Omega$ .
- Cable Conductor: Cable sólido de cobre AWG N° 10 (R = 1,295 mm).
- Altura de la antena sobre el suelo: Aprox 10 m.



**Ilustración 3-44:** Estructura de la Antena Delta Loop

**Realizado por:** Caiza D., 2024.

## ***Diseño de la antena Delta Loop***

En este diseño, se incorporaron tres elementos cruciales. En primer lugar, se introdujo un elemento reflector con el propósito de eliminar los lóbulos traseros del patrón de radiación. En segundo lugar, se construyó el elemento radiante con el punto de excitación estratégicamente ubicado en un extremo del segmento principal. Finalmente, se integró un director con el propósito de aumentar la directividad del lóbulo principal de la antena.

### ■ Cálculo Dimensional

Según (ARCOTEL, 2023), con indicativo “LU5YF” de Argentina, quien compartió información en el sitio web QRZ, indica que la antena Delta Loop se puede construir bajo formulas empíricas que se describen desde la Ecuación 3-1 a 3-11.

#### 1. Elemento radiante

$$L_R = \frac{1005}{f_c(\text{MHz})} = \frac{1005}{28,5} = 35,26 \text{ ft} \cdot 0,3048 = 10,74 \text{ m}$$

**Ecuación 3-1:** Longitud total del radiante de la antena Delta Loop

$$L_1 = L_2 = L_3 = \frac{L_R}{3} = 3,58 \text{ m}$$

**Ecuación 3-2:** Longitud por lado del radiante de la antena Delta Loop

$$h = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{L_R}{3} = 3,10 \text{ m}$$

**Ecuación 3-3:** Altura del triangulo equilátero del radiante

#### 2. Elemento Reflector

$$L_{Re} = \frac{1030}{f_c(\text{MHz})} = \frac{1030}{28,5} = 36,14 \text{ ft} \cdot 0,3048 = 11,02 \text{ m}$$

**Ecuación 3-4:** Longitud total del reflector de la antena Delta Loop

$$L_1 = L_2 = L_3 = \frac{L_{Re}}{3} = 3,67 \text{ m}$$

**Ecuación 3-5:** Longitud por lado del reflector de la antena Delta Loop

$$h = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{L_{Re}}{3} = 3,18 \text{ m}$$

**Ecuación 3-6:** Altura del triangulo equilátero del reflector de la antena Delta Loop

### 3. Elemento Director

$$L_D = \frac{975}{f_c(\text{MHz})} = \frac{975}{28,5} = 34,21 \text{ ft} \cdot 0,3048 = 10,43 \text{ m}$$

**Ecuación 3-7:** Longitud total del director de la antena Delta Loop

$$L_1 = L_2 = L_3 = \frac{L_D}{3} = 3,48 \text{ m}$$

**Ecuación 3-8:** Longitud por lado del director de la antena Delta Loop

$$h = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{L_D}{3} = 3,01 \text{ m}$$

**Ecuación 3-9:** Altura del triangulo equilátero del director de la antena Delta Loop

### 4. Distancia aproximada entre elementos

$$0,25 \cdot \lambda = 2,63 \text{ m}$$

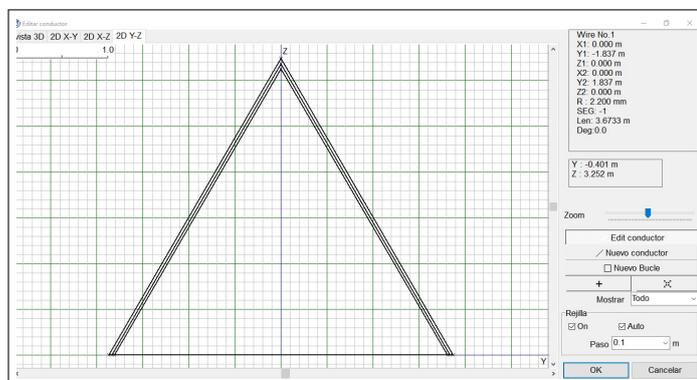
**Ecuación 3-10:** Reflector - Radiante

$$0,11 \cdot \lambda = 1,16 \text{ m}$$

**Ecuación 3-11:** Radiante - Director

### ■ Desarrollo del diseño en MMANA-GAL

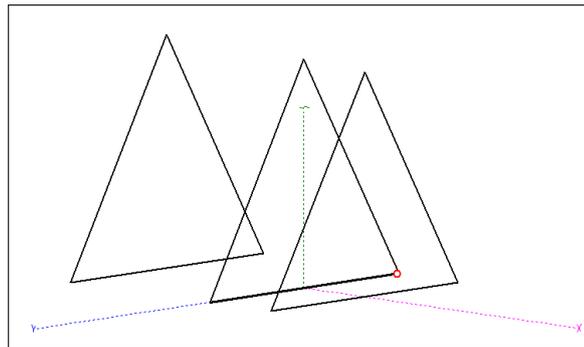
Después de calcular aproximadamente las dimensiones de la antena Delta Loop, se realizó su diseño mediante la utilización de la herramienta “Editar conductor” en MMANA-GAL. Esta herramienta simplificó la implementación de la antena, tal como se evidencia en la Ilustración 3-45.



**Ilustración 3-45:** Vista de los Elementos de la Antena en MMANA-GAL sobre el plano 2D Y-Z.

Realizado por: Caiza D., 2024.

En la Ilustración 3-46, se presenta la ventana “VISTA” del software MMANA-GAL en donde la antena se encuentra en el plano tridimensional. En esta configuración, la elección del punto de excitación se realizó con la intención de lograr una polarización vertical, una aproximación que favorece la propagación de la señal por reflexión en el suelo y en la ionosfera. La orientación vertical facilita la transmisión de la señal, evitando obstáculos y obstrucciones en su trayectoria, optimizando así la eficiencia de la comunicación.



**Ilustración 3-46:** Vista de los elementos y punto de alimentación de la antena en MMANA-GAL sobre el plano 3D.

**Realizado por:** Caiza D., 2024.

### ***Construcción física de la antena Delta Loop***

#### **1. Soportes para la Antena**

Se encargó a un herrero la fabricación de soportes de tubo negro para suspender cada elemento de la antena Delta Loop en el aire, considerando que la altura de estos soportes fue de 2,5 m sobre la loza, garantizando que la infraestructura del edificio no se viera comprometida. Dichos soportes, tal como se muestra en la Ilustración 3-47, fueron diseñados para cumplir con este propósito.



**Ilustración 3-47:** Soporte Vertical para cada elemento de la antena Delta Loop.

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

## 2. Instalación de la Antena sobre los soportes

Para la instalación de la antena Delta Loop sobre los soportes, primero se tuvo la adquisición

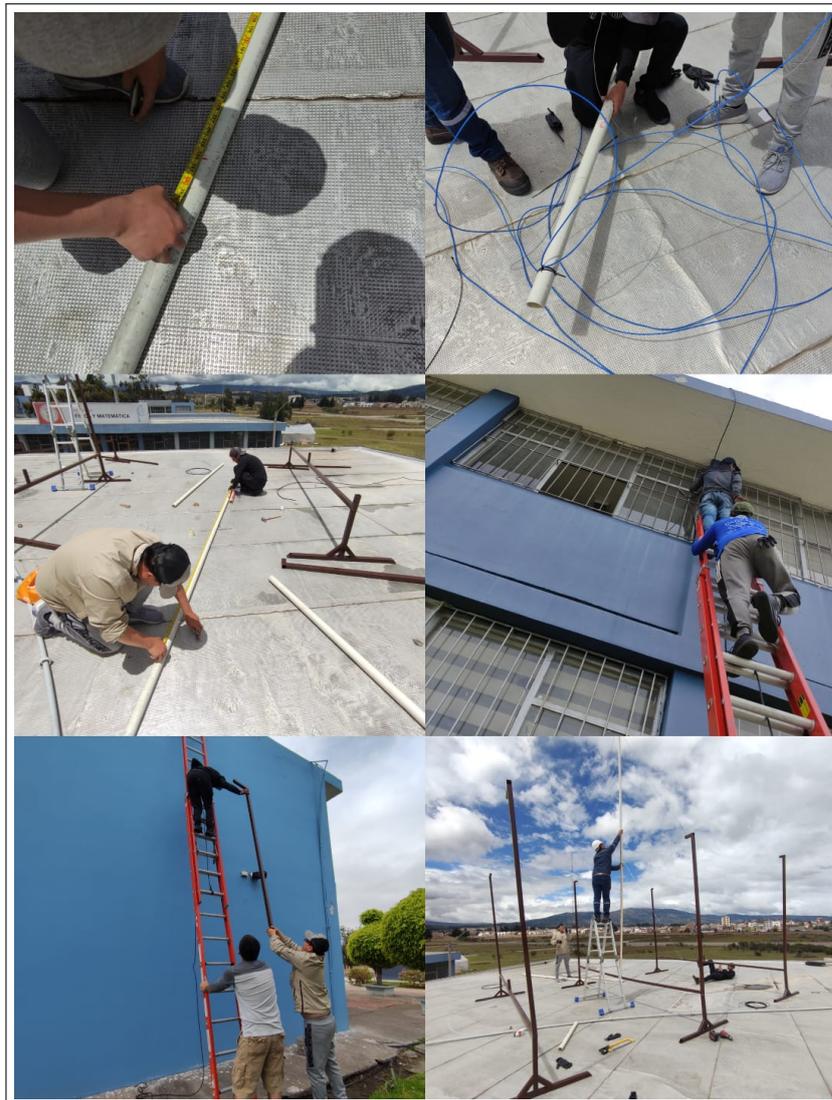
de los siguientes materiales y herramientas que se detallan en la Tabla3-2.

**Tabla 3-2:** Materiales y herramientas para la instalación de la Antena Delta Loop sobre los soportes.

<b>Materiales</b>	<b>Herramientas</b>
3 Soportes de Tubo Negro de 2,5 m	Taladro
6 Tubos PVC de 1 pulgada	Destornillador eléctrico
1 Juego de brocas	Alicates de corte
Cable solido de cobre AWG N°10	Flexo metro
Marcadores Permanentes	Martillo
Abrazaderas	Sierra

Conectores y terminales adecuados	2 Escaleras de fibra de vidrio
Cable galvanizado	Guantes de trabajo
3 Uniones de Tubo PVC	Cascos
3 Uniones de Tubo PVC	Mini Radios Baofeng: BF-888s
1 metro de Estaño	Cautin
Cable Coaxial CNT-400	Pasta para soldar
Cable Coaxial RG6	Hilo Nailon

Realizado por: Caiza D., 2024.



**Ilustración 3-48:** Proceso completo de instalación de la Antena Delta Loop

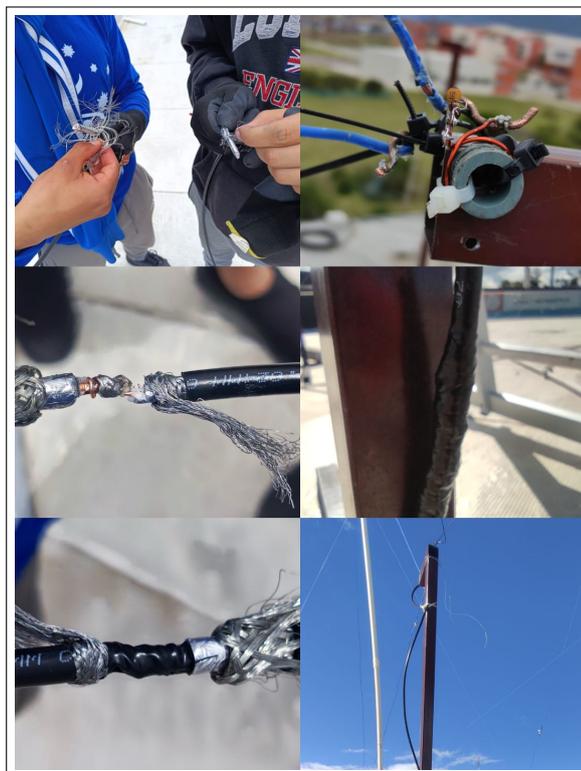
Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

Segundo, se procedió a subir a la loza con todas las medidas de seguridad y con el apoyo de algunos miembros activos del Radio Club FIE-ESPOCH. Luego, se realizó el corte y los

huecos de cada tubo PVC que más adelante ayudaron a ser el poste para que se formara el triángulo de la antena. Tercero, se construyó la forma de triángulo en la superficie de la loza sobre los soportes y con todos los materiales, para que se pudiera tener una mejor maniobra de la misma y que tuviera las mediciones exactas al igual que en el simulador de MMANA-GAL. Finalmente, la antena se logró montar en sus debidos soportes y se logró la estabilización de la misma gracias a la implementación de tensores que se realizaron con el cable galvanizado al exterior y el hilo de nailon al interior de la antena. Todo el proceso se muestra en la Ilustración 3-48.

### 3. Conexión de elemento radiante con la línea de alimentación

La línea de alimentación del elemento radiante de la antena Delta Loop se llevó a cabo con una adaptación LC y con un acoplador de impedancia de  $\lambda/4$  del cable coaxial RG6 de  $75 \Omega$  y se conectó con el cable coaxial CNT-400 que se extendió hasta la estación, considerando que para la unión entre cables coaxiales se realizó un empate casero, tal como se muestra en la Ilustración 3-49. Finalmente se aseguró la línea de alimentación a lo largo de los soportes e infraestructura del edificio hasta llegar al Shack de Radioaficionados, tal como se observa en la Ilustración 3-50.



**Ilustración 3-49:** Conexión de elemento radiante con la línea de alimentación y empalme de coaxiales

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 3-50:** Tendido de coaxial a lo largo de la loza hasta el Shack de Radioaficionados  
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

#### 4. Montaje Total de Antena Delta Loop

La instalación de la Antena Delta Loop se completó satisfactoriamente, y su aspecto físico corresponde fielmente a lo representado en la Ilustración 3-51.



**Ilustración 3-51:** Antena Delta Loop sobre su estructura física

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

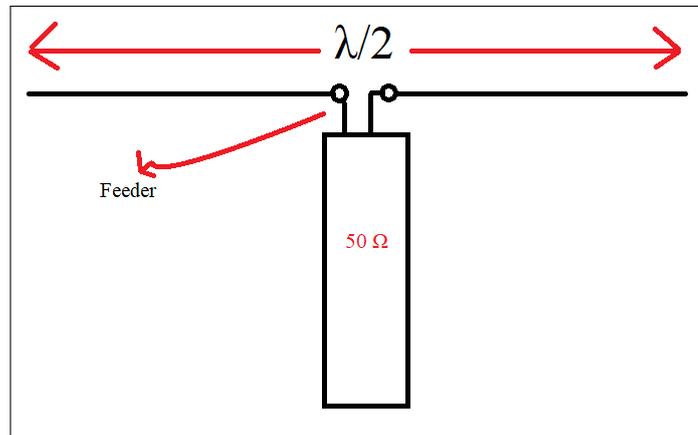
### 3.7.1.2 Antena Dipolo

#### *Parámetros generales de diseño*

Los parámetros generales de diseño fueron establecidos en función de la longitud de onda, proporcionando una base clave para el desarrollo de la antena. La estructura general de una antena Dipolo se muestra en la Ilustración 3-52.

- Banda HF: 28-29 MHz.
- Frecuencia de operación: 28,5 MHz.
- Longitud de onda: 10,5263 m.

- Potencia: 100 W.
- Impedancia: 75  $\Omega$ .
- Conductor: Tubo de aluminio (R = 1,8 mm).
- Altura de la antena sobre el suelo: Aprox 2-10 m.



**Ilustración 3-52:** Estructura de la Antena Dipolo

Realizado por: Caiza D., 2024.

### *Diseño de la antena Dipolo*

El diseño de la Antena Dipolo se basa en principios fundamentales y su longitud de onda está directamente relacionada con la frecuencia de trabajo, siendo una implementación básica pero efectiva.

- Cálculo Dimensional

Según (EA3CIW, 2018), con indicativo “EA3CIW” en la página web DIGICLUB, se utiliza una longitud de  $\lambda/2$  para todo el radiador y menciona que para calcular las dimensiones de cada elemento individual, se emplea la Ecuación 3-12 y 3-13.

#### 1. Elemento Radiante

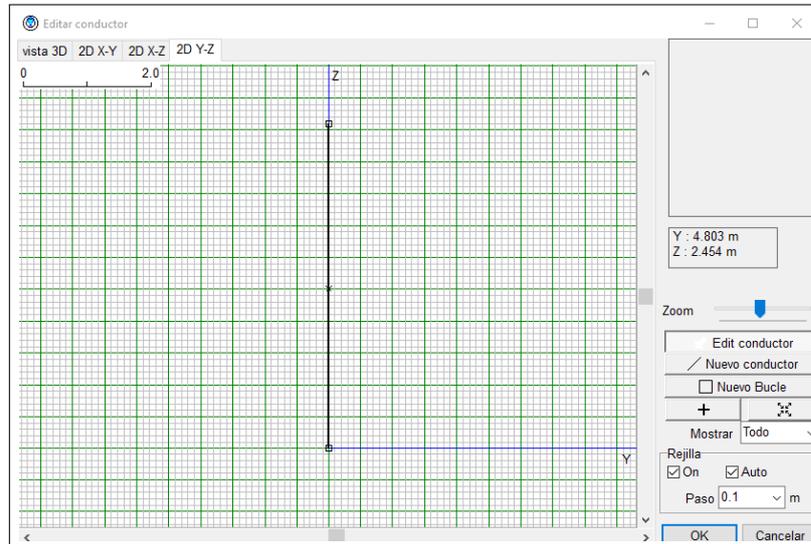
$$L_R = \frac{142,5}{f_c(\text{MHz})} = \frac{142,5}{28,5} = 5 \text{ m}$$

**Ecuación 3-12:** Longitud total del radiante de la antena Dipolo

$$L_{\lambda/4} = \frac{L_R}{4} = 2,5 \text{ m}$$

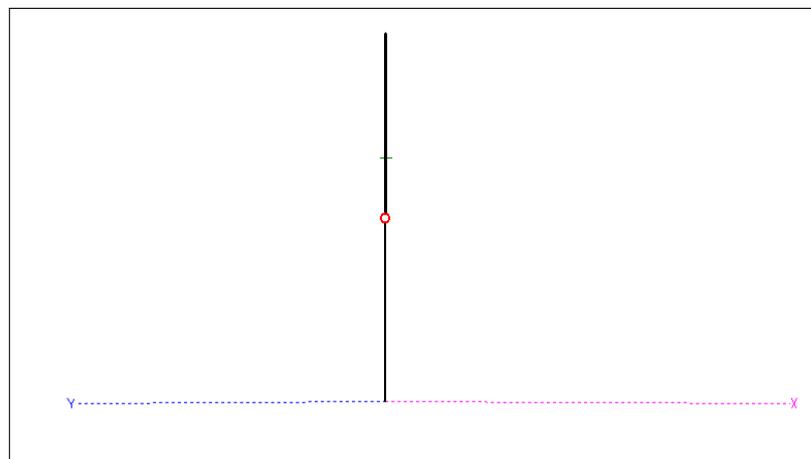
**Ecuación 3-13:** Longitud por lado del radiante de la antena Dipolo

- Desarrollo del diseño en MMANA-GAL Después de calcular aproximadamente las dimensiones de la antena Dipolo, se realizó su diseño mediante la utilización de la herramienta “Editar conductor” en MMANA-GAL. Esta herramienta simplificó la implementación de la antena, tal como se evidencia en la Ilustración 3-53.



**Ilustración 3-53:** Vista de los elementos de la antena en MMANA-GAL sobre el plano 2D Y-Z

**Realizado por:** Caiza D., 2024.



**Ilustración 3-54:** Vista de los elementos y punto de alimentación de la antena en MMANA-GAL sobre el plano 3D

**Realizado por:** Caiza D., 2024

En la Ilustración 3-54, se muestra la ventana “VISTA” del software MMANA-GAL, que se representa en el plano tridimensional. En esta configuración, la antena se encuentra en posición vertical y el punto de alimentación es en el centro de todo el radiador, con lo cual se obtiene una polarización vertical. Esta elección se basa en la consideración de que dicha

polarización favorece tanto la transmisión como recepción de la señal en entornos con obstáculos y obstrucciones del terreno.

### ***Construcción física de la antena Dipolo***

Para la construcción de la antena Dipolo, se utilizaron los siguientes materiales y herramientas que se detallan en la Tabla 3-3.

**Tabla 3-3:** Materiales y herramientas para la implementación de la Antena Dipolo.

<b>Materiales</b>	<b>Herramientas</b>
1 Tubo de aluminio de 4 m y D=1.8mm	Taladro
1 Tubo de aluminio de 2 m y D=0.88mm	Alicate
1 Tubo PVC de 3/4	Destornillador eléctrico
Union tipo T de 3/4	Flexo metro
Marcadores Permanentes	Pico de Loro
Uniones PVC de 3/4	Sierra
Cable Coaxial RG-58	Guantes de trabajo
Abrazaderas	Navaja

Realizado por: Caiza D., 2024.

En primer lugar, siguiendo el diseño previo, se procedió a cortar el tubo de aluminio a las medidas específicas para los elementos radiadores, realizando un corte de 2 metros de largo en cada extremo al tubo de aluminio de diámetro D=1,8 mm y dos cortes de 50 cm al tubo de aluminio de diámetro D=0.8mm.

Posteriormente, se utilizó una unión de PVC de 3/4 junto con dos tubos de PVC de 15 cm de la misma medida para unir ambos elementos, proporcionando un soporte a cada tubo de aluminio. Además, se realizaron perforaciones en cada extremo del conductor para conectar los tubos de aluminio y el acoplador  $\lambda/4$ , es decir, el cable coaxial RG6 de  $75 \Omega$  y finalmente se realizó un empate casero con el cable coaxial RG8 de  $50 \Omega$ . Es importante destacar que esta antena no cuenta con un soporte fijo, ya que su diseño permite que la antena sea portátil y con el fin de realizar pruebas de campo en la banda HF, la Antena Dipolo Terminada se puede observar en la Ilustración 3-55.



**Ilustración 3-55:** Antena Dipolo

Realizado por: Caiza D., 2024.

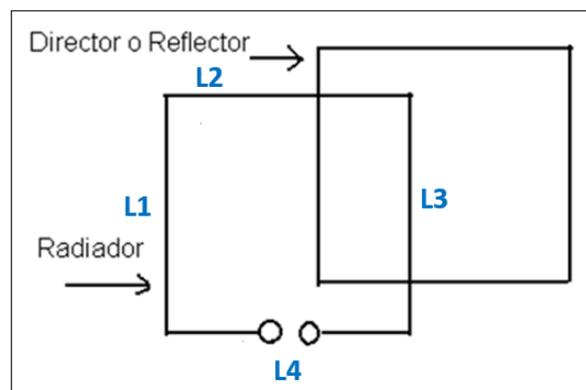
### 3.7.2 Antenas para VHF

#### 3.7.2.1 Antena Cuadra-Cúbica multibanda

##### *Parámetros generales de diseño*

Los parámetros generales de diseño fueron establecidos en función de la longitud de onda, proporcionando una base clave para el desarrollo de la antena. La estructura general de una antena Cuadra-Cúbica se muestra en la Ilustración 3-56.

- Bandas VHF: 50-54, 144-148 y 220-222 MHz.
- Frecuencias de operación: 50,313, 146 y 221 MHz.
- Longitudes de onda: 5,9627, 2,0545 y 1,3575 m.
- Potencia: 1-25 W.
- Impedancia: 100  $\Omega$ .



**Ilustración 3-56:** Estructura de la Antena Cuadra-Cúbica

Realizado por: Caiza D., 2024.

- Cable Conductor: Cable sólido de cobre AWG N° 14 (R = 0,815 mm).

- Altura de la antena sobre el suelo: Aprox 10 m.

### ***Diseño de la antena Cuadra-Cúbica***

En el diseño de esta antena Cuadra-Cúbica, se incorporaron cuatro elementos para optimizar su funcionamiento en las frecuencias de operación. En primer lugar, se introdujo un reflector con el fin de eliminar los lóbulos traseros del patrón de radiación, asegurando así un rendimiento direccional en la mayoría de sus frecuencias. En segundo lugar, se construyeron tres elementos radiantes, cada uno estratégicamente diseñado para una frecuencia específica de operación, garantizando una antena multibanda eficiente.

#### ■ Cálculo Dimensional

Según (CÁRDENAS, 2017), con indicativo “XE1RM”, quien compartió información en el sitio web STUDYLIB, indica que la antena Cuadra-Cúbica se puede construir bajo las Ecuaciones 3-14 a 3-21.

- Banda 50-54 MHz, frecuencia de operación de 50,313 MHz:

##### 1. Elemento Radiante

$$L_R = \frac{306}{f_c(\text{MHz})} = \frac{306}{50,313} = 6,0819 \text{ m}$$

**Ecuación 3-14:** Longitud total del radiante de la antena Cuadra-Cúbica

$$L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = \frac{76,5}{f_c(\text{MHz})} = \frac{76,5}{50,313} = 1,52 \text{ m}$$

**Ecuación 3-15:** Longitud por lado del radiante de la antena Cuadra-Cúbica

##### 2. Elemento Reflector

$$L_{Re} = \frac{80,3}{f_c(\text{MHz})} = \frac{80,3}{50,313} = 1,59 \text{ m}$$

**Ecuación 3-16:** Longitud por lado del reflector de la antena Cuadra-Cúbica

##### 3. Distancia aproximada entre elementos

$$0,25 \cdot \lambda = 2,63 \text{ m}$$

**Ecuación 3-17:** Reflector - Radiante

- Banda 144-148 MHz, frecuencia de operación de 146 MHz:

1. Elemento Radiante

$$L_R = \frac{306}{f_c(\text{MHz})} = \frac{306}{146} = 2,0958 \text{ m}$$

**Ecuación 3-18:** Longitud total del radiante de la antena Cuadra-Cúbica

$$L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = \frac{76,5}{f_c(\text{MHz})} = \frac{76,5}{146} = 0,5239 \text{ m}$$

**Ecuación 3-19:** Longitud por lado del radiante de la antena Cuadra-Cúbica

- Banda 220-222 MHz, frecuencia de operación de 221 MHz:

1. Elemento Radiante

$$L_R = \frac{306}{f_c(\text{MHz})} = \frac{306}{221} = 1,3846 \text{ m}$$

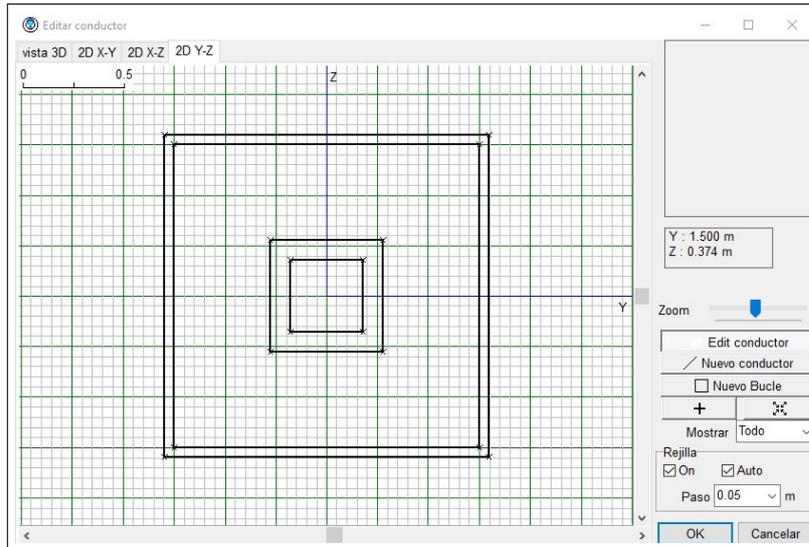
**Ecuación 3-20:** Longitud total del radiante de la antena Cuadra-Cúbica

$$L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = \frac{76,5}{f_c(\text{MHz})} = \frac{76,5}{221} = 0,346 \text{ m}$$

**Ecuación 3-21:** Longitud por lado del radiante de la antena Cuadra-Cúbica

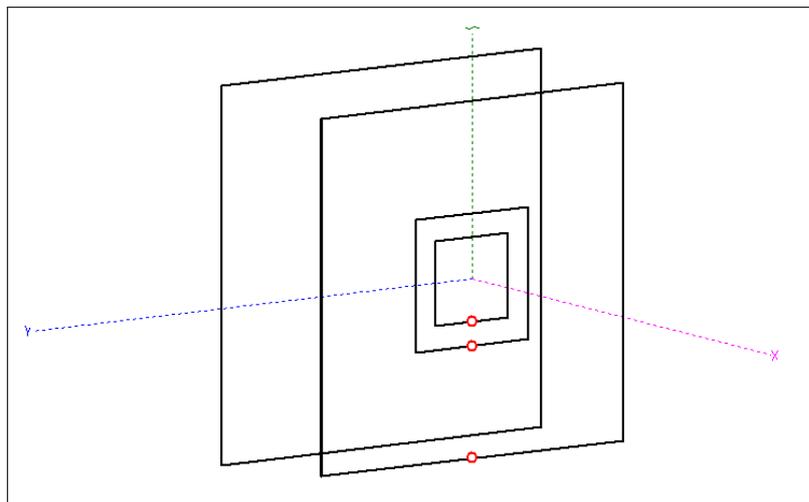
- Desarrollo del diseño en MMANA-GAL

Después de calcular aproximadamente las dimensiones de la antena Cuadra-Cúbica, se realizó su diseño mediante la utilización de la herramienta “Editar conductor” en MMANA-GAL. Esta herramienta simplificó la implementación de la antena, tal como se evidencia en la Ilustración 3-57. En la Ilustración 3-58, se muestra la ventana “VISTA” del software MMANA-GAL, que se representa en el plano tridimensional. En esta configuración, se eligieron los puntos de excitación de cada elemento con el objetivo de obtener una polarización horizontal. Esta elección se basa en la consideración de que dicha polarización favorece la propagación de la señal en entornos de línea de vista entre el transmisor y el receptor.



**Ilustración 3-57:** Vista de los Elementos de la Antena en MMANA-GAL sobre el plano 2D Y-Z.

**Realizado por:** Caiza D., 2024.



**Ilustración 3-58:** Vista de los elementos y puntos de alimentación de la antena en MMANA-GAL sobre el plano 3D.

**Realizado por:** Caiza D., 2024.

### ***Construcción física de la antena Cuadra-Cúbica***

#### **1. Soporte para la Antena**

Se encargó a un herrero la fabricación del soporte en forma de T de tubo redondo galvanizado de 1/2 pulgada para que la antena se monte sobre ella y se suspenda en el aire, la separación de la loza es aproximadamente 2,30 m. La estructura se muestra en la Ilustración 3-59.



**Ilustración 3-59:** Soporte para antena Cuadra-Cúbica

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

## 2. Instalación de la Antena sobre el soporte

Para la instalación de la antena Cuadra-Cúbica sobre el soporte, primero se obtuvieron los siguientes materiales y herramientas que se detallan en la Tabla3-4.

**Tabla 3-4:** Materiales y herramientas para la instalación de la Antena Cuadra-Cúbica sobre el soporte.

<b>Materiales</b>	<b>Herramientas</b>
1 Soporte en forma de T de 3 m	Taladro
2 Tubos PVC de 1/2 pulgada	Destornillador eléctrico
1 Juego de brocas	Alicates de corte
Cable solido de cobre AWG N°14	Flexo metro
Marcadores Permanentes	Martillo
Abrazaderas	Sierra
Conectores y terminales adecuados	2 Escaleras de fibra de vidrio

Cable de timbre	Guantes de trabajo
2 Reducciones PVC de 3/4 a 1/2	Cascos
8 Uniones PVC de 3/4	Mini Radios Baofeng: BF-888s
1 metro de Estaño	Cautin
1 Ajuste PVC de 3/4	Pasta para soldar
Tornillos autoperforantes	Hilo Nailon
Lamina A3 MDF	Pico de Loro

Realizado por: Caiza D., 2024.



**Ilustración 3-60:** Proceso completo de instalación de la Antena Cuadra-Cúbica

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

Segundo, se realizaron perforaciones en la pared lateral del edificio para la fijación de la Antena Cuadra-Cúbica, luego se comenzó a construir la antena sobre la loza, es decir, se

formó los 4 Cuadrados con los soportes de PVC realizados previamente. Este proceso se puede evidenciar en la Ilustración 3-60. Finalmente se colocó con precaución la antena en la esquina del edificio y se impermeabilizó las perforaciones con silicona.

### 3. Conexión de los elementos radiantes con las líneas de alimentación



**Ilustración 3-61:** Acopladores de impedancia y tendido de cable coaxial hasta el Shack de Radioaficionados

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

Una vez instalada la antena sobre la loza, se procedió a tender el cable coaxial para cada elemento. Para lograr un acoplamiento óptimo de impedancias, se implementaron circuitos de adaptación LC individuales para cada elemento, asegurando así una alimentación adecuada. Estos circuitos fueron protegidos con cajas de MDF y sellados con silicona y cinta aislante para garantizar su impermeabilidad. En cuanto a la conexión de los tres cables coaxiales de cada antena, se utilizaron borneras independientes junto con un cable coaxial principal de 50

$\Omega$ , tal cual se muestra en la Ilustración 3-61.

#### 4. Montaje total de antena Cuadra-Cúbica

La apariencia física de la Antena Cuadra-Cúbica montada e implementada sobre la loza del edificio se muestra en la Ilustración en 3-62.



**Ilustración 3-62:** Antena Cuadra-Cúbica sobre su estructura física  
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

### 3.8 Descripción general de la estación de radioaficionados

#### 3.8.1 Frecuencias y bandas de operación

La estación de Radioaficionados fue implementada en 4 bandas, cuyas especificaciones se observan en la Tabla 3-5, en donde se muestra la banda, frecuencia de operación en MHz, y la longitud de onda correspondiente.

**Tabla 3-5:** Frecuencias y Bandas de Operación

BANDAS DE OPERACIÓN (MHz)	FRECUENCIA DE OPERACIÓN (MHz)	Longitud de onda
27-29	28,5	10 m
50-54	50,313	6 m
146-148	146	2 m
220-222	221	1.3 m

Realizado por: Cofre K., 2024.

#### 3.8.2 Ubicación y espacio

##### 3.8.2.1 Radio club FIE-ESPOCH



**Ilustración 3-63:** Espacio del sistema de Control

Realizado por: Cofre K., 2024.



**Ilustración 3-64:** Espacio del sistema radiante

Realizado por: Cofre K., 2024.

La estación se encuentra ubicada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en el modular de Electrónica de la FIE, ubicadas a una latitud de  $-1,655438^\circ$  y longitud de  $-78,677588^\circ$  a una altura aproximada de 2820 m.s.n.m. En la Ilustraciones 3-63 y 3-64 se observa el espacio ocupado para la estación de control y el sistema radiante.

### 3.8.2.2 Estación Guayaquil Radio Club



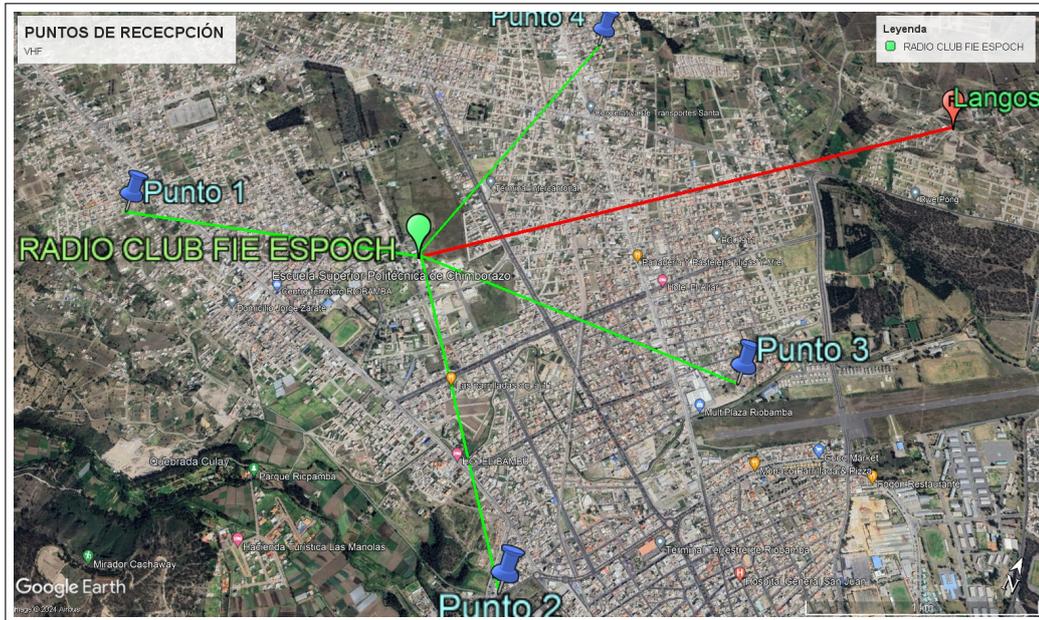
**Ilustración 3-65:** Radio Club Guayaquil

Fuente: <https://www.google.com/maps/place/Guayaquil+Radio>

La estación se encuentra en la ciudad de Guayaquil, en la provincia del Guayas, a una latitud de

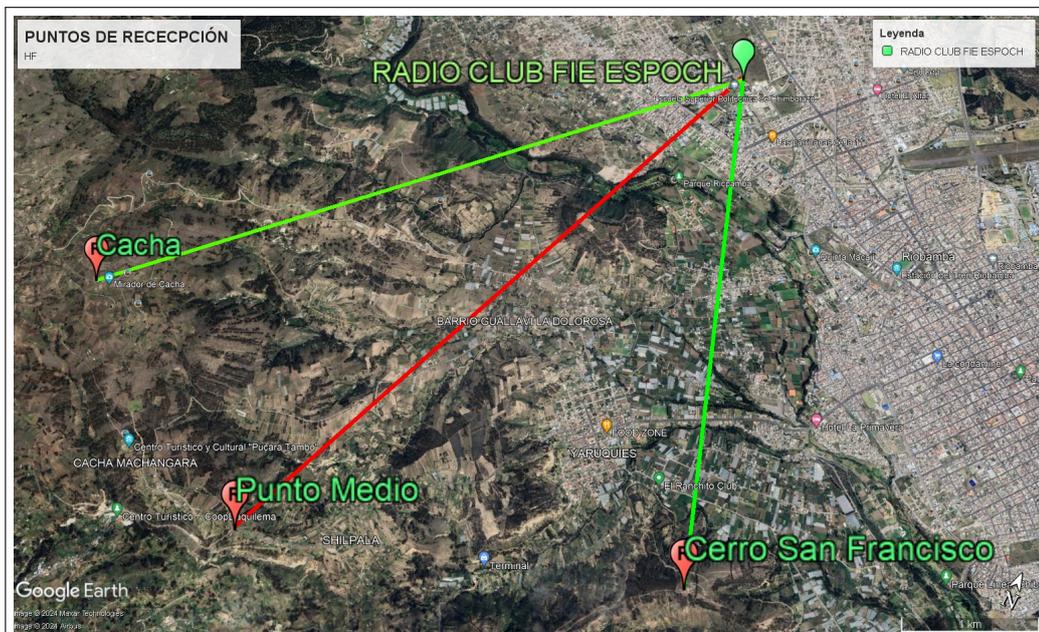
-2,183657° y una longitud de -79,895027°, a una altitud aproximada de 3 m.s.n.m. La estación mencionada se utilizó para llevar a cabo las simulaciones de transmisión en la banda HF. En la Ilustración 3-65 se observa la estación Radio Club Guayaquil.

### 3.8.2.3 Puntos de recepción generales para las bandas HF y VHF



**Ilustración 3-66:** Puntos de recepción para Pruebas en VHF

Realizado por: Cofre K., 2024.



**Ilustración 3-67:** Puntos de recepción para Pruebas en HF

Realizado por: Cofre K., 2024.

Se eligieron 5 puntos estratégicos en la Ciudad de Riobamba para las pruebas en la banda VHF, 4 de ellos útiles para pruebas sin línea de vista y el último para pruebas con línea de vista directa, cada una de las ubicaciones se observan en la Ilustración 3-66 y los mismos puntos se utilizaron para los entornos de simulación y pruebas reales, salvo el punto 5 que se utilizó solo para pruebas reales. En la banda HF se ubicaron puntos a más de 4Km, en el Cerro Cacha, Cerro San Francisco y un punto medio entre los dos Cerros ubicados en la Provincia de Chimborazo, las ubicaciones se observan en la Ilustración 3-67, dichos puntos se utilizaron para las pruebas HF.

La Tabla 3-6 proporciona una descripción detallada de las ubicaciones correspondientes a cada punto de estudio, los cuales son visibles en las Ilustraciones 3-67 y 3-66.

**Tabla 3-6:** Ubicación de los puntos de Estudio

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	COORDENADAS		ALTURA [m.s.n.m]
	LATITUD	LONGITUD	
RADIO CLUB FIE-ESPOCH	-1,655438°	-78,67759°	2809,2
RADIO CLUB GUAYAQUIL	-2,18383°	-79,89502°	10,9
PUNTO 1	-1,659217°	-78,69096°	2830,8
PUNTO 2	-1,667064°	-78,66779°	2771
PUNTO 3	-1,654955°	-78,66248°	2787
PUNTO 4	-1,641084°	-78,67521°	2832
LANGOS	-1.638028°	-78.657652°	2839,3
CACHA	-1,694540°	-78,715706°	3460
PUNTO MEDIO	-1,706051°	-78,695740°	3150
SAN FRANCISCO	-1,695981°	-78,666305°	3030

Realizado por: Cofre K., 2024..

### 3.8.3 Características técnicas de los equipos

En este apartado se detallan las características técnicas de cada uno de los equipos utilizados en la estación de Radioaficionados, cada una de las características se describen desde la Tabla 3-7 hasta 3-25.

### 3.8.3.1 Computadora Portátil HP: Pavilion Laptop 15-eh0003la

**Tabla 3-7:** Características técnicas de Pavilion Laptop 15-eh0003la

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Microprocesador	AMD Ryzen™ 7 4700U
Memoria	16 GB de SDRAM DDR4-3200
Disco Duro	Unidad de estado sólido M.2 PCIe® NVMe™ de 512 GB

Fuente: <https://support.hp.com/uy-es/document/c07048867>

### 3.8.3.2 Parlante Genius: SW-2.1 375 DE 12 WATTS

**Tabla 3-8:** Características técnicas del Parlante Genius: SW-2.1 375 DE 12 WATTS

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Sistema de altavoces	21 canales
Potencia total (RMS)	12 Watts total Bajo 6 Satélite 3x2
Alimentación	120-220 VAC

Fuente: <https://mundodigitalecuador.com/product/parlantes-genius-sw-2,1-375/>

### 3.8.3.3 Micrófono EZRA: MP03

**Tabla 3-9:** Características técnicas del Micrófono EZRA: MP03

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Sensibilidad	30 dB
Impedancia	2,2 kΩ
Reducción de sensibilidad	3 dB
Frecuencia de respuesta	100 Hz - 16 kHz
Voltaje DC	1,5 V

Fuente: <https://fixcelstore.cl/producto/microfono-ezra-mp03/>

### 3.8.3.4 RTL-SDR blog V4

Característica	Especificación
Modelo	RTL-SDR Blog V4 con chip ADC RTL2832U
Sintonizador	R828D
TCXO	1PPM
Conector Antena	SMA F
Convertidor Ascendente HF Integrado	Sí
Frecuencia de Sintonización	500 kHz a 1,766 GHz
Ancho de Banda	Hasta 3,2 MHz (2,4 MHz estable)
Software Compatible	SDR#, HDSDR, SDR-Radio, GQRX, SDR Touch en Android
Plataformas Compatibles	Windows, OSX, Linux, Android, Raspberry Pi

Fuente: <https://www.amazon.com/-/es/RTL-SDR-RTL>

### 3.8.3.5 HACK RF One

**Tabla 3-10:** Características técnicas del HackRF One

Característica	Especificación
Frecuencia de Operación	1 MHz a 6 GHz
Tipo de Transceptor	Transceptor de media-duplex
Tasa de Muestreo	Hasta 20 millones de muestras por segundo
Compatibilidad de Software	GNU Radio, SDR#, y más
Configurabilidad	Ganancia y filtro de banda base configurables por software
Alimentación del Puerto de Antena	Controlada por software (50 mA a 3,3 V)
Conector de Antena	Hembra SMA
Entrada/Salida de Reloj	Hembra SMA
Sincronización	Controlada por software
Interfaz de Programación	Botones convenientes y pines internos para expansión
Interfaz USB	USB 2,0 de Alta Velocidad

Código Abierto	Hardware de código abierto
Dimensiones	3 <sup>o</sup> l. x 1. <sup>o</sup> n. x 4. <sup>o</sup> l. Pulgadas
Modulaciones	AM/DSB-SC/SSB/WBFM/NBFM
Ancho de Banda Máximo del Canal	3,2 MHz
Sensibilidad	121 dBm a 10 MHz/ -117 dBm a 1GHz/ -110 dBm a 6GHz
Potencia de Transmisión	6,8 a 20 dBm

Fuente:<https://greatscottgadgets.com/hackrf/one/>

### 3.8.3.6 Módulo preamplificador de potencia de banda ancha RF

**Tabla 3-11:** Características técnicas del módulo preamplificador de potencia de banda ancha RF

Características	Descripción
Frecuencia	1 - 930 MHz
Potencia de entrada	1 mW (0 dBm)
Salida máxima	2,0 W (33 dBm) baja frecuencia (10 MHz)
	1,6 W (32 dBm) extremo IF (512 MHz)
	1,0 W (30 dBm) gama alta (930 MHz)
	0,8 W (29 dBm) de gama alta (1000 MHz)
Voltaje de funcionamiento	12 V (CC)
Trabajo actual	300 - 400mA (determinado por la potencia de salida)

Fuente:<https://es.aliexpress.com/item/32761941012>

### 3.8.3.7 Disipador de calor

**Tabla 3-12:** Características del Disipador de Calor

Característica	Especificación
Dimensiones	150x160x40 mm
Espesor del Disipador	10 mm
Peso	1,4 kg

Diseño	Rectangular con aletas/radiadores
Aplicación	Refrigeración de componentes electrónicos
Uso Previsto	Absorber y disipar calor en sistemas electrónicos

Fuente: <https://www.dxworld-e.com/product-page/heatsink-dx-15>

### 3.8.3.8 Módulo amplificador MRF300 LDMOS 600 W HF/ 6 m lineal

**Tabla 3-13:** Características técnicas del Módulo Amplificador MRF300 LDMOS 600 W HF/ 6 m lineal

Característica	Especificación
Potencia de Amplificación	600W HF/6M Linear Amplifier Board V2.0
Transistores LDMOS	Incluye MRF300AN y MRF300BN
Entrada de RF	0-8W máximo
Salida de RF	0-600W
Frecuencia de Operación	1,8-55MHz
Fuente de Alimentación	48-53,5V, 14A
Eficiencia	Hasta un 80 %
Clase	AB Push Pull
Modos de Operación	Todos los modos sin interrupciones: Digital, SSB, CW, FM, AM, etc.
Tamaño de la Placa	100 x 130 mm

Fuente: <https://www.dxworld.com/product/mrf300-ldmos>

### 3.8.3.9 Filtro pasa bajos

**Tabla 3-14:** Características técnicas del Filtro pasa bajos

Característica	Descripción
Tipo de Filtro LPF	5-Pole Chebyshev
Rango de Bandas	160m, 80m, 60/40m, 30/20m, 17/15m, 12/10m, 6m
Impedancia (IN/OUT)	50 $\Omega$

Potencia a través del LPF	1500W PEP
Fuente de Alimentación	12-13,8V

Fuente:<https://www.dxworld-e.com/product-page/hf-lpf-filters-160-6m-1500w>

### 3.8.3.10 Fuente de alimentación conmutada a 48 V

**Tabla 3-15:** Características técnicas de la Fuente de alimentación conmutada 48 V

Modelo	SE-600-48	
Output	Voltaje	48 V
	Corriente	12,5 A
	Potencia Nominal	600 W
Input	Voltaje	90 132 V-AC/ 180 264 V-AC selección por switch 254 370 V-DC
	Frecuencia	47 63 Hz
	Eficiencia	88 %
	Corriente AC	12A/115 V-AC - 7,5A/230 V-AC

Fuente:<https://www.meanwell.com/productPdf>

### 3.8.3.11 Fuente de poder de 12 V

**Tabla 3-16:** Características técnicas de la Fuente de Poder de 12 V

Característica	Especificación
Modelo	HW-120100U6W
Voltaje de Entrada	100-240 V-AC
Frecuencia	50/60Hz
Corriente de Entrada	0,5 A
Voltaje de Salida	12 V-DC
Corriente de Salida	1 A
Color	Negro

Fuente:<https://ssdielect.com/adaptadores-de-voltaje/2803-hw-120100u6w.html>

Corriente de Salida	1 A
Corriente Máxima (con carga resistiva)	1,3 A
Caída de Voltaje (a corriente máxima)	<1 %
Conector de Entrada	Enchufe Americano
Conector de Salida	Circular de 5,5 x 2,1 mm
Polaridad del Conector de Salida	Centro Positivo
Largo del Cable de Salida	1,8 m
Dimensiones del Cabezote	81 x 51 x 39 mm
Color	Negro

Fuente: <https://ssdielect.com/adaptadores-de-voltaje/2803-hw-120100u6w.html>

### 3.8.3.12 Cable coaxial CNT-400

**Tabla 3-17:** Características técnicas del cable coaxial CNT-400

Característica	Especificación
Tipo de Cable	CNT-400, Coaxial Trenzado 50 $\Omega$
Impedancia del Cable	50 $\Omega$
Frecuencia Máxima	16,2 GHz
Banda de Frecuencia de Operación	30 – 6000 MHz
Potencia Pico	16 kW
Efectividad de Blindaje	90 dB
Atenuación (Ejemplos)	30 MHz: 2,49 dB/100 ft, 0,76 dB/100 ft
Material del Conductor Interno	Alambre de aluminio recubierto de cobre
Material del Revestimiento	PE no halógena-do
Temperatura de Operación	-40 °C a +85 °C (-40 °F a +185 °F)
Peso del Cable	0,1 kg/m (0,067 lb/ft)
Cumplimiento Normativo	CHINA-ROHS, ISO 9001:2015, REACH-SVHC, ROHS, UK-ROHS

Fuente: <https://www.alldatasheet.es/view.jsp?Searchword=RG6>

### 3.8.3.13 Cable coaxial RG58

**Tabla 3-18:** Características técnicas del cable coaxial RG58

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Tipo de Cable	RG58, Coaxial Trenzado 50 $\Omega$
Impedancia del Cable	50 $\Omega$
Frecuencia Máxima	5 GHz
Banda de Frecuencia de Operación	0,01-5 GHz
Atenuación (Ejemplos)	0,01 GHz: 1,4 dB/100 ft, 5 GHz: 60 dB/100 ft
Material del Conductor Interno	Alambre de aluminio recubierto de cobre
Tempertura	-40° a 80° Centígrados
Material del Revestimiento	PE no halógena-do
Peso del Cable	0,025 lbs/ft

**Fuente:** <https://www.pasternack.com/images/ProductPDF/RG58C-U.pdf>

### 3.8.3.14 Cable coaxial RG6

**Tabla 3-19:** Características técnicas del cable coaxial RG6

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Tipo de Cable	RG6, Cable Coaxial
Impedancia del Cable	75 $\Omega$
Velocidad de Propagación	66 %
Efectividad del Blindaje	90 dB
Voltaje de Funcionamiento (CC)	2,700 Vcc
Capacidad Nominal	20,6 pF/pie (67,59 pF/m)
Rendimiento por Banda de Frecuencia	10 MHz: 0,08 dB/100pies/ 100 MHz: 2,9 dB/100pies, 1000MHz: 11 dB/100pies
Diámetro	0,332 pulgadas (8,43 mm)

Peso	0,085 libras/pie (0,13 kg/m)
Mín. Radio de Curvatura (Repetido)	3,5 pulgadas (88,9 mm)
Conductor Interno	Acero revestido de cobre, 1 hebra, 0,029 pulgadas (0,74 mm)
Tipo de Conductor	Sólido
Dieléctrico	Educación Física, 4,7 mm (0,185 pulgadas)
Primer Escudo	Trenza de cobre plateada

Fuente: <https://www.pasternack.com/images/productpdf/rg6a-u.pdf>

### 3.8.3.15 Conmutador de antena CA-201 UHF

**Tabla 3-20:** Características técnicas del conmutador de antena CA-201 UHF

Características	Descripción
Tamaño	9,2 x 5 x 2,6 cm / 3,6 x 1,9 x 1,02 pulgadas
Material	Aleación de zinc
Rango de frecuencia	1,8-600MHz
Pérdida de inserción	Menos de 0,2 dB
Aislamiento	50 dB o más
Impedancia	50 $\Omega$

Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/1005006372426137>

### 3.8.3.16 Conector PL-259 macho

**Tabla 3-21:** Características técnicas del conector PL-259 macho

Característica	Especificación
Impedancia	No es constante
Frecuencia	0 - 300 MHz
Voltaje (RMS)	500 V
Compatibilidad	RG8, RG6, RG9 y CN400

Fuente: <https://ftp3.syscom.mx/usuarios/ftp/2015/06/26/d09ca/RFU-500.pdf>

### 3.8.3.17 Antena Delta Loop

**Tabla 3-22:** Características técnicas de la antena Delta Loop

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Frecuencia de operación	28,5 MHz
Banda de HF	28-29 MHz
Potencia máxima	100-500 W
Impedancia	75 $\Omega$
Ganancia	10,96 dBi
Polarización	Vertical

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

### 3.8.3.18 Antena Dipolo

**Tabla 3-23:** Características técnicas de la antena Dipolo

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Frecuencia de operación	28,5 MHz
Banda de HF	28-29 MHz
Potencia máxima	100 W
Impedancia	75 $\Omega$
Ganancia	1,89 dBi
Polarización	Horizontal y Vertical

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

### 3.8.3.19 Antena Cuadra-Cúbica multibanda

**Tabla 3-24:** Características técnicas de la antena Cuadra-Cúbica Multibanda

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Frecuencia de operación	50,313, 146 y 221 MHz
Banda de VHF	28-29 MHz, 144-148 MHz y 220-221 MHz
Potencia máxima	25 W
Impedancia	100 $\Omega$
Ganancia	12,97, 10,86 y 10,86 dBi
Polarización	Horizontal

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

### 3.8.3.20 Antena Dipolo extensible

**Tabla 3-25:** Características técnicas de la antena Dipolo Extensible

Característica	Especificación
Bandas de operación	VHF y UHF
Potencia máxima	5 W
Impedancia	100 $\Omega$
Ganancia	1 dBi
Polarización	Vertical y Horizontal

Fuente: <https://www.astroradio.com/p/kit-antenas-dipolo-multiuso/>

### 3.8.4 Potencias máximas de emisión

La Tabla 3-26, detalla las potencias máximas de emisión para la estación de radioaficionados designadas por la ARCOTEL.

**Tabla 3-26:** Potencias máximas permitidas designadas por la ARCOTEL

HF		VHF y Superiores	
Técnico	General	Técnico	General
500 W	2000 W	25 W	160 W

Fuente: ARCOTEL, 2021b

**Tabla 3-27:** Cálculo de potencias máximas permitidas

HF			
PRA [W]	Gt [dBi]	Lcc [dB]	Pt [W]
500	2,15	8,36	115,827
VHF			
25	10,84	2	1
25	10,38	2	1
25	11,56	2	1

Fuente: Realizado por: Cofre K., 2024.

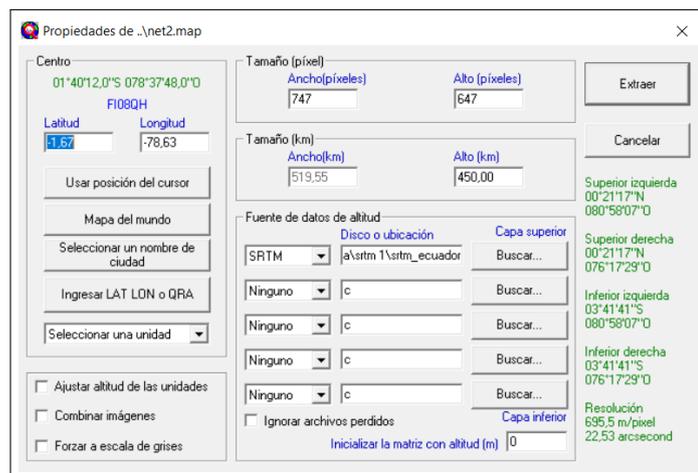
Se calculó un valor máximo de potencia con la cual la estación puede emitir de acuerdo a las

regulaciones de la ARCOTEL, la misma varía de acuerdo a la categoría de licencia adquirida y la banda de operación, para el proyecto la categoría permitida es el de tipo **Técnico**, lo que implicó adaptarse a potencias emitidas de 500 W en la banda HF y 25 W en la banda VHF. Para calcular el valor de la potencia de transmisión máxima se hace uso de la ecuación 2-11 y 2-12, tomando en cuenta un valor aproximado de 2dB de pérdidas totales generadas por el sistema. Estos calculos se observan en la Tabla 3-27.

### 3.8.5 Características de planificación para cobertura en radiomobile

#### 3.8.5.1 Propiedades mapa

En la Ilustración 3-68, se presenta las configuraciones realizadas en la sección **Propiedades del Mapa** para el estudio de enlaces y rango de cobertura de la estación de radioaficionados, cuyas configuraciones involucran el punto central de estudio, archivo de mapeo que proporciona Radiomobile y la extensión del terreno.

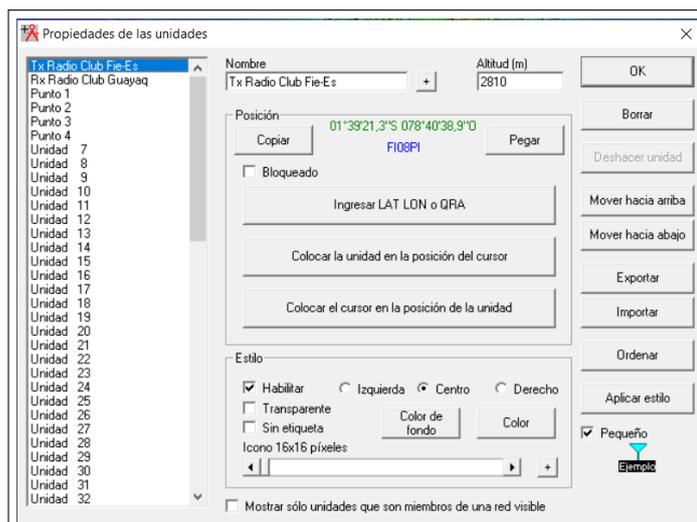


**Ilustración 3-68:** Propiedades del Mapa

**Realizado por:** Cofre K., 2024.

#### 3.8.5.2 Configuración de unidades

En la Tabla 3-6 se observan las configuraciones de las unidades, en la cual se representan los ubicaciones de análisis que se realizaron en Radiomobile, cuyas configuraciones constan del nombre, longitud, latitud y altura en [msnm], la interfaz de configuración se puede observar en la Ilustración 3-69.



**Ilustración 3-69:** Propiedades de Unidades

Realizado por: Cofre K., 2024.

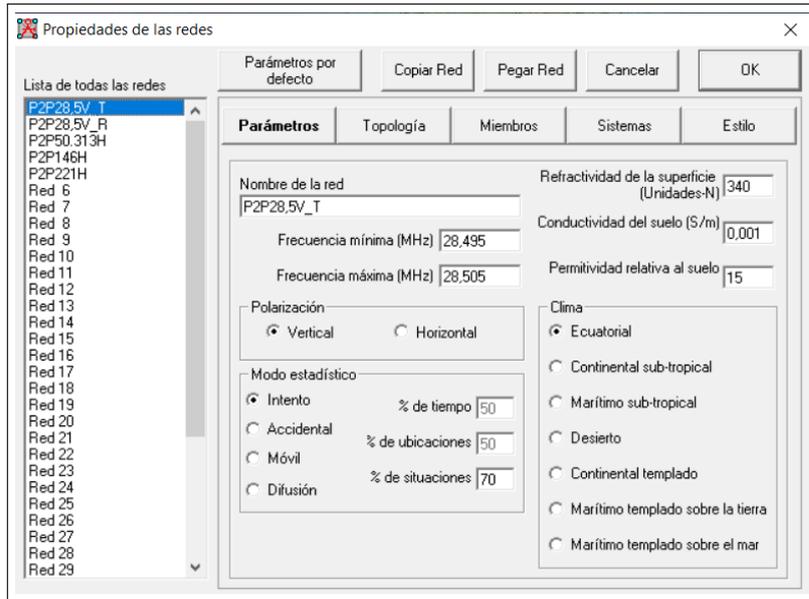
### 3.8.5.3 Configuración de redes

**Tabla 3-28:** Configuración de Redes

Nombre de la Red	Rango de Frecuencias	Refracti-vidad de la su-perficie	Conducti-vidad del suelo (S/m)	Permiti-vidad Relativa	Polaridad
P2P28.5V_T	28,495 - 28.505	340	0,001	15	Vertical
P2P28.5V_R	28,495 - 28.505	350	0,02	30	Vertical
P2P50.313H	50,308 - 50,318	340	0,0013	15	Horizontal
P2P146V	145,995 - 146,005	340	0,0021	15	Horizontal
P2P221V	220,995 - 221,005	340	0,004	15	Horizontal

Realizado por: Cofre K., 2024.

En la Tabla3-28, se detalla los parámetros técnicos de las redes configuradas en Radiomobile para cada una de las frecuencias de operación. Estos parámetros incluyen el nombre de la red, las frecuencias inferior y superior, la refractividad de la superficie, la conductividad del suelo, la permitividad relativa, el clima predominante y la polaridad de cada red. La Tablaproporciona detalles precisos sobre las características técnicas y propiedades del entorno, en este caso de la ciudad Riobamba y Guayaquil. Los parámetros característicos del suelo se obtuvieron en base a la Recomendación UIT-R P.527-3. En la Ilustración 3-70 se observa el entorno de configuración.

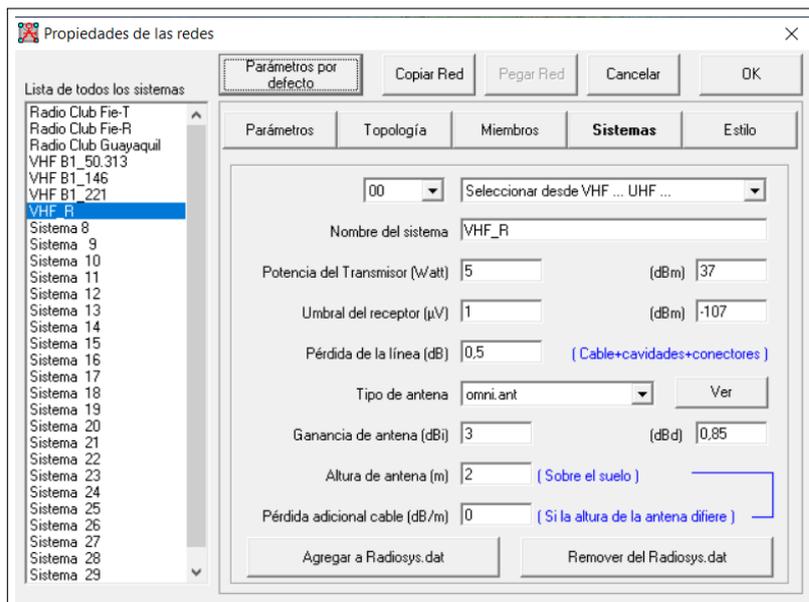


**Ilustración 3-70:** Configuración de Redes

**Realizado por:** Cofre K., 2024.

#### 3.8.5.4 Configuración de sistemas

Para la configuración del sistema se tomaron en cuenta parámetros como, potencia, umbral de recepción, ganancia de la antena, pérdida de línea y altura de la antena respecto al suelo. Para lo cual se configuraron varias Redes específicas que varía el comportamiento del enlace, dependiendo del umbral de recepción y de la banda de operación.



**Ilustración 3-71:** Configuración de Sistemas

**Realizado por:** Cofre K., 2024.

Para la banda HF se realizaron pruebas, en base a la sensibilidad de recepción de uno de los equipos comerciales como el YAESU FT-840 que dispone Radio Club Guayaquil, así como una antena dipolo V invertida.

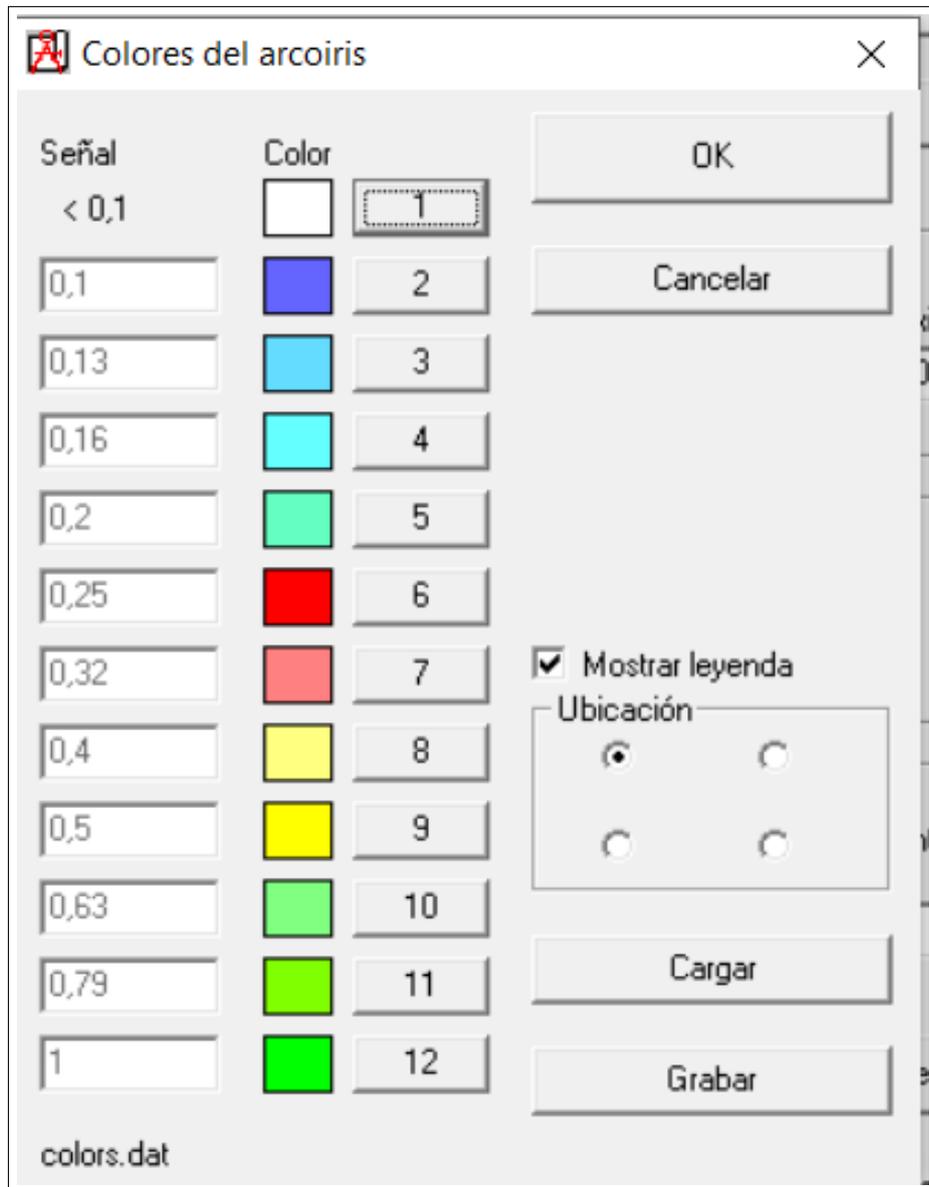
Para la banda VHF los parámetros varían en función de la frecuencia, además para el sistema de recepción se utilizó el Umbral de recepción característico del dispositivo portátil SDR BLOG V4 comercial que se observa en la Ilustración 2-12, debido a ello se crearon 3 sistemas con la cual se puede variar el entorno de simulación eligiendo el modo de operación para la transmisión y un único sistema para recepción. En la Tabla 3-29 se observa cada uno de los sistemas configurados y en la Ilustración 3-71 se observa la interfaz de configuración realizada en Radiomobile.

**Tabla 3-29:** Configuración de sistemas

	Potencia		Umbral del receptor		Ganancia de la antena		Pérdida de línea	Altura de la antena
<b>HF</b>								
Nombre del Sistema	W	dBm	uV	dBm	dBi	dBd	dB	metros
Radio Club Fie-T	115,827	50,6	1	-107	10,5	8,35	2	10
Radio Club Fie-R	0.5	27	1	-107	3,34	1,19	0,5	10
Radio Club Guayaquil	100	50	0,25	-119	5,75	3,6	1	4
<b>VHF</b>								
VHF B1_50.313	2	33	1	-107	12,97	10,82	2	10
VHF B2_146	2	33	1	-107	10,86	8,71	2	10
VHF B3_221	2	33	1	-107	10,86	8,71	2	10
VHF_R	2	33	1	-107	2.15	0	0.02	2

Realizado por: Cofre K., 2024.

### 3.8.5.5 Paleta de colores para el rango de cobertura



**Ilustración 3-72:** Paleta de Colores para el rango de cobertura en Radiomobile

Realizado por: Cofre K., 2024.

Para representar la mancha de radiación en Radiomobile, es necesario configurar el rango de potencia aceptable que los dispositivos deben tener para recibir la señal. En este caso, se ingresaron valores en unidades de uV, tomando como referencia dispositivos comerciales orientados a la Radioafición, como el **Yaesu FT-840**. Estos valores oscilan entre [0,25-1] uV para la banda HF. La figura 3-72 muestra la correspondencia de colores según el valor asignado.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Sistema de simulaciones

##### 4.1.1 Sistema radiante

###### 4.1.1.1 Simulación de antena Delta Loop en MMANA-GAL

El diseño de la Antena Delta Loop en el inciso 3.7.1.1 se basó inicialmente en parámetros y fórmulas teóricas. Sin embargo, para lograr los mejores resultados en la simulación de la antena, se realizaron ajustes en los parámetros clave. Se modificaron las longitudes de cada triángulo, la distancia entre ellos y se ubicó estratégicamente el punto de alimentación. Estas modificaciones fueron necesarias para cumplir con el requisito de obtener una polarización vertical. Se reconoció que la ubicación del punto de alimentación afectaría el flujo de energía eléctrica, lo que a su vez alteraría la polarización de la antena. Por lo tanto, se llevó a cabo un proceso iterativo de ajustes hasta alcanzar los resultados deseados para luego implementar la antena con éxito.

La comparación entre las dimensionales iniciales y modificadas se presenta en la Tabla 4-1, donde se destacan los ajustes que condujeron a los mejores resultados.

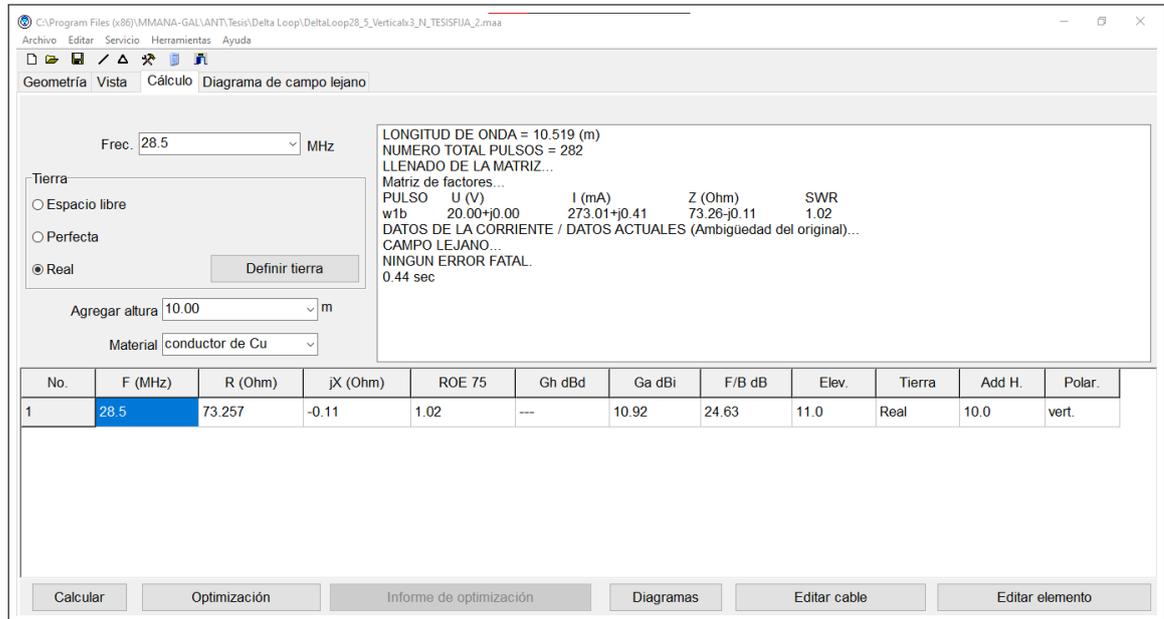
**Tabla 4-1:** Dimensiones iniciales y modificadas de la antena Delta Loop

<b>Dimensiones Iniciales [m]</b>			
<b>Longitudes</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>
<b>Reflector</b>	3,67	3,67	3,67
<b>Radiante</b>	3,58	3,58	3,58
<b>Director</b>	3,48	3,8	3,48
<b>Distancia</b>	<b>Reflector-Radiante</b>		<b>Radiante-Director</b>
	2,63		1,16
<b>Dimensiones Modificadas [m]</b>			
<b>Longitudes</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>
<b>Reflector</b>	3,8	3,8	3,8
<b>Radiante</b>	3,68	3,68	3,68
<b>Director</b>	3,49	3,49	3,49
<b>Distancia</b>	<b>Reflector-Radiante</b>		<b>Radiante-Director</b>
	2,52		1,99

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

## Cálculos

El programa de MMANA-GAL ofrece un algoritmo para poder calcular parámetros técnicos de la antena y para su ejecución se ingresaron los parámetros generales de diseño de la antena Delta Loop, dando como resultados los que se muestran en la Ilustración 4-1 y representados en Tabla 4-2.



**Ilustración 4-1:** Cálculo de parámetros técnicos de la antena Delta Loop, realizado por MMANA-GAL a la frecuencia de 28,5 MHz.

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

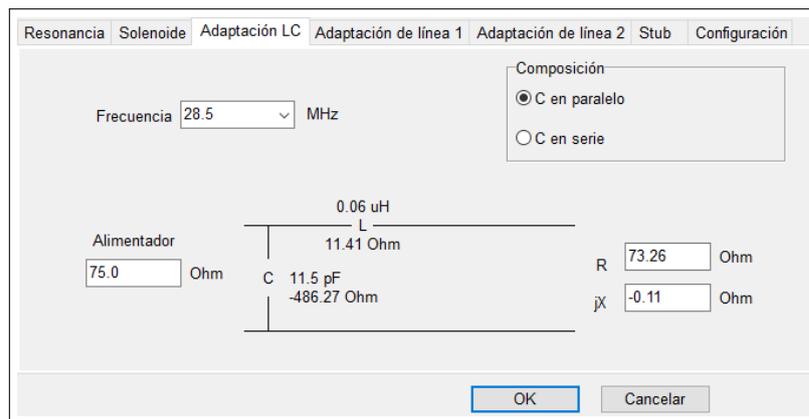
**Tabla 4-2:** Valores de parámetros técnicos calculados de la antena Delta Loop

Parámetros Técnicos	Valores
Frecuencia [MHz]	28,5
Resistencia [ $\Omega$ ]	73,257
Reactancia [ $\Omega$ ]	-0,11
ROE [75 $\Omega$ ]	1,02
Ganancia [dBi]	10,92
Polarización	Vertical

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

Debido a la falta de un acoplamiento ideal con la impedancia deseada de 75  $\Omega$ , el software propone un circuito de Adaptación LC entre la antena y la línea de alimentación de 75  $\Omega$ . Como se muestra en la Ilustración 4-2, este circuito paralelo incorpora componentes pasivos, como un inductor de

0,06 uH y un capacitor de 11,5 pF.

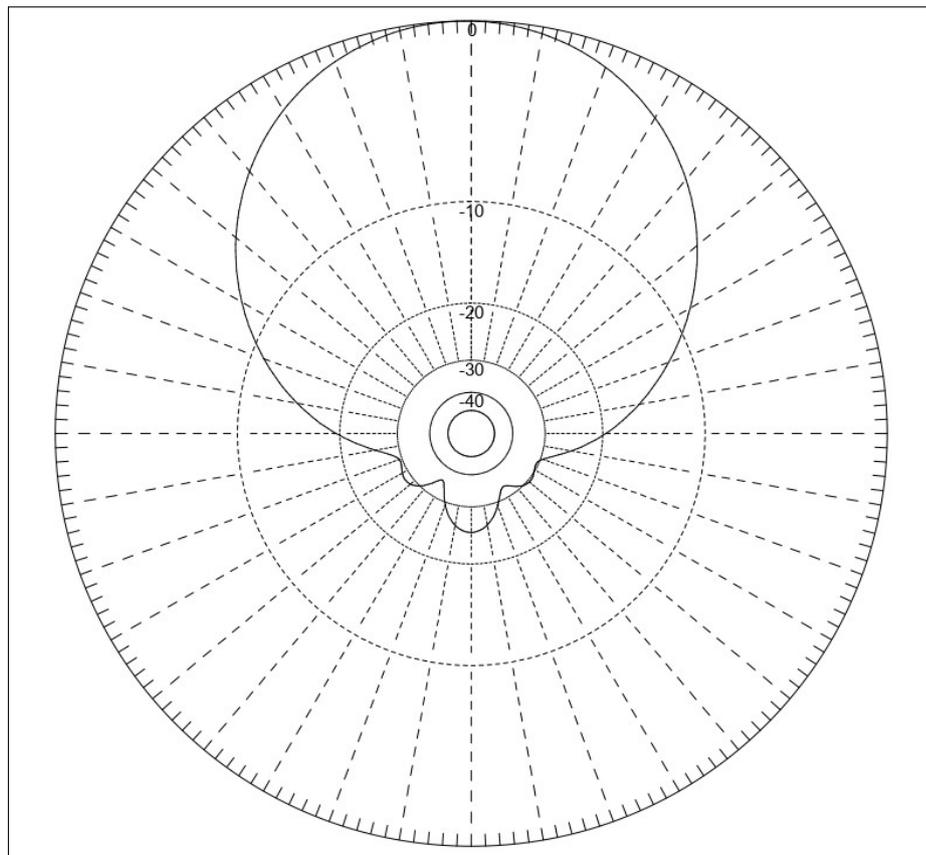


**Ilustración 4-2:** Circuito de Adaptación LC entre la antena Delta Loop de  $73,26 \Omega$  y la línea de transmisión de  $75 \Omega$ .

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

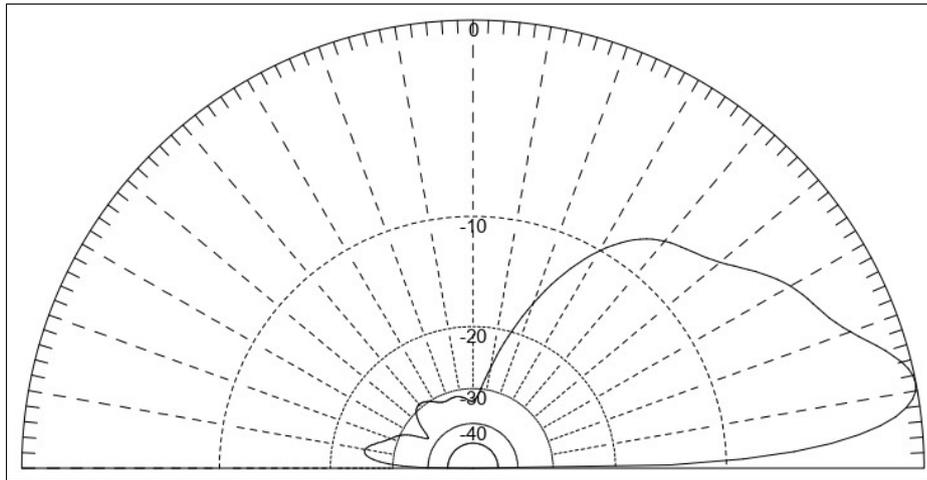
### *Diagrama de campo lejano*

- Diagrama de Campo Total de la antena Delta Loop



**Ilustración 4-3:** Diagrama de campo total generado por la antena Delta Loop a la frecuencia de 28,5 MHz , vista desde el eje X.

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

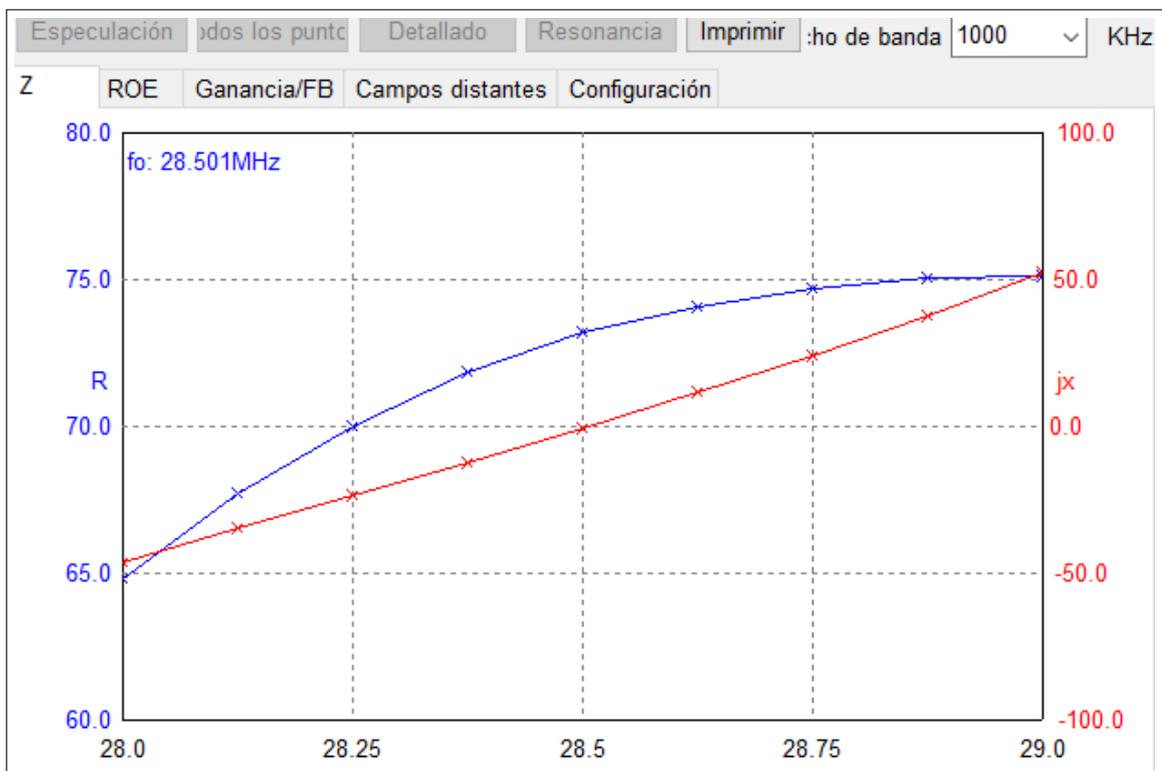


**Ilustración 4-4:** Diagrama de campo total generado por la antena Delta Loop a la frecuencia de 28,5 MHz, vista desde el eje Z.

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

Las ilustraciones 4-3 y 4-4 presentan diagramas de campo lejano total, observados desde el eje x y el eje z. El enfoque principal está en su eficacia superior y directividad que ofrece la antena Delta Loop con una ganancia máxima de 10,92 dBi.

#### Acoplamiento de impedancia (Z)

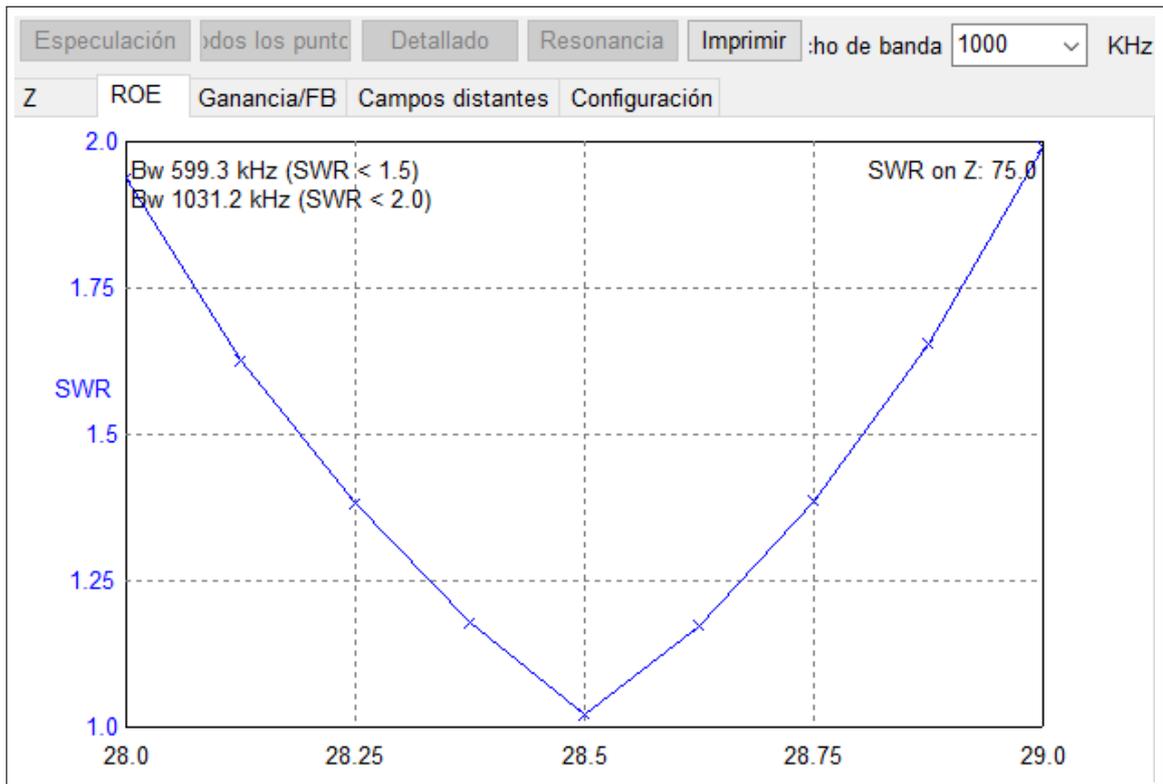


**Ilustración 4-5:** Diagrama de impedancia generado por la antena Delta Loop a la frecuencia de 28,5 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

La Ilustración 4-5 muestra el diagrama de impedancias con un ancho de banda de 1 MHz y el acoplamiento aproximado de la antena al valor de  $75 \Omega$ . En la frecuencia de operación de 28,5 MHz, la impedancia registrada es de  $73,257 \Omega$ , evidenciando una variación a lo largo de toda la banda. Se resalta que las frecuencias dentro del intervalo de 28,25-28,75 MHz son óptimas para el acoplamiento y la comunicación utilizando esta antena.

**Relación onda estacionaria (ROE)**



**Ilustración 4-6:** Diagrama de ROE generado por la antena Delta Loop a la frecuencia de 28,5 MHz. **Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

La relación de onda estacionaria o ROE de la antena se representa en la Ilustración 4-6, y se puede evidenciar que para la frecuencia de operación de 28,5 MHz se obtiene un ROE = 1,02, es decir, la antena está exhibiendo una excelente coincidencia de impedancia con la línea de transmisión y que muy poca energía se estaría reflejando de vuelta hacia el transmisor.

#### 4.1.1.2 Simulación de antena Dipolo en MMANA-GAL

El diseño del Dipolo en el inciso 3.7.1.2 se basó en parámetros y fórmulas teóricas. Se comprendió que la orientación de la antena, ya sea vertical u horizontal, afectaría la calidad de la transmisión y, sobre todo, la recepción de la señal, lo cual a su vez tendría un impacto en la polarización de la antena.

#### Cálculos

El programa de MMANA-GAL ofrece un algoritmo para poder calcular parámetros técnicos de la antena y para su ejecución se ingresaron los parámetros generales de diseño de la antena Dipolo, dando como resultados los que se muestran en la Ilustración 4-7 y representados en la Tabla 4-3.

The screenshot shows the MMANA-GAL software interface. The main window displays the following information:

- Frequency: 28.5 MHz
- Wavelength: 10.519 m
- Number of pulses: 49
- Matrix filling status: LLENADO DE LA MATRIZ...
- Matrix of factors: Matriz de factores...
- Pulse parameters: PULSO U (V) 1 (mA) Z (Ohm) SWR
- Results: w1b 10.00+j0.00 133.51-j11.47 74.35+j6.39 1.09
- Data: DATOS DE LA CORRIENTE / DATOS ACTUALES (Ambigüedad del original)...
- Field: CAMPO LEJANO...
- Status: NINGUN ERROR FATAL.
- Time: 0.05 sec

Below the main window is a table with the following data:

No.	F (MHz)	R (Ohm)	jX (Ohm)	ROE 75	Gh dBd	Ga dBi	F/B dB	Elev.	Tierra	Add H.	Polar.
2	28.5	74.353	6.39	1.09	---	3.34	---	8.6	Real	10.0	vert.
1	28.5	70.236	1.06	1.07	---	1.89	---	14.6	Real	2.0	vert.

**Ilustración 4-7:** Cálculo de parámetros técnicos de la antena Dipolo, realizado por MMANA-GAL a la frecuencia de 28,5 MHz.

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

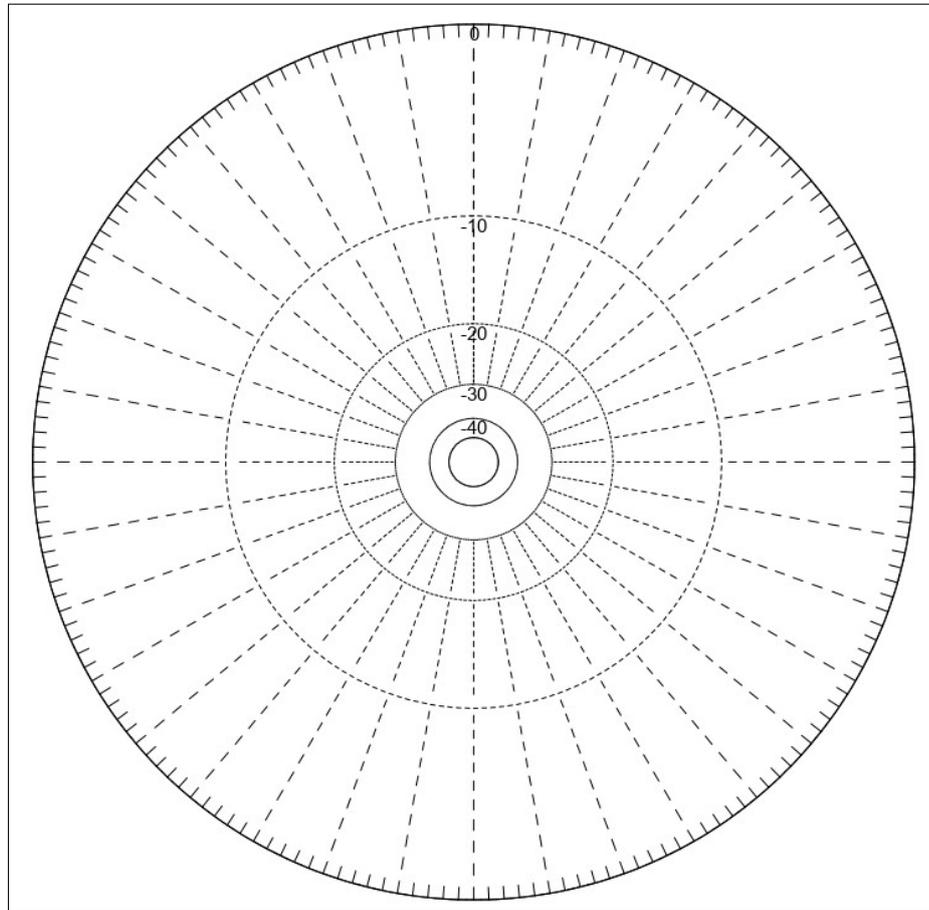
**Tabla 4-3:** Valores de parámetros técnicos calculados de la antena Dipolo

Parámetros Técnicos	2 metros	10 metros
Frecuencia [MHz]	28,5	28,5
Resistencia [ $\Omega$ ]	70,236	74,353
Reactancia [ $\Omega$ ]	1,06	6,39
ROE [75 $\Omega$ ]	1,07	1,09
Ganancia [dBi]	1,89	3,34
Polarización	Vertical	Vertical

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

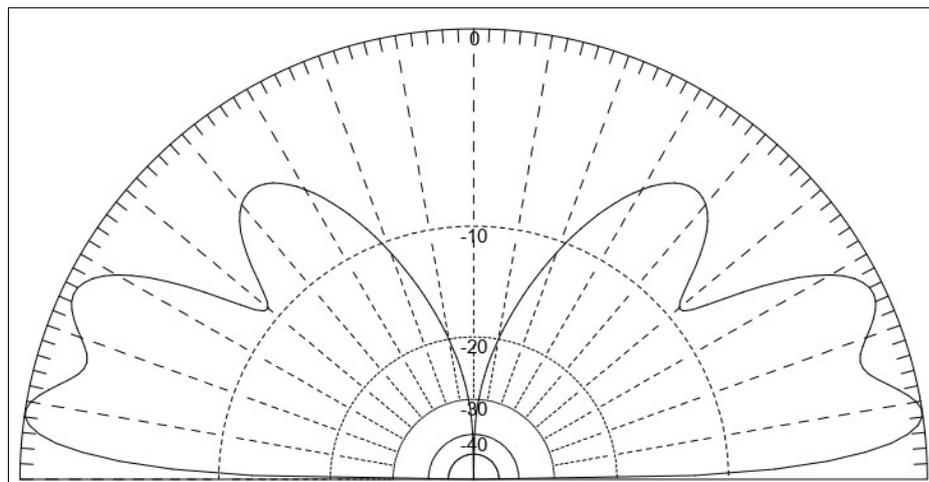
## Diagrama de campo lejano de la antena Dipolo

### ■ Diagrama Campo Total



**Ilustración 4-8:** Diagrama de campo total generado por la antena Dipolo a la frecuencia de 28,5 MHz, vista desde el eje X.

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

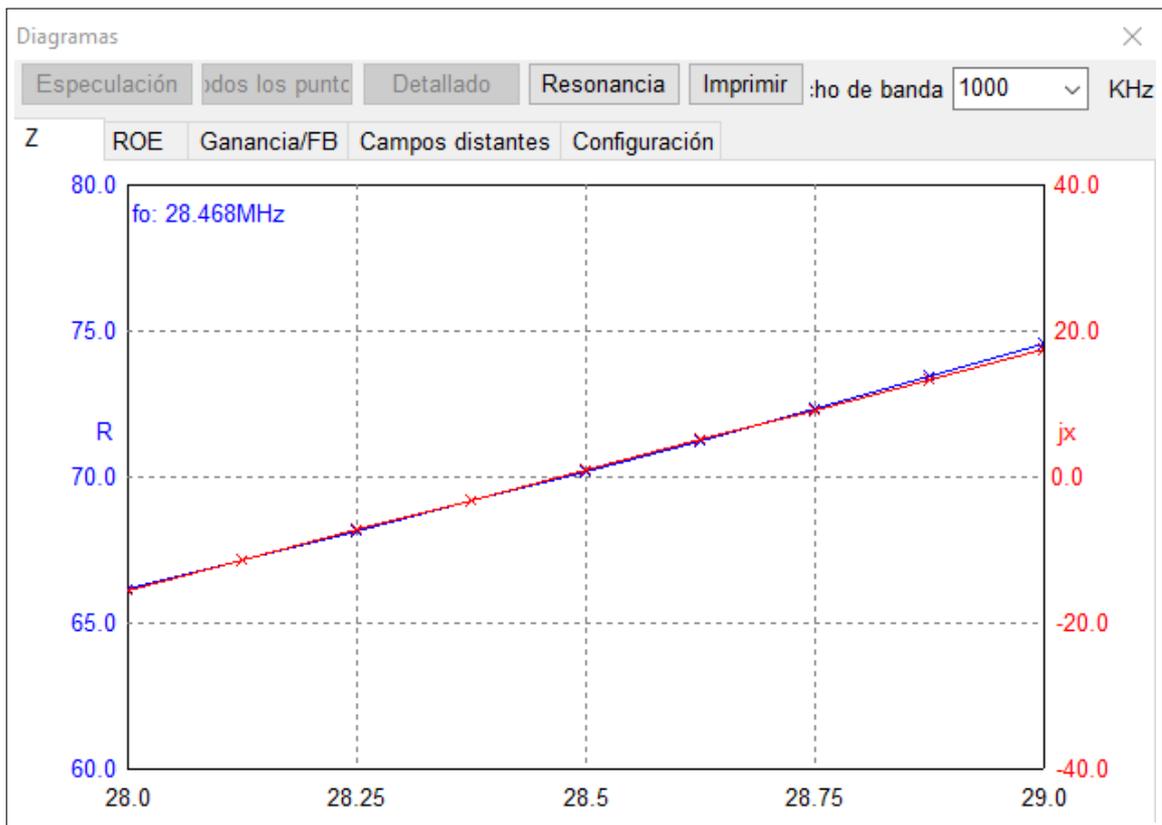


**Ilustración 4-9:** Diagrama de campo total generado por la antena Dipolo a la frecuencia de 28,5 MHz, vista desde el eje Z.

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

Las Ilustraciones 4-8 y 4-9 muestran los diagramas de campo lejano total, vistos desde el eje x y el eje z, respectivamente. El patrón de radiación de esta antena es omnidireccional en la banda de HF con una frecuencia de operación de 28,5 MHz. Las ganancias reportadas son de 1,8 y 3,34 dBi, dependiendo de la altura sobre el suelo, la cual fue analizada a 2 y 10 m, respectivamente.

### Acoplamiento de Impedancia (Z)

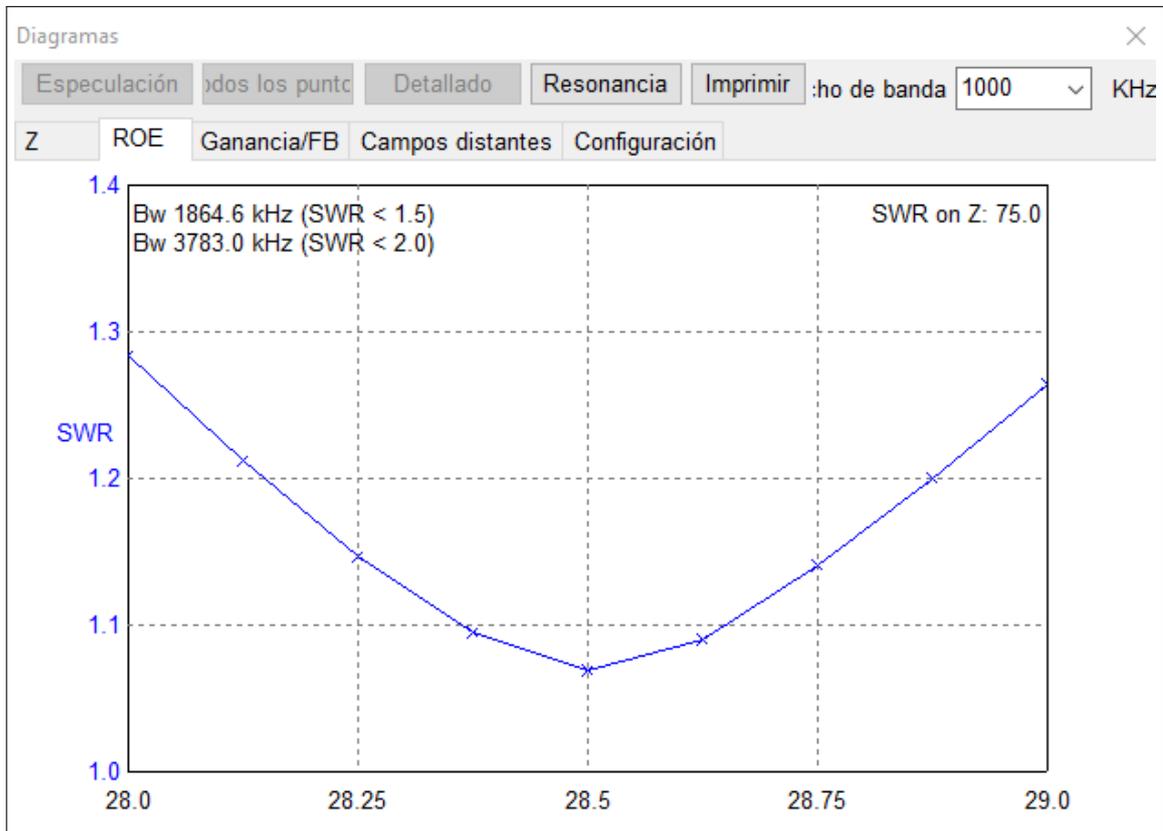


**Ilustración 4-10:** Diagrama de impedancia de generador por la antena Dipolo a la frecuencia de 28,5 MHz.

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

La Ilustración 4-10 muestra el diagrama de impedancias con un ancho de banda de 1 MHz y el acoplamiento aproximado de la antena al valor de 75 Ω. En la frecuencia de operación de 28,5 MHz, la impedancia registrada es de 70,236 Ω para una altura de 2 m, evidenciando una variación a lo largo de toda la banda. Se resalta que las frecuencias dentro del intervalo de 28,5-29 MHz son óptimas para establecer una comunicación.

### Relación onda estacionaria (ROE)



**Ilustración 4-11:** Diagrama de ROE generado por la antena Dipolo a la frecuencia de 28,5 MHz.

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

La relación de onda estacionaria o ROE de la antena se representa en la Ilustración 4-11, y se puede evidenciar que para la frecuencia de operación de 28,5 MHz se obtiene un ROE = 1,07 para una altura de 2 m, es decir, la antena está exhibiendo cercana coincidencia de impedancia con la línea de transmisión, además que en la práctica esto representaría que muy poca energía se estaría reflejando de vuelta hacia el transmisor si se envía una señal.

#### 4.1.1.3 Simulación de antena Cuadra-Cúbica en MMANA-GAL

El diseño de la antena Cuadra-Cúbica en el apartado 3.7.2.1 se fundamentó en parámetros y fórmulas teóricas. Sin embargo, para lograr los mejores resultados en la simulación de la antena, se realizaron ajustes en los parámetros clave. Se modificaron las longitudes de cada cuadrado, la separación entre el reflector y los elementos radiantes, y se logró ubicar estratégicamente cada punto de alimentación. Estas adaptaciones fueron necesarias para cumplir con el requisito de obtener una polarización horizontal. Se reconoció que la posición del punto de alimentación tendría un impacto en el flujo de

energía eléctrica, que a su vez influiría en la polarización de la antena. Por consiguiente, se llevó a cabo un proceso iterativo de ajustes hasta alcanzar los mejores resultados.

La comparación entre las dimensiones iniciales y modificadas se presenta en la Tabla 4-4, donde se destacan los ajustes que condujeron a los mejores resultados.

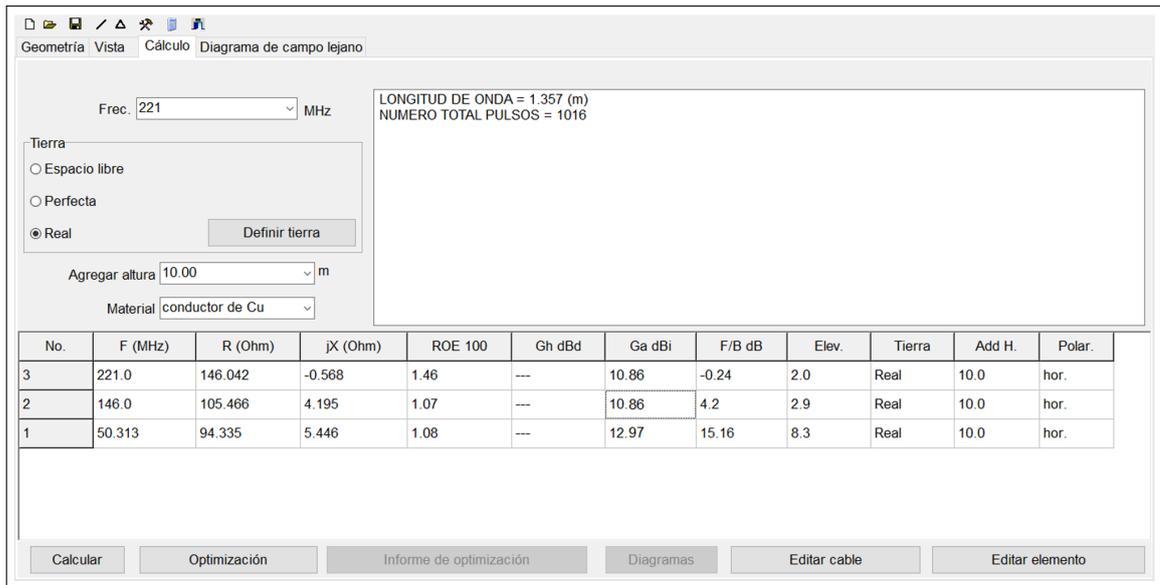
**Tabla 4-4:** Dimensiones iniciales y modificadas de la antena Cuadra-Cúbica

<b>Dimensiones Iniciales [m]</b>				
<b>fc = 50,313 MHz</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Reflector</b>	1,59	1,59	1,59	1,59
<b>Radiante</b>	1,52	1,52	1,52	1,52
<b>fc = 146 MHz</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Radiante</b>	0,52	0,52	0,52	0,52
<b>fc = 221 MHz</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Radiante</b>	0,35	0,35	0,35	0,35
<b>Distancia</b>	<b>Reflector-Radiantes</b>			
	2,63			
<b>Dimensiones Modificadas [m]</b>				
<b>fc = 50,313 MHz</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Reflector</b>	1,59	1,59	1,59	1,59
<b>Radiante</b>	1,5	1,5	1,5	1,5
<b>fc = 146 MHz</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Radiante</b>	0,56	0,56	0,56	0,56
<b>fc = 221 MHz</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Radiante</b>	0,36	0,36	0,36	0,36
<b>Distancia</b>	<b>Reflector-Radiantes</b>			
	0,66			

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

### *Cálculos*

El programa de MMANA-GAL ofrece un algoritmo para poder calcular parámetros técnicos de la antena y para su ejecución se ingresaron los parámetros generales de diseño de la antena Cuadra-Cúbica, dando como resultados los que se muestran en la Ilustración 4-12 y se representan en la Tabla 4-5.



**Ilustración 4-12:** Cálculo de parámetros técnicos de la antena Cuadra-Cúbica a las frecuencias de 50,313, 146 y 221 MHz, realizado por MMANA-GAL.

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

**Tabla 4-5:** Valores de parámetros técnicos calculados de la antena Cuadra-Cúbica.

Parámetros Técnicos	Valores	Valores	Valores
Frecuencia [MHz]	50,313	146	221
Resistencia [ $\Omega$ ]	94,335	105,466	146,042
Reactancia [ $\Omega$ ]	5,446	4,195	-0,568
ROE [ $100 \Omega$ ]	1,08	1,07	1,46
Ganancia [dBi]	12,97	10,86	10,86
Polarización	Horizontal	Horizontal	Horizontal

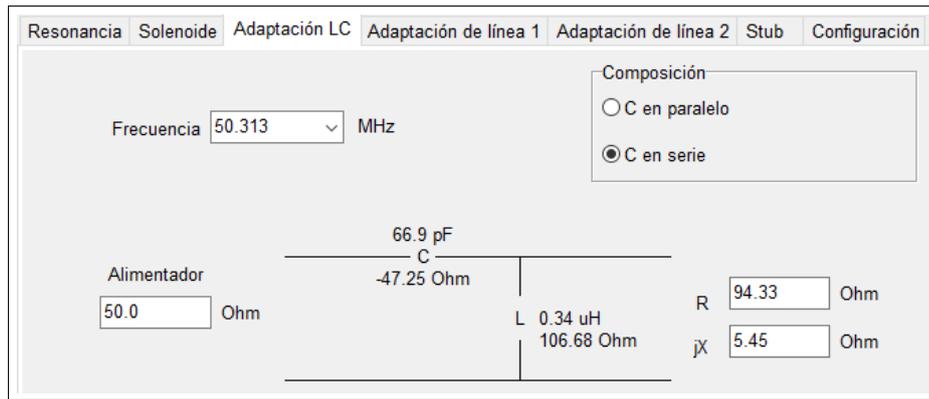
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

Debido a la falta de un acoplamiento ideal de impedancias, el software propone circuitos de Adaptación LC para un acoplamiento entre la línea de alimentación de  $50 \Omega$  y la impedancia que genera cada antena en el espacio. Como se muestra en las Ilustraciones 4-2, 4-2 y 4-2, estos circuitos en paralelo y serie incorporan componentes pasivos, como inductores y capacitores, los valores de cada elemento según la frecuencia de operación se describen en la Tabla 4-6.

**Tabla 4-6:** Valores de capacitores e inductores de las adaptaciones de impedancia para la antena Cuadra-Cúbica, según la frecuencia de operación.

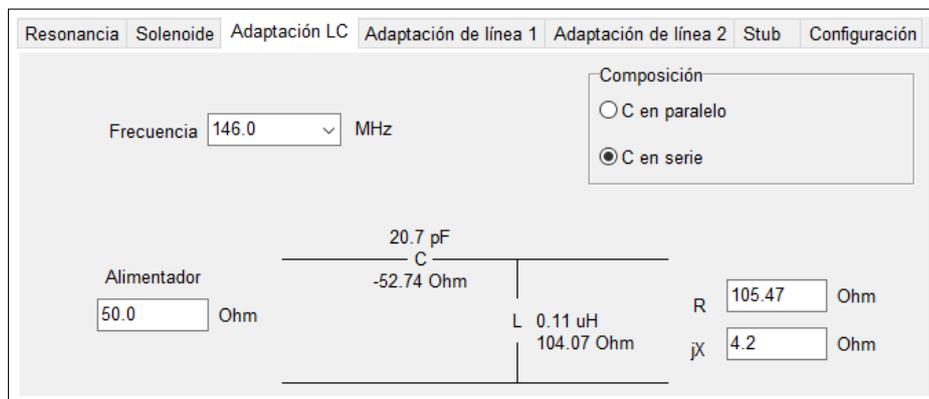
Frecuencia [MHz]	Capacitor [pF]	Inductor [ $\mu$ H]	Circuito
50,313	66,9	0,34	Serie
146	20,7	0,11	Serie
221	6,8	0,05	Paralelo

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.



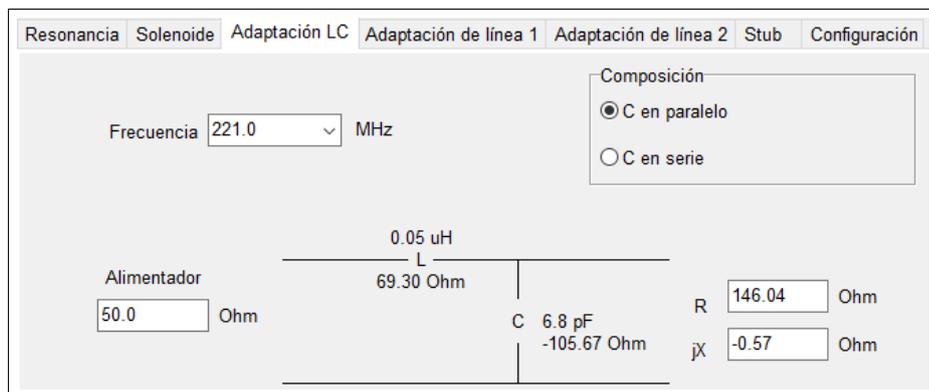
**Ilustración 4-13:** Circuito de adaptación LC para la antena que opera a 50,313 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-14:** Circuito de adaptación LC para la antena que opera a 146 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



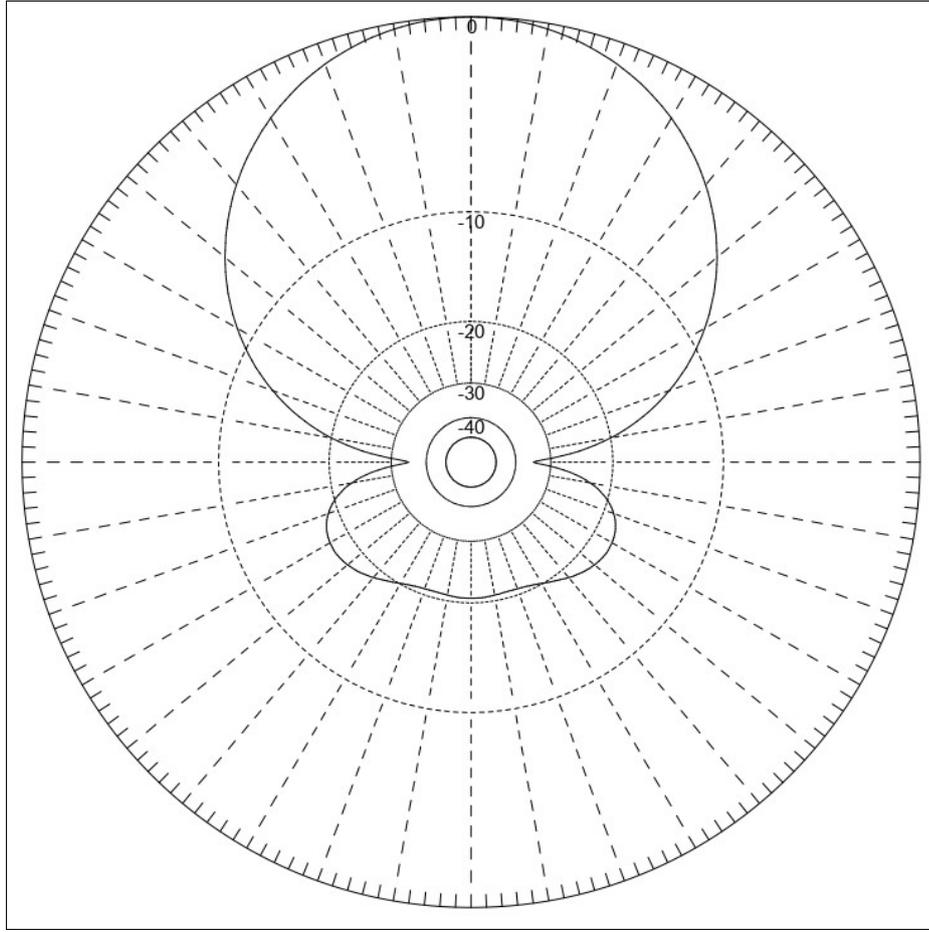
**Ilustración 4-15:** Circuito de adaptación LC para la antena que opera a 221 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

### *Diagramas de campo lejano de la antena Cuadra-Cúbica*

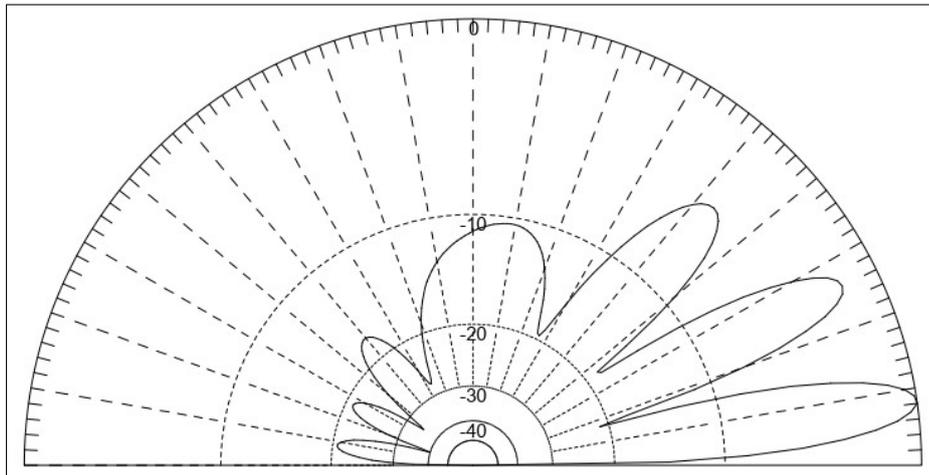
- Diagrama Campo Total

1. Frecuencia de operación: 50,313 MHz



**Ilustración 4-16:** Diagrama de campo total generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 50,313 MHz, vista desde el eje X.

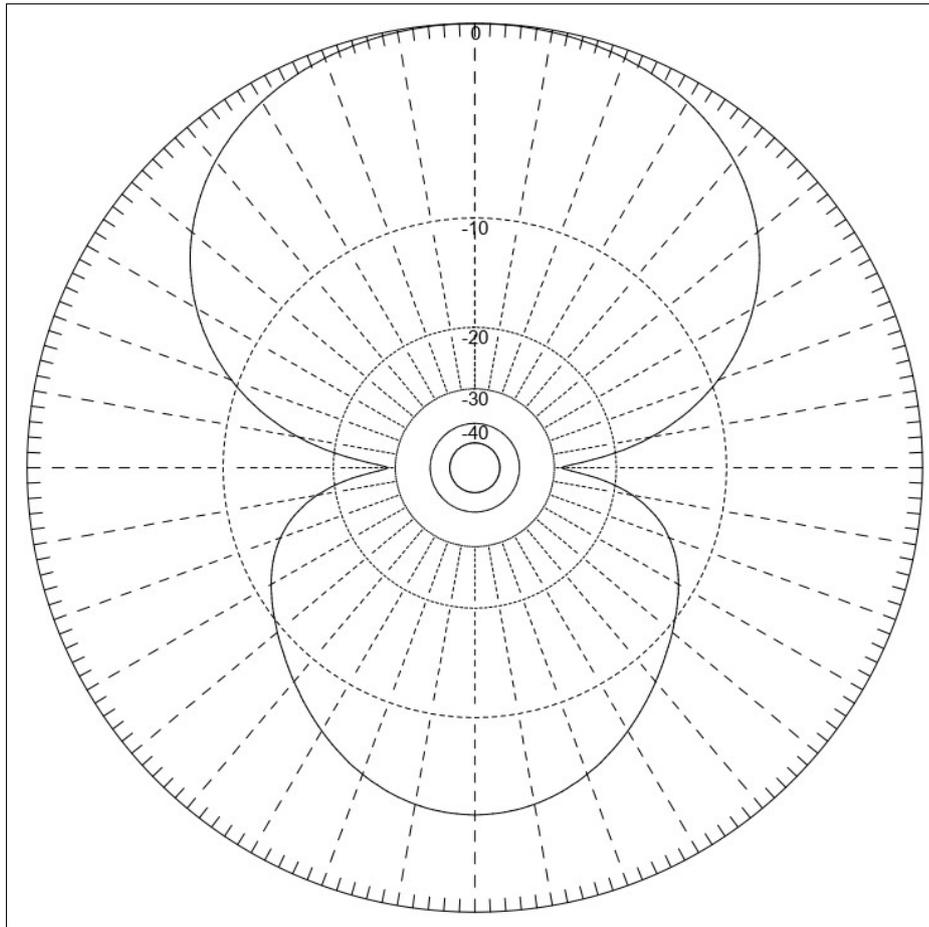
Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-17:** Diagrama de campo total generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 50,313 MHz, vista desde el eje Z.

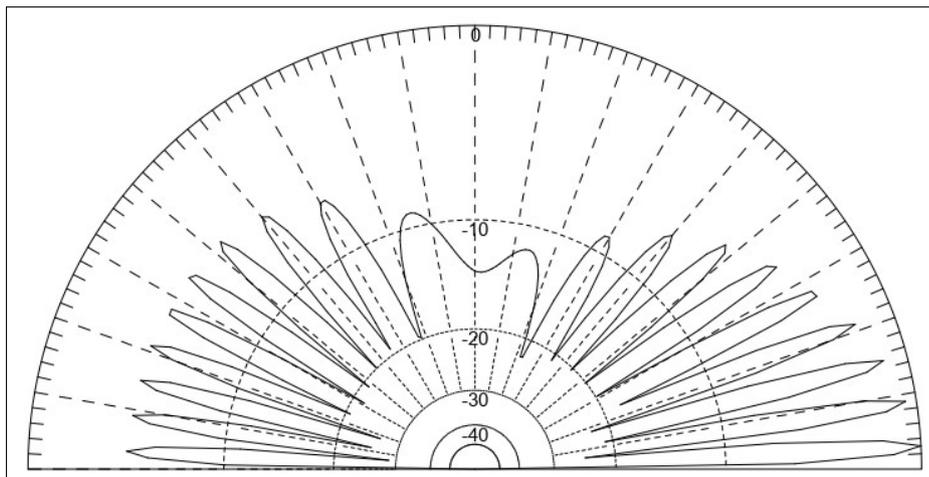
Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

2. Frecuencia de operación: 146 MHz



**Ilustración 4-18:** Diagrama de campo total generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 146 MHz, vista desde el eje X.

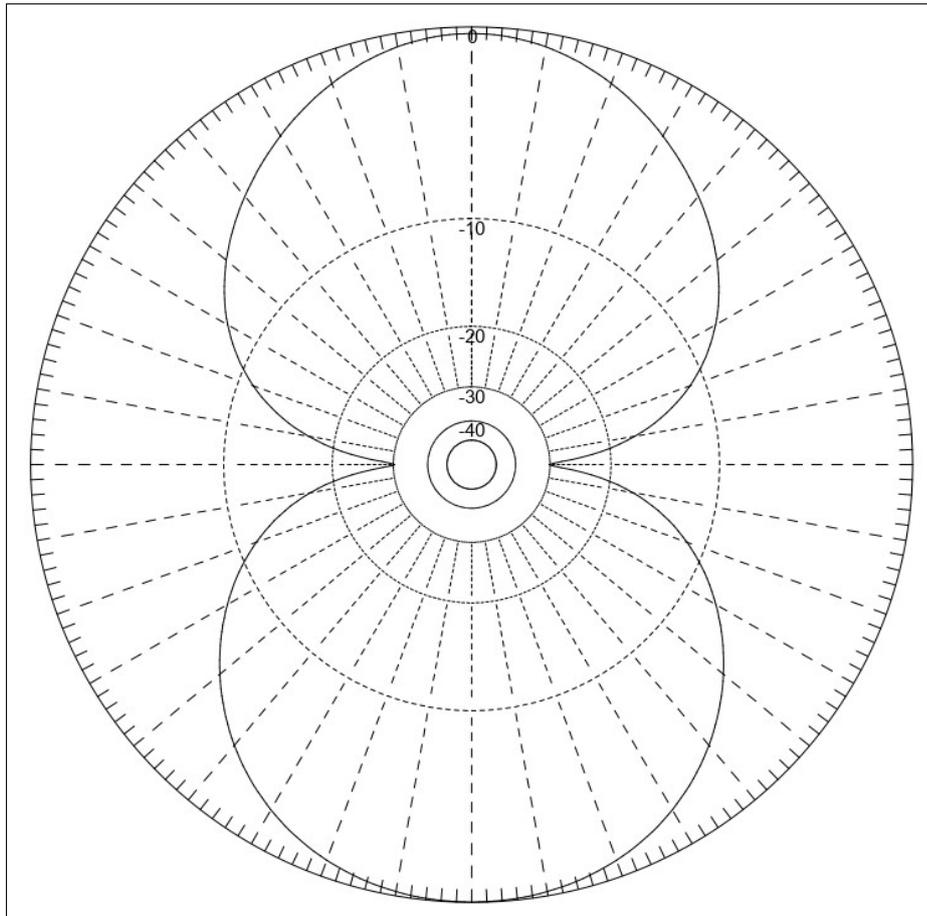
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-19:** Diagrama de campo total generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 146 MHz, vista desde el eje Z.

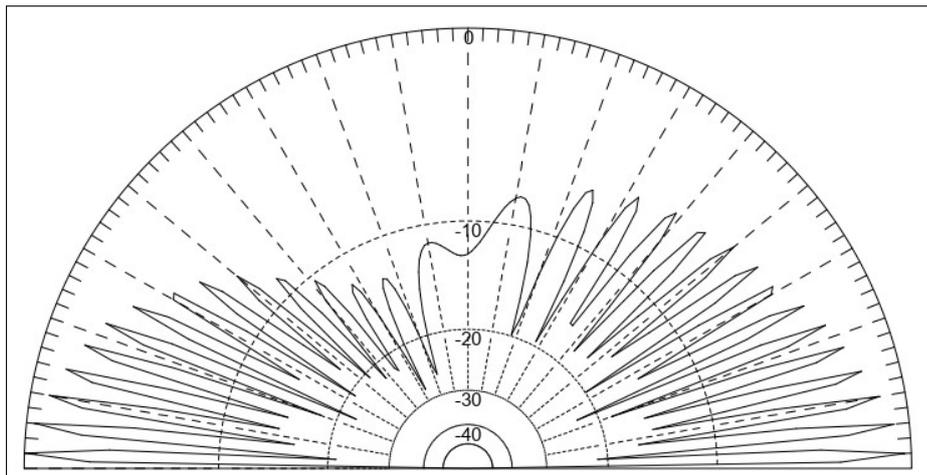
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

3. Frecuencia de operación: 221 MHz



**Ilustración 4-20:** Diagrama de campo total generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 221 MHz, vista desde el eje X.

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



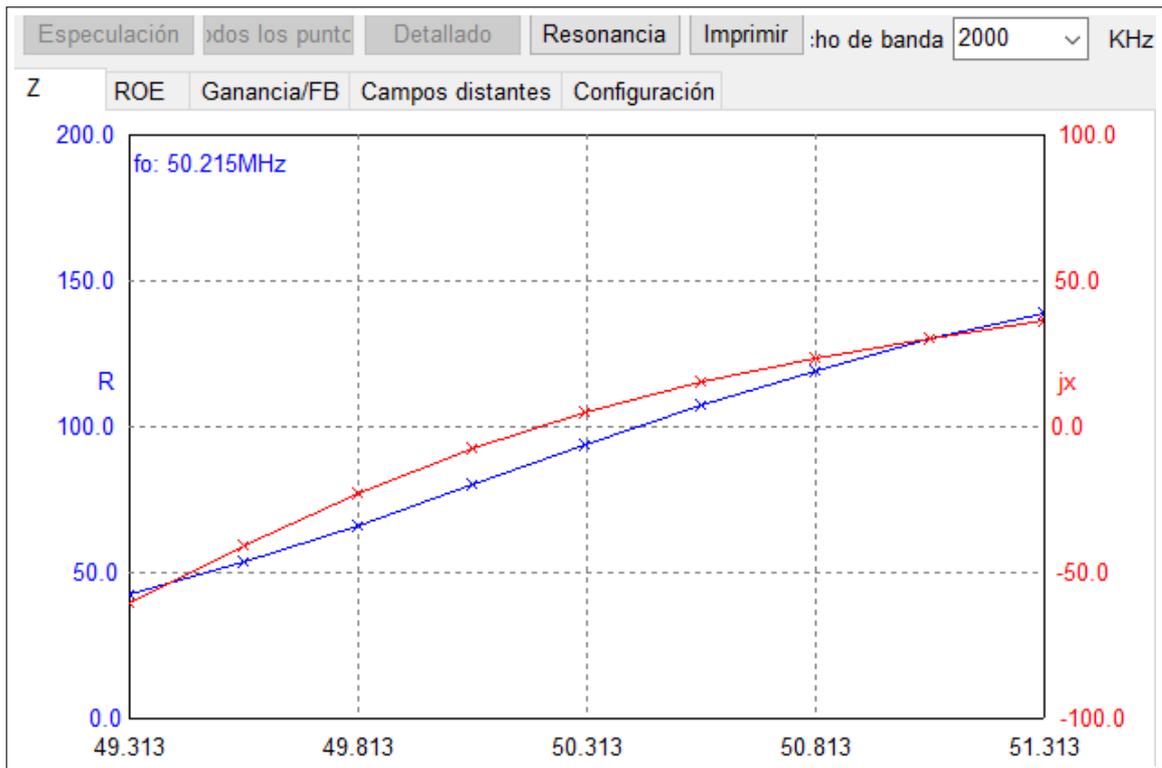
**Ilustración 4-21:** Diagrama de campo total generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 221 MHz, vista desde el eje Z.

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

Las ilustraciones 4-16 hasta 4-21 presentan diagramas de campo lejano total, observados desde el eje x y el eje z. El enfoque principal está en su eficacia superior de la antena Cuadra-Cúbica, considerando cada una de las frecuencias de operación en la banda VHF: 50,313, 146 y 221 MHz, presentan ganancias máximas de 12,97, 10,86 y 10,86 dBi, respectivamente.

### Acoplamiento de impedancia (Z)

1. Frecuencia de operación: 50,313 MHz

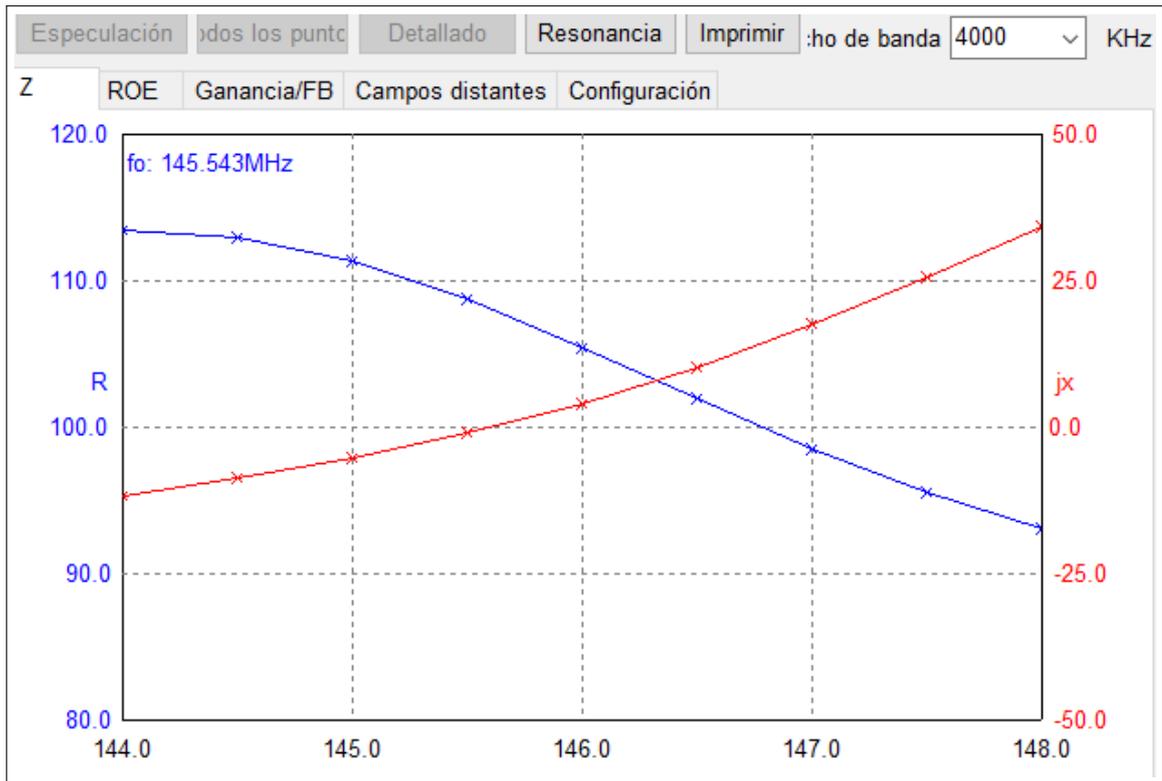


**Ilustración 4-22:** Diagrama de impedancia generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 50,313 MHz.

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

La Ilustración 4-22 muestra el diagrama de impedancias con un ancho de banda de 2 MHz y el acoplamiento aproximado de la antena al valor de 100 Ω. En la frecuencia de operación de 50,313 MHz, la impedancia registrada es de 94,335 Ω, evidenciando una variación a lo largo de toda la banda. Se resalta que las frecuencias dentro del intervalo de 49,831-50,813 MHz son óptimas para el acoplamiento y la comunicación utilizando esta antena pero haciendo uso de acopladores de impedancia para minimizar las pérdidas en la señal.

## 2. Frecuencia de operación: 146 MHz

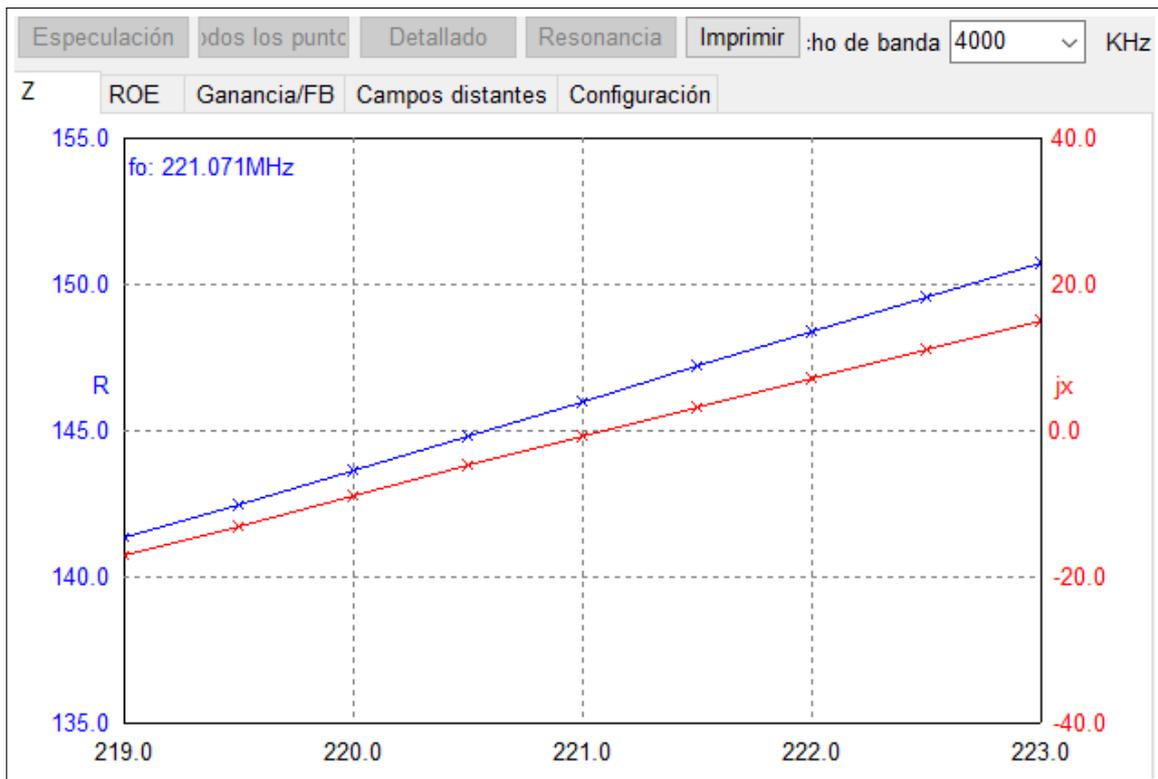


**Ilustración 4-23:** Diagrama de impedancia generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 146 MHz.

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

La Ilustración 4-23 muestra el diagrama de impedancias con un ancho de banda de 4 MHz y el acoplamiento aproximado de la antena al valor de  $100 \Omega$ . En la frecuencia de operación de 146 MHz, la impedancia registrada es de  $105,466 \Omega$ , evidenciando una variación a lo largo de toda la banda. Se resalta que las frecuencias dentro del intervalo de 145-147 MHz podrían llegar a utilizarse para la comunicación con esta antena pero haciendo uso de acopladores de impedancia para minimizar las pérdidas en la señal.

## 3. Frecuencia de operación: 221 MHz



**Ilustración 4-24:** Diagrama de impedancia generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 221 MHz.

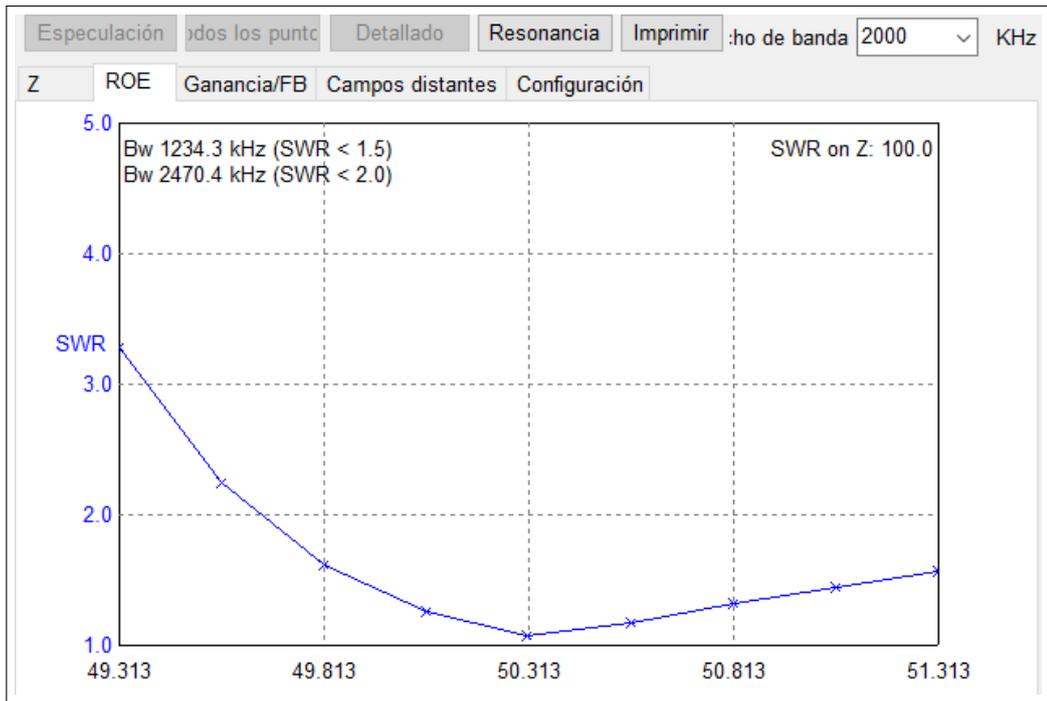
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

La Ilustración 4-24 muestra el diagrama de impedancias con un ancho de banda de 4 MHz y el acoplamiento aproximado de la antena al valor de  $100 \Omega$ . En la frecuencia de operación de 221 MHz, la impedancia registrada es de  $146,042 \Omega$ , evidenciando una variación a lo largo de toda la banda. Se resalta que las frecuencias dentro del intervalo de 220-221 MHz podrían llegar a utilizarse para la comunicación con esta antena pero haciendo uso de acopladores de impedancia para minimizar las pérdidas en la señal.

### ***Relación onda estacionaria (ROE)***

1. Frecuencia de operación: 50,313 MHz

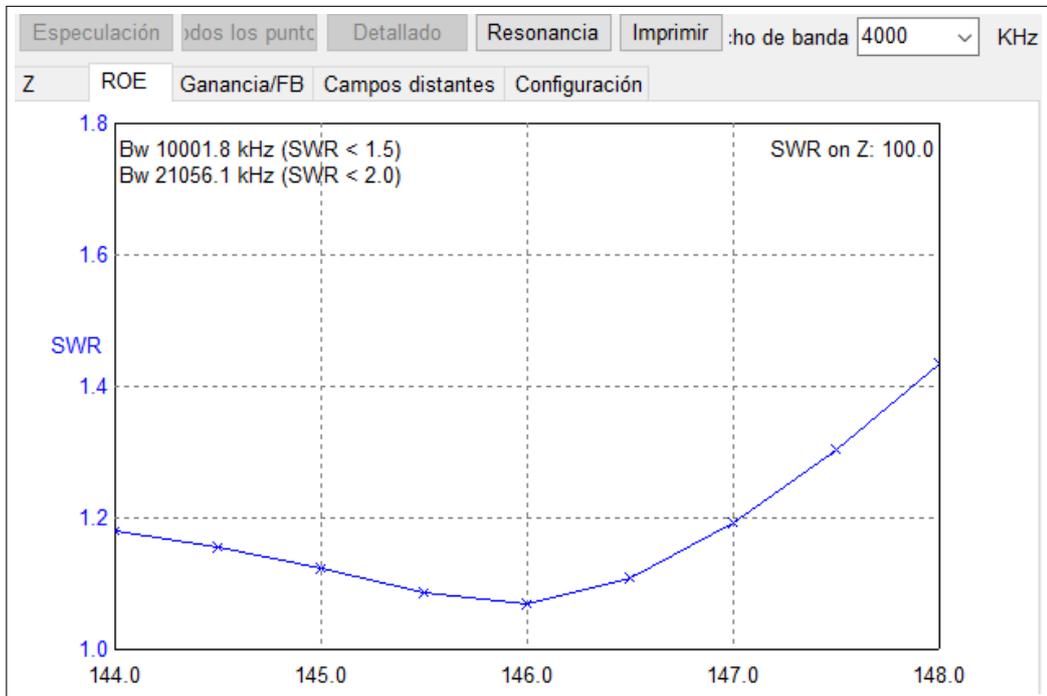
La relación de onda estacionaria o ROE de la antena se representa en la Ilustración 4-25, y se puede evidenciar que para la frecuencia de operación de 50,313 MHz se obtiene un  $ROE = 1,08$ , es decir, la antena está exhibiendo cercana coincidencia de impedancia con el acoplador LC y la línea de transmisión, además que en la práctica esto representaría que muy poca energía se estaría reflejando de vuelta hacia el transmisor.



**Ilustración 4-25:** Diagrama de ROE generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 50,313 MHz.

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

2. Frecuencia de operación: 146 MHz



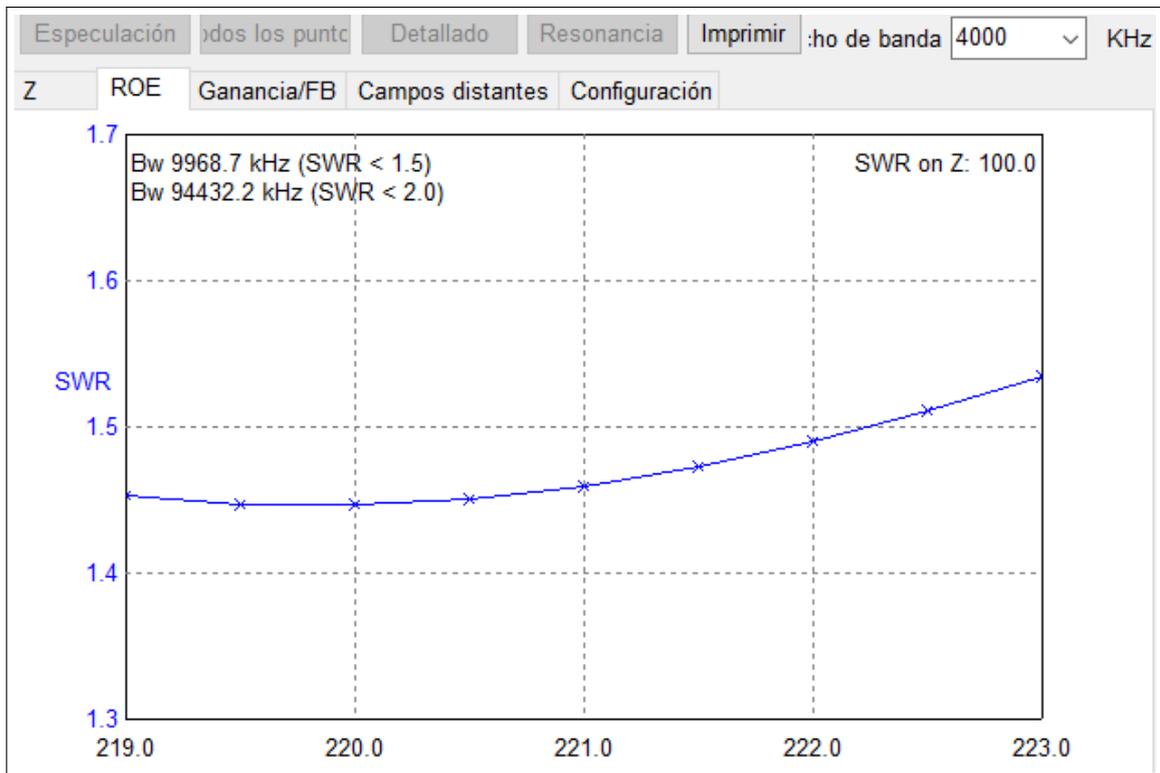
**Ilustración 4-26:** Diagrama de ROE generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 146 MHz.

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

La relación de onda estacionaria o ROE de la antena se representa en la Ilustración 4-26, y se

puede evidenciar que para la frecuencia de operación de 146 MHz se obtiene un ROE = 1,07, es decir, la antena está exhibiendo cercana coincidencia de impedancia con el acoplador LC y la línea de transmisión, además que en la práctica esto representaría que muy poca energía se estaría reflejando de vuelta hacia el transmisor.

### 3. Frecuencia de operación: 221 MHz



**Ilustración 4-27:** Diagrama de ROE generado por la antena Cuadra-Cúbica a la frecuencia de 221 MHz.

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

La relación de onda estacionaria o ROE de la antena se representa en la Ilustración 4-27, y se puede evidenciar que para la frecuencia de operación de 221 MHz se obtiene un ROE = 1,46, es decir, la antena está exhibiendo cercana coincidencia de impedancia con el acoplador LC y la línea de transmisión, además que en la práctica esto representaría que muy poca energía se estaría reflejando de vuelta hacia el transmisor.

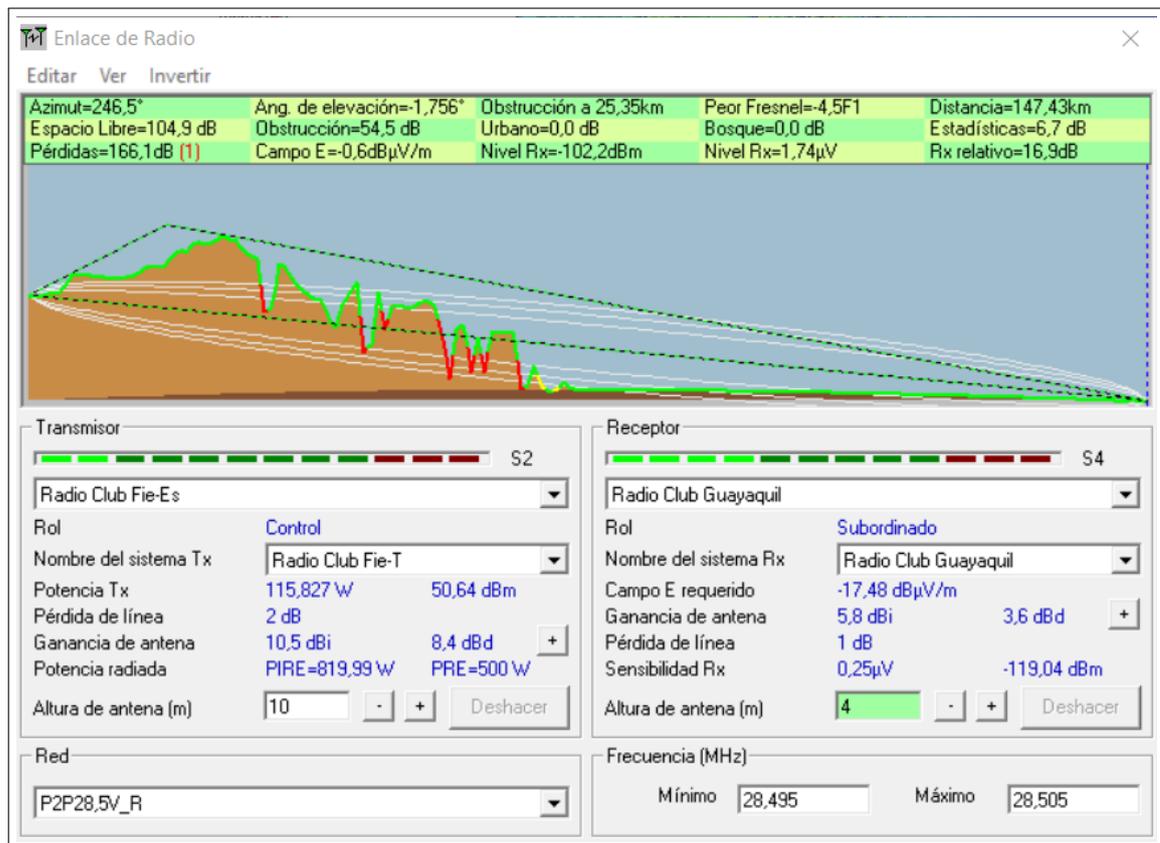
#### 4.1.2 Análisis del radio enlace para la banda HF

Una vez realizadas las configuraciones en radiomobile, se presentan los resultados de cada una de las simulaciones. Es importante señalar que la estación Radio Club FIE-ESPOCH opera con dos sistemas independientes, uno como transmisor y otro como receptor. Por este motivo, las

características del sistema radiante varía si la estación está actuando como transmisor o receptor, como se aprecia en la Ilustración 3-1.

#### 4.1.2.1 Radio Club FIE-ESPOCH - Radio Club Guayaquil

En la Ilustración 4-28, se examina el enlace desde la estación Radio Club FIE-ESPOCH, actuando como transmisor hacia la estación Radio Club Guayaquil. En este escenario, la antena utilizada para la transmisión es la Delta Loop, cuyas características detalladas se presentan en la Tabla 3-22, y su patrón de radiación se visualiza en la Ilustración 4-3.



**Ilustración 4-28:** Radio Club FIE-ESPOCH - Radio Club Guayaquil

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024

El enlace de radiofrecuencia abarca una distancia de 147,4 km, opera a una frecuencia de 28,5 MHz y utiliza la propagación por onda Ionosférica y por onda de Superficie. A pesar de una pérdida total de propagación de 166,1 dB, el enlace exhibe un impresionante valor de Rx Relativo de 16,9 dB, indicando un sólido margen de protección. Este resultado sugiere que, a pesar de la distancia y pérdidas causadas por el enlace- la calidad de la recepción es considerablemente buena, lo cual es esencial para la confiabilidad del enlace de radiofrecuencia.

#### 4.1.2.2 Radio Club Guayaquil-Radio Club FIE-ESPOCH

En la Figura 4-29, se examina el enlace entre el Radio Club Guayaquil y el Radio Club FIE-ESPOCH.



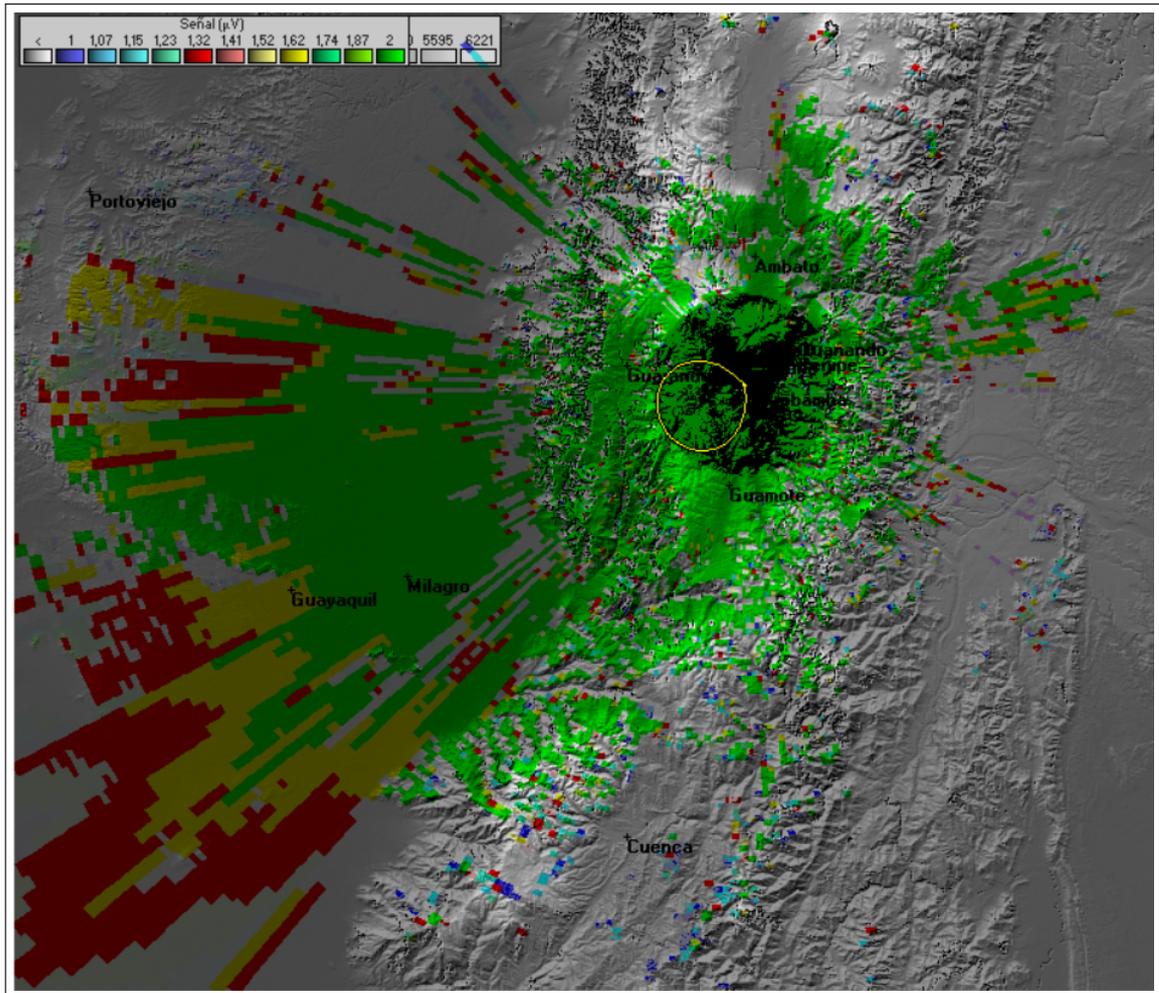
**Ilustración 4-29:** Radio Club Guayaquil-Radio Club FIE-ESPOCH

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024

Ambas estaciones desempeñan roles cruciales como transmisor y receptor, respectivamente. En el sistema de recepción del Radio Club FIE-ESPOCH, se implementa una antena Dipolo operando a 28,5 MHz con una ganancia de 3,34 dBi. Aunque el rendimiento disminuye notablemente en este caso, aún es posible captar la señal, evidenciado por un Rx relativo de 0,7 dB en el enlace.

#### 4.1.2.3 Rango de cobertura con la máxima potencia de transmisión

El rango de cobertura de la estación Radio Club FIE-ESPOCH es analizado en Radiomobile con un rango aproximado de 300 km<sup>2</sup>.

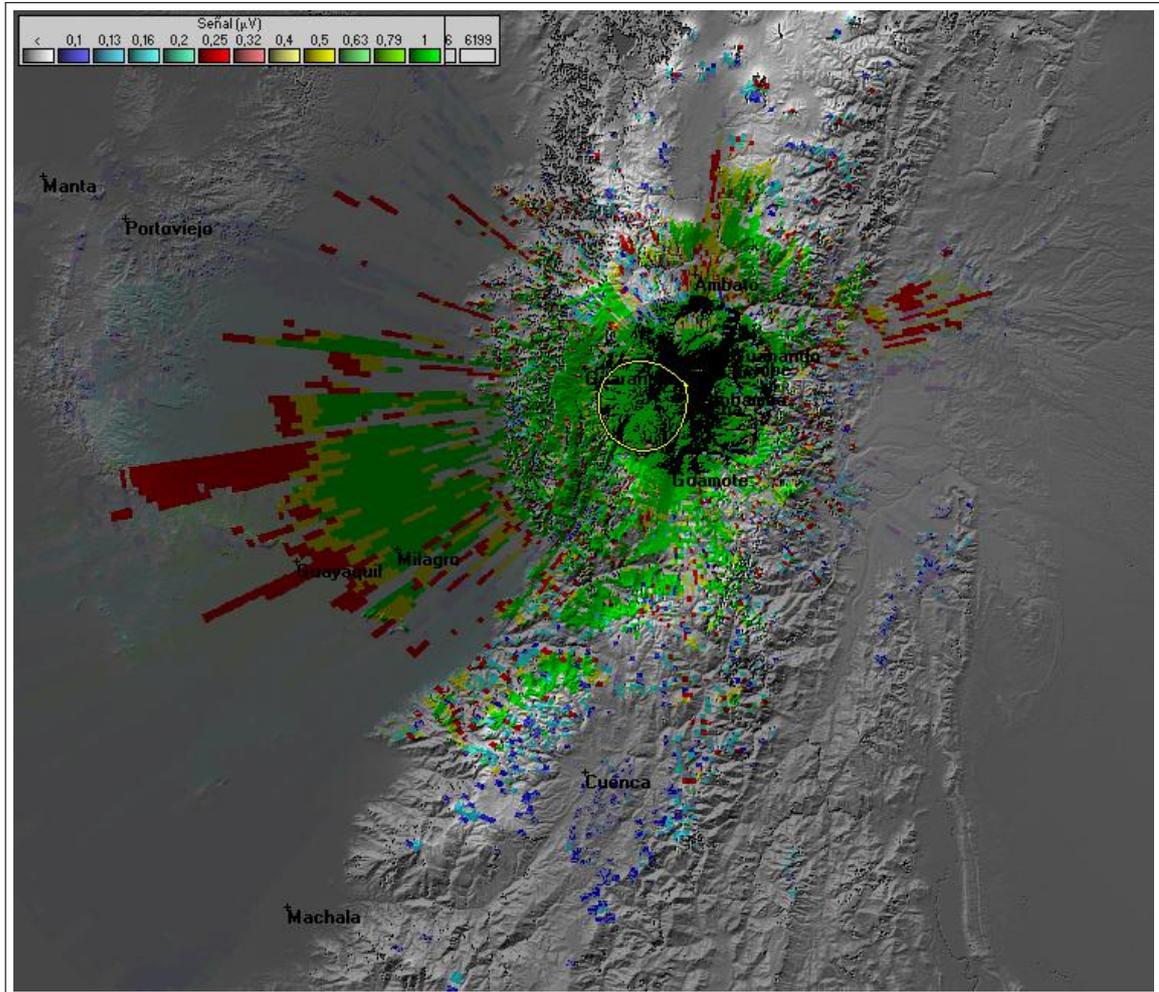


**Ilustración 4-30:** Rango de Cobertura en condiciones de simulación en la banda HF

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024

En la Ilustración 4-30, se puede observar el rango de cobertura logrado. En el entorno de simulación a su máxima capacidad, se logra una cobertura extensa, destacando que la intensidad de la señal alcanza lugares significativos, Guayaquil, Babahoyo, Guaranda, Milagro, Ambato y otras áreas cercanas. Resulta interesante notar que al modificar la dirección del lóbulo de radiación, sería posible abarcar distancias considerables, lo que sugiere la posibilidad de lograr una cobertura nacional, dependiendo de la orientación o apuntamiento de la antena. La Ilustración 3-72 proporciona la correspondencia de colores, donde los tonos verdes indican un alto nivel de potencia para la recepción, mientras que el color rojo señala el mínimo nivel aceptable.

#### 4.1.2.4 Rango de cobertura con la potencia del sistema empleado



**Ilustración 4-31:** Rango de Cobertura con la potencia del sistema empleado

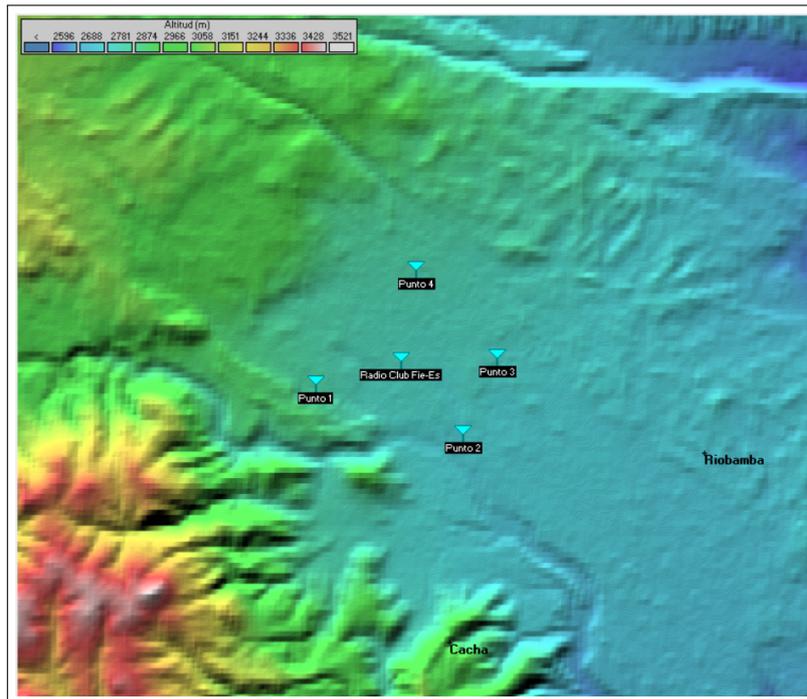
Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024

En la Figura 4-31, se visualiza el alcance de cobertura, empleando la potencia de transmisión para la banda de 28,5 MHz detallada en la Tabla 3-1. Sin embargo, es evidente que la cobertura se ve limitada debido a la baja potencia de transmisión presente en el sistema implementado.

#### 4.1.3 Análisis de radio enlaces locales para la banda VHF

Para la banda VHF, una vez realizadas las configuraciones de las unidades y realizando un ajuste de dimensión al mapa digital se ubican los puntos de análisis, en la ilustración 4-32, se observa la estación principal y los 4 puntos de análisis, en donde se realizaron enlaces punto a punto en cada una de estas ubicaciones, finalmente se generó una prueba de cobertura con el fin de determinar el alcance en la banda VHF. Cabe recalcar que para cada punto de recepción la antena transmisora se

mantendrá fija.



**Ilustración 4-32:** Puntos de Estudio

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024

#### 4.1.3.1 Radio Club FIE-ESPOCH - PUNTO 1

La ubicación inicial del primer punto puede ser identificada a través de la configuración de las unidades, la cual está detallada de manera específica en la Tabla 3-6.

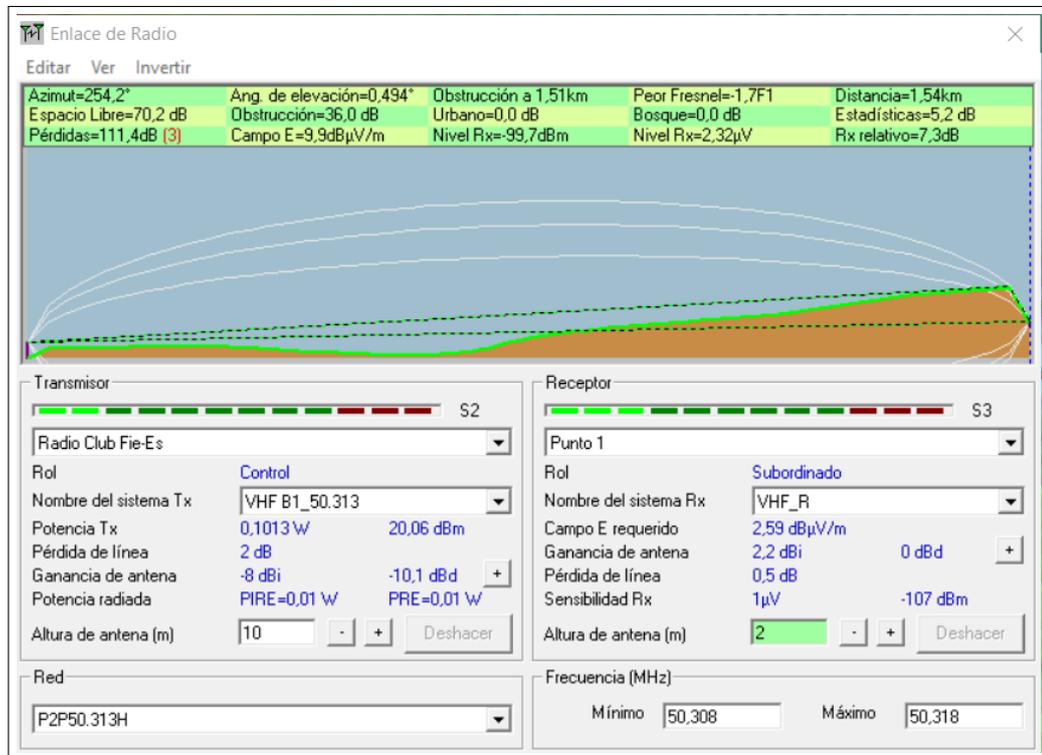
Una vez seleccionada la estación transmisora y el primer punto de recepción en la banda de 50 MHz, se observa un valor de Rx relativo de 7,3 dB, cuyos resultados se presentan en la Ilustración 4-33. Este valor indica una fuerte recepción de la señal. Un aspecto adicional de interés es el PIRE debido a la ganancia en esa dirección, se emite una señal con 0,01 W, una potencia relativamente baja que, sin embargo, no compromete la calidad de la señal.

En la Ilustración 4-34, se visualiza el enlace correspondiente a la banda de 146 MHz en el mismo punto de recepción disminuye un valor 4,5 dB en el Rx relativo en comparación con la banda de 50 MHz, esto valor compromete el margen de protección para la recepción de la señal, cuyo valor resultante de Rx relativo es de 2,8 dB, en condiciones aceptables es necesario que el valor supere los 3 dB.

Finalmente, el enlace para la banda de 221 MHz se observa en la Ilustración 4-35. En este caso, el

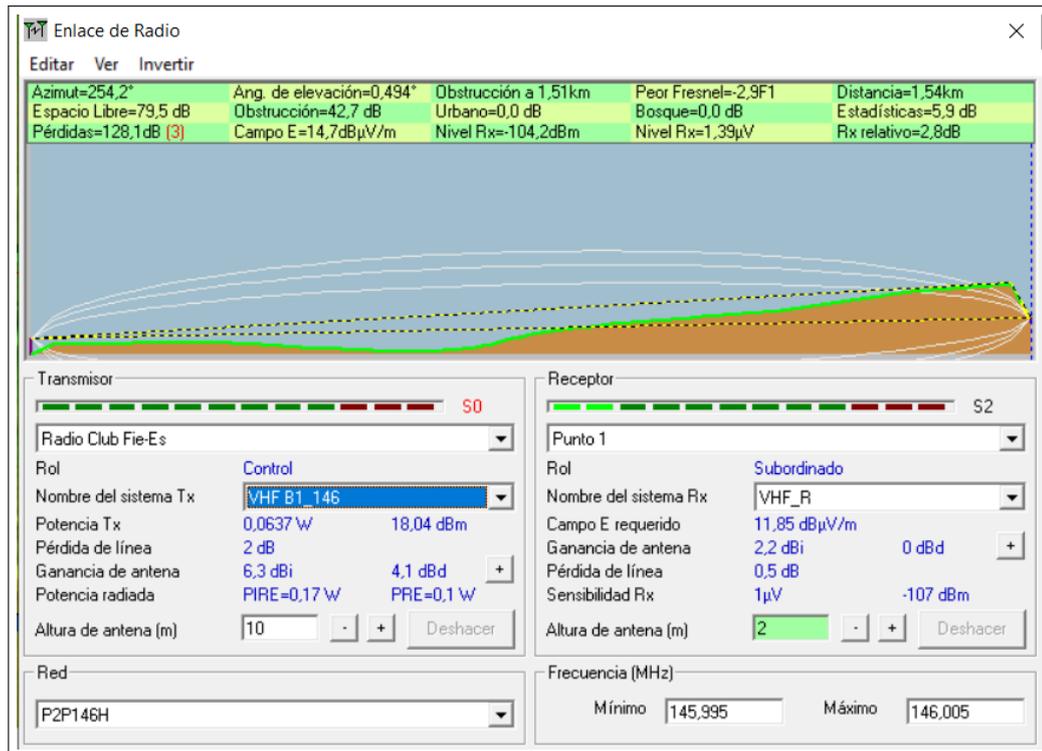
enlace muestra un Rx relativo de 6,1 dB.

Se concluye que en este punto los enlaces en cada una de las bandas son los adecuados.



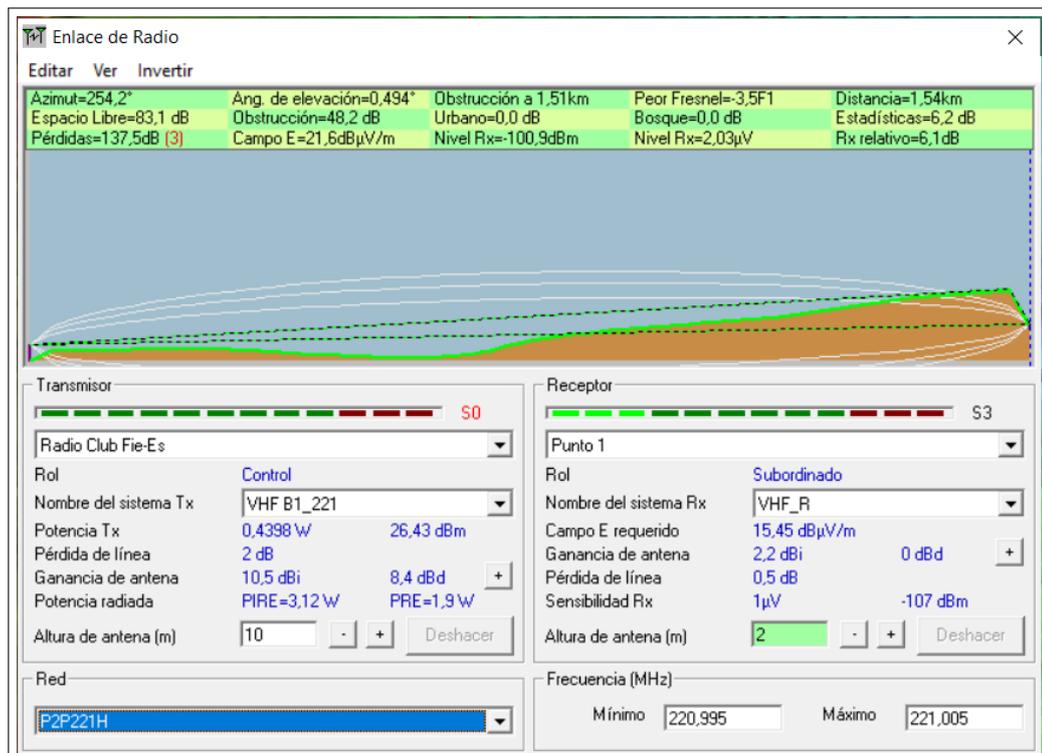
**Ilustración 4-33:** Enlace P1 50,313 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024



**Ilustración 4-34:** Enlace P1 146 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024



**Ilustración 4-35:** Enlace P1 221 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024

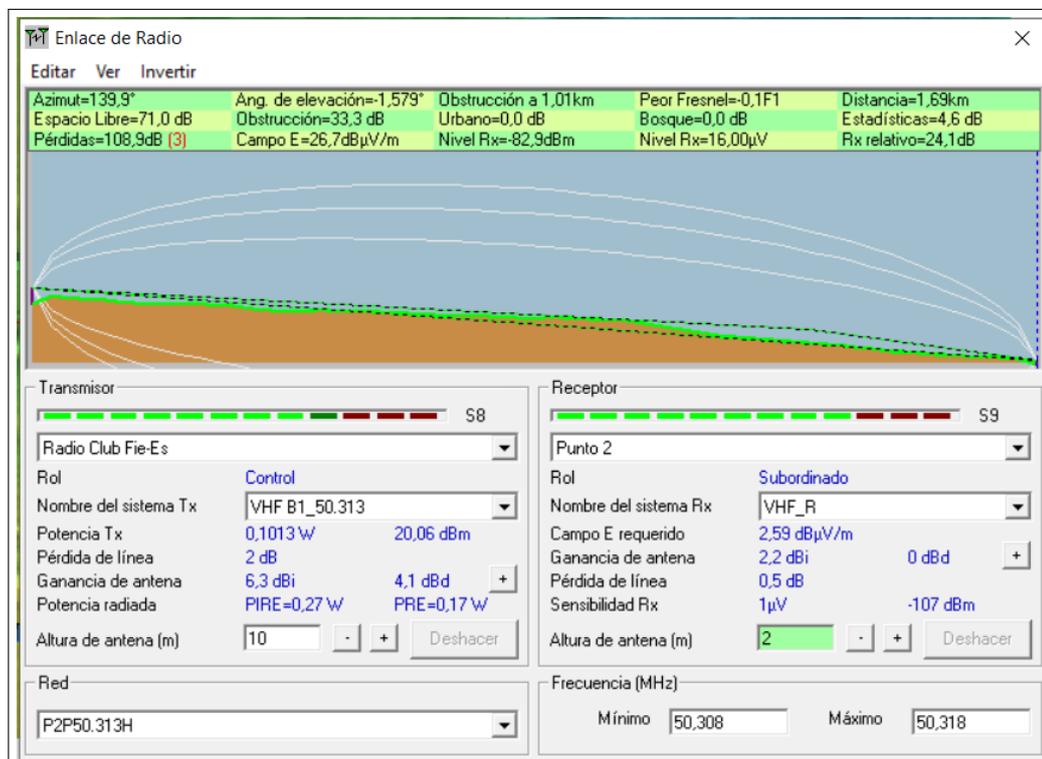
#### 4.1.3.2 Radio Club FIE-ESPOCH - PUNTO 2

En el segundo punto de evaluación, se destaca claramente la variabilidad en la recepción de señales debido al parámetro Rx relativo, cabe recalcar que existe una distancia de 1,69 km en el enlace.

En la Ilustración 4-35 que corresponde a la banda de 50 MHz, se observa una excelente recepción con un Rx relativo de 24,1 dB, respaldado por una ganancia de antena de 6,3 dBi y un PIRE de 0,17 W.

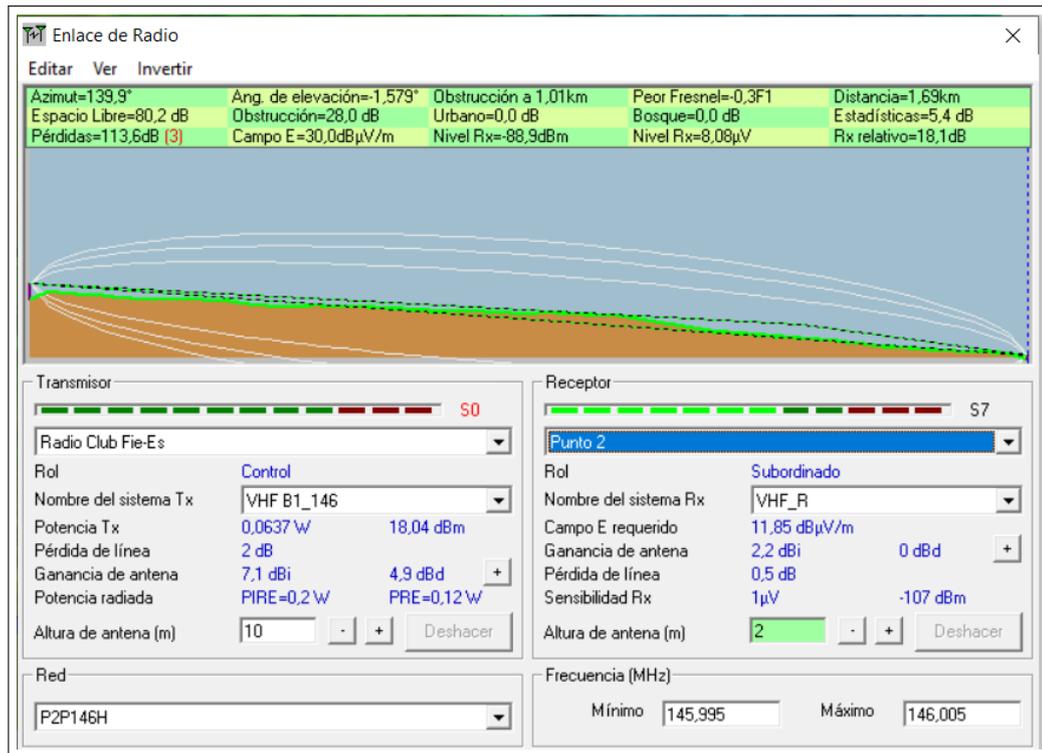
Para la banda de 146 MHz, se obtuvo un Rx relativo de 18,1 dB superior al enlace anterior, se observa que la recepción sigue siendo notablemente buena, el enlace cuenta con una ganancia de la antena de 7,1 dBi que provoca un PIRE de 0,12 W, sus resultados se observan en la Ilustración 4-36.

En contraste al primer punto de recepción, la banda de 221 MHz disminuye su margen de protección, sin embargo la señal de recepción mantiene un enlace favorable con un Rx relativo de 21,4 dB, respaldado por una ganancia de la antena de 4,9 dBi que provoca un PIRE de 0,52 W, estos resultados se observan en la Ilustración 4-37. Aunque hay una variabilidad en las ganancias y el PIRE en cada banda, se destaca que la recepción de la señal se mantiene sólida en todas las frecuencias evaluadas en el segundo punto.



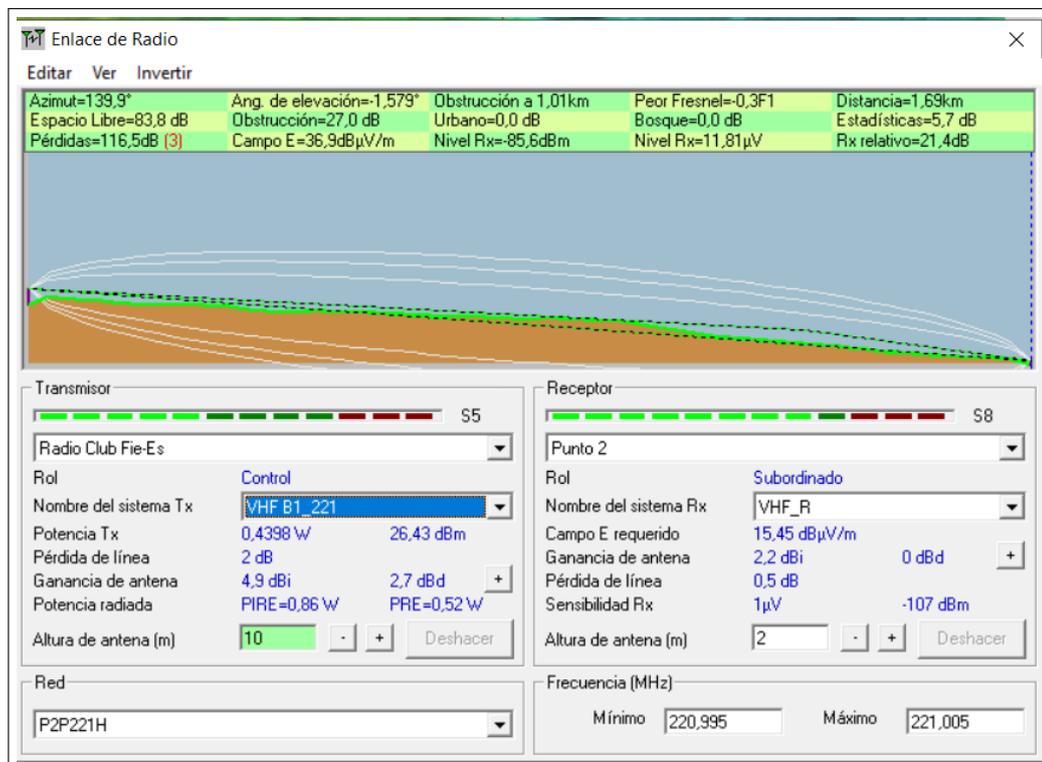
**Ilustración 4-36:** Enlace P2 50,313 MHz

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024



**Ilustración 4-37:** Enlace P2 146 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024



**Ilustración 4-38:** Enlace P2 221 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024

#### 4.1.3.3 *Radio Club FIE-ESPOCH - PUNTO 3*

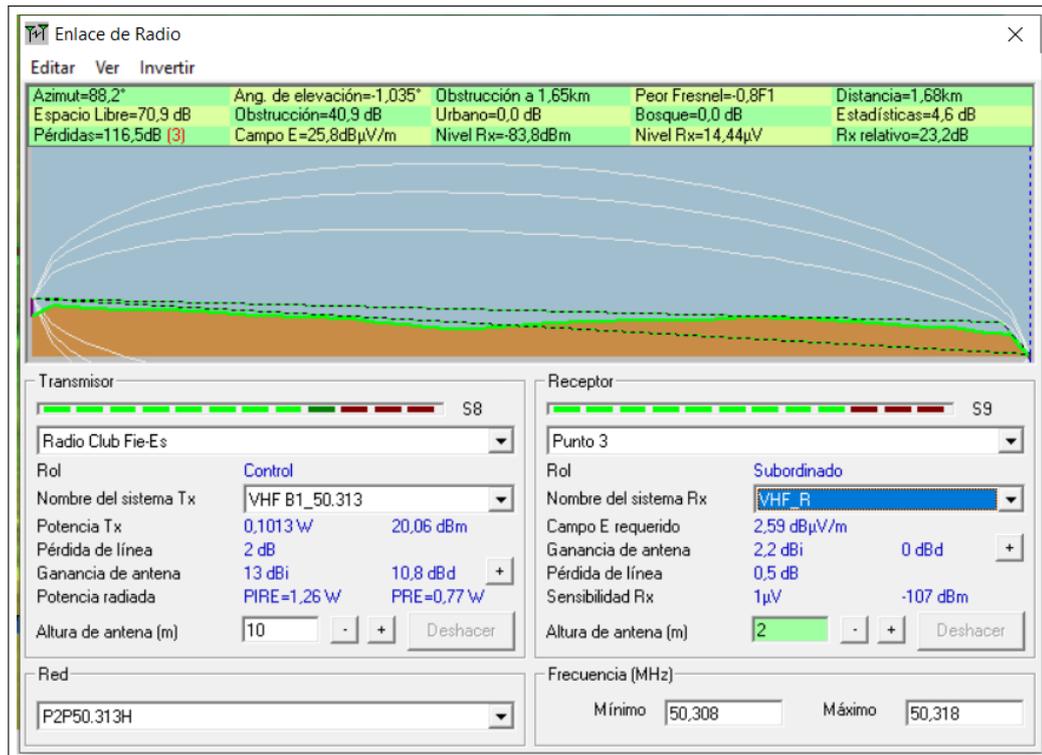
En el tercer punto de evaluación, se evidencia una variación significativa en la recepción de señales, cuyo enlace tienen una distancia de 1,69 km.

En la banda de 50 MHz, se observa un Rx relativo de 23,2 dB, indicando una recepción favorable. La ganancia de la antena es de 13 dBi y el PIRE tiene un valor de 0,77. Los resultados se observan en la Ilustración 4-39.

En la Ilustración 4-40 que corresponde a la banda de 146 MHz, el Rx relativo disminuye notablemente a 9,7 dB, con una ganancia de antena de 10,08 y un PIRE de 0,3 W. Estos resultados señalan que aun se mantiene una recepción estable.

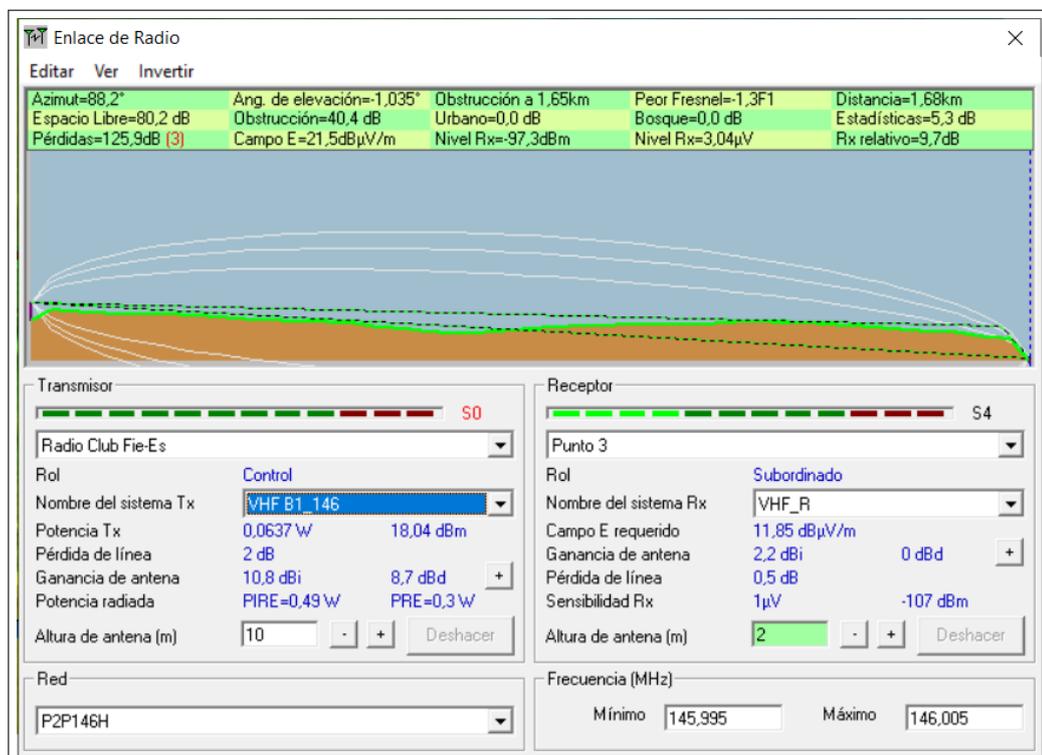
Finalmente, para la banda de 221 MHz que se observa en la Ilustración 4-41, se tiene un resultado de 11,9 dB en el Rx relativo, lo que indica de igual forma una recepción eficiente. La ganancia de la antena tiene un valor de 10,5 dBi y el PIRE es de 1,92 W, lo que sugiere una dificultad la transmisión y recepción efectiva.

En consecuencia, se concluye que el rendimiento de la transmisión y recepción de señales en el tercer punto sigue siendo eficiente.



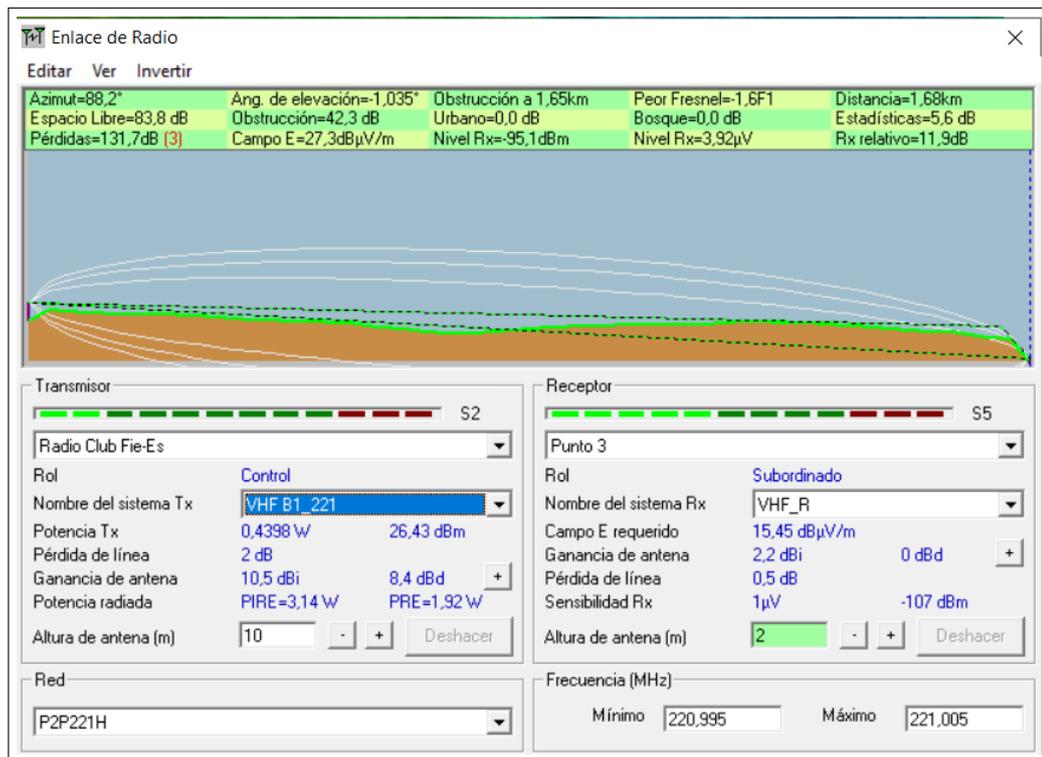
**Ilustración 4-39:** Enlace P3 50,313 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024



**Ilustración 4-40:** Enlace P3 146 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024



**Ilustración 4-41:** Enlace P3 221 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024

#### 4.1.3.4 Radio Club FIE-ESPOCH - PUNTO 4

En el último punto de evaluación, se presentan resultados que de igual forma presentan variabilidad en el punto de recepción dependiendo de la banda de operación.

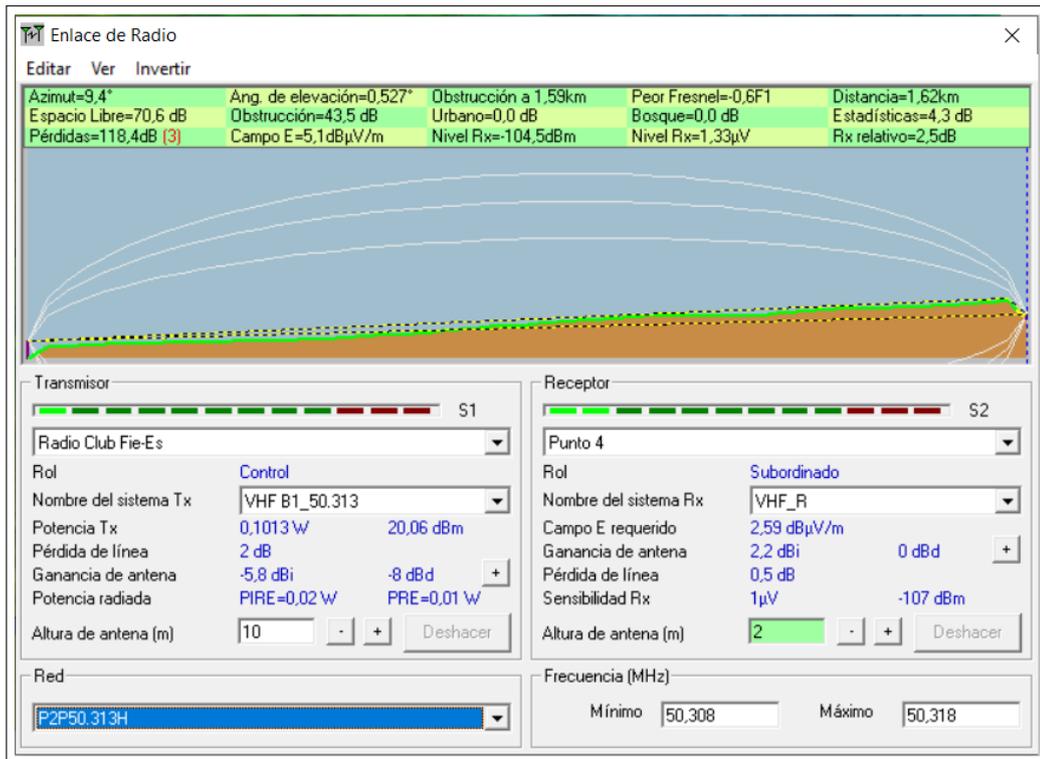
Para la banda de 50,313 MHz que se observa en la Ilustración 4-42, se registra un Rx relativo de 2,5 dB.

En cuanto a la banda de 146 MHz, el Rx relativo es de -3,8dB, el enlace en este escenario es deficiente, la respuesta respectiva se observa en la Ilustración 4-43.

Finalmente, en la Ilustración 4-44 se observa el enlace para la banda de 221 MHz, los resultados presentan un Rx relativo de -0,3 dB, lo que implica que de igual forma que no exista enlace en este punto.

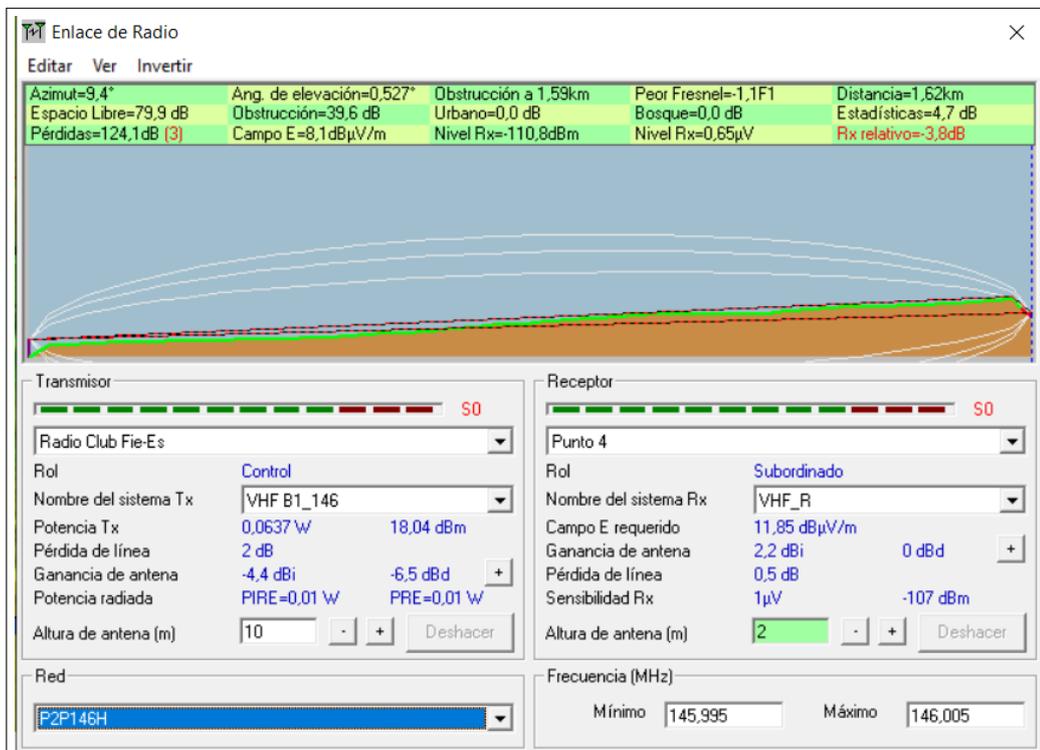
En el cuarto punto de evaluación, en la banda de 146 MHz y 221 MHz no se alcanza establecer un enlace de comunicación, esto debido a que la antena apunta a una dirección fija y la ganancia de la antena no es el suficiente para establecer un enlace en el punto de estudio, a distancia es de

aproximadamente 1,62 km.



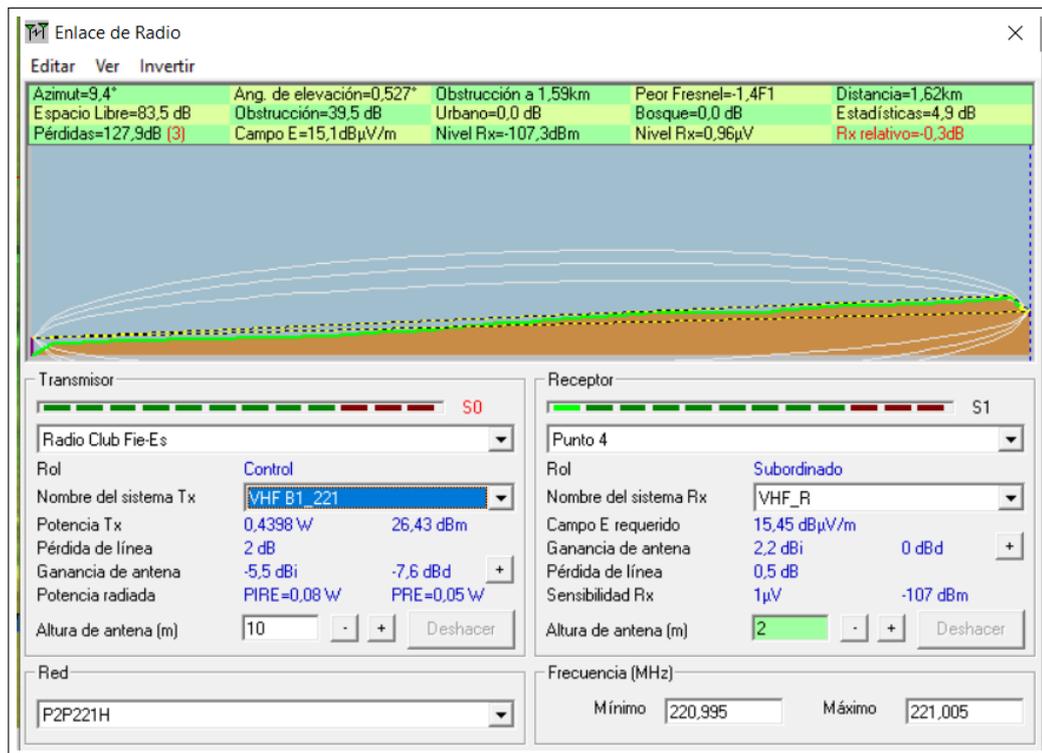
**Ilustración 4-42:** Enlace P4 50,313 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024



**Ilustración 4-43:** Enlace P4 146 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024



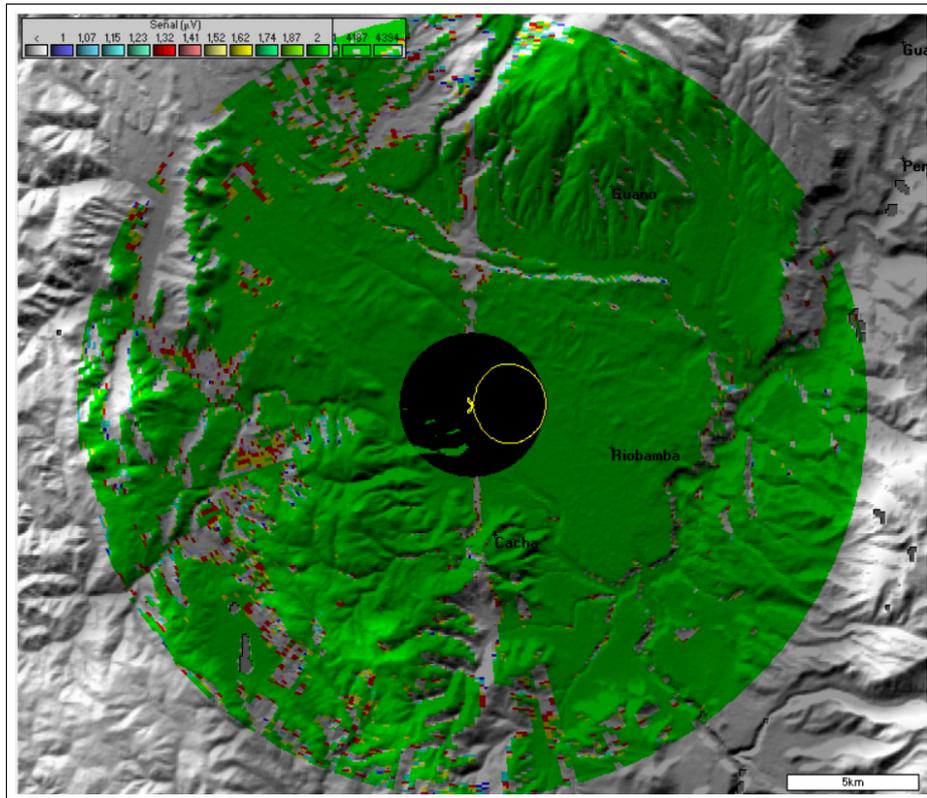
**Ilustración 4-44:** Enlace P4 221 MHz  
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024

#### 4.1.3.5 Rango de cobertura

Después de realizar las configuraciones necesarias, se llevó a cabo una prueba de cobertura en cada una de las bandas especificadas en VHF, detalladas en la Tabla 3-5. El análisis del rango de cobertura se presenta en las Ilustraciones 4-45, 4-46 y 4-47, correspondientes a las bandas de 50,313 MHz, 146 MHz y 221 MHz, respectivamente.

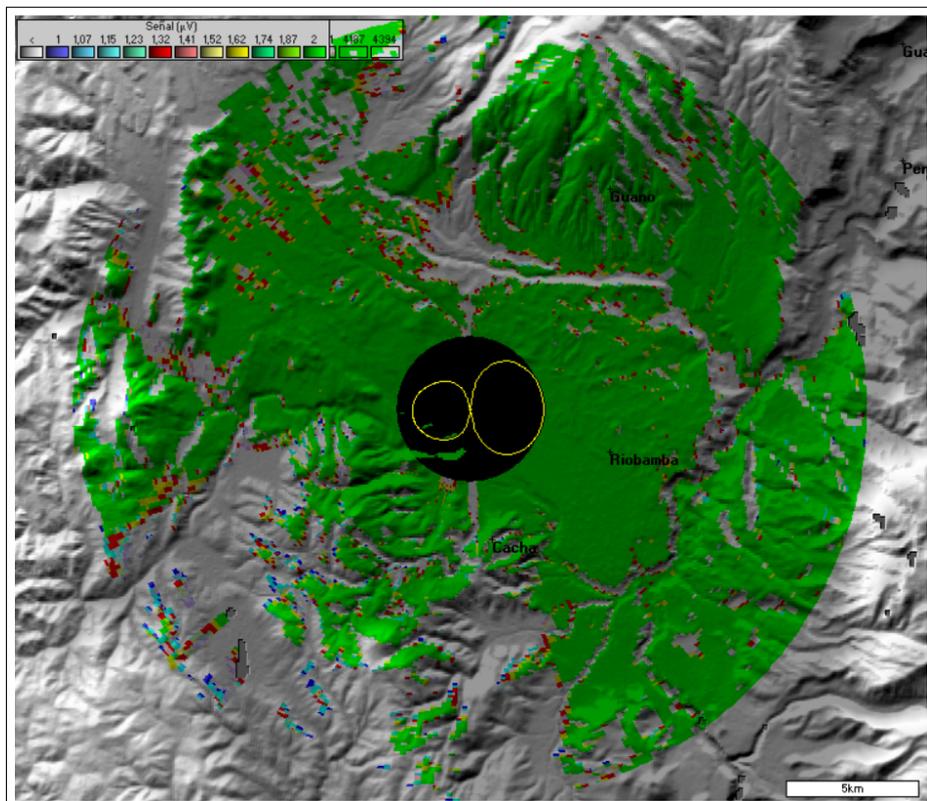
En la banda de 50,313 MHz, destaca una extensa cobertura local. En esta representación, los resultados se clasifican por niveles, donde los colores con tonos verdes indican una mayor intensidad de la señal, mientras que el color rojo señala el mínimo nivel permitido para la recepción. El rango de colores se observa en la Ilustración 3-72. Se utilizó un rango de [1-2] uV de sensibilidad, al igual que en el análisis de la banda HF. Cabe recalcar que el análisis abarca un área de 15km<sup>2</sup>.

En la banda de 146 MHz, se observa una reducción notable en comparación con la banda de 50,313 MHz, aunque se mantiene una cobertura significativa en la ciudad de Riobamba. Finalmente, para la banda de 221 MHz, la reducción de cobertura es más evidente.



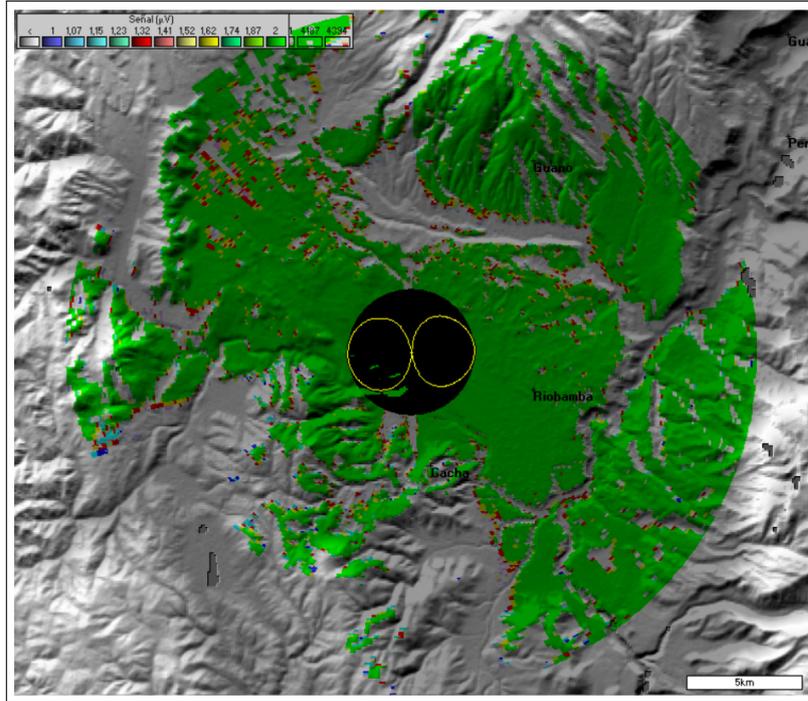
**Ilustración 4-45:** Cobertura 50,313 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024



**Ilustración 4-46:** Cobertura 146 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024

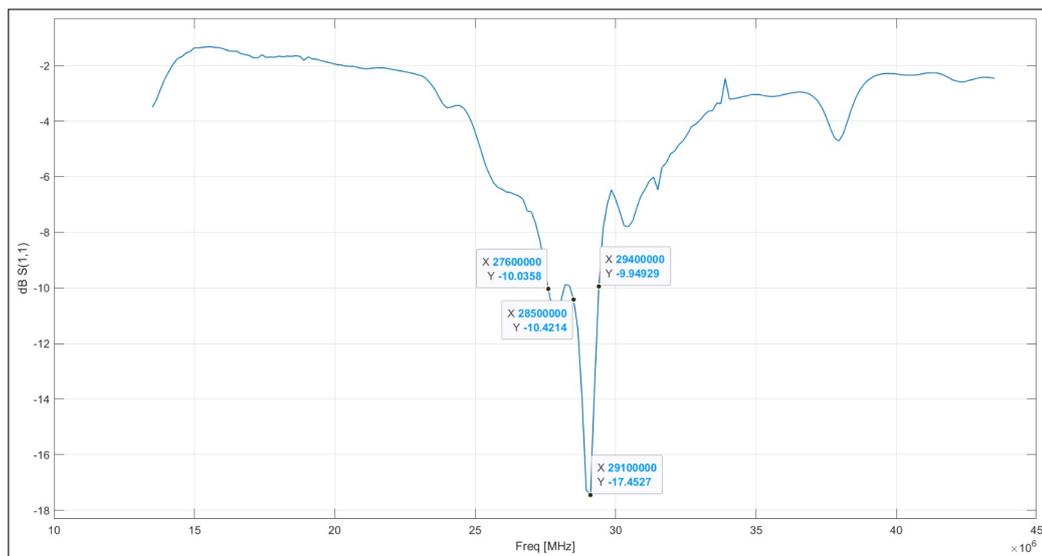


**Ilustración 4-47:** Cobertura 221 MHz  
 Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024

## 4.2 Sistema real

### 4.2.1 *Parámetro S11 de la antena Delta Loop*

#### 4.2.1.1 *Frecuencia de operación: 28,5 MHz*



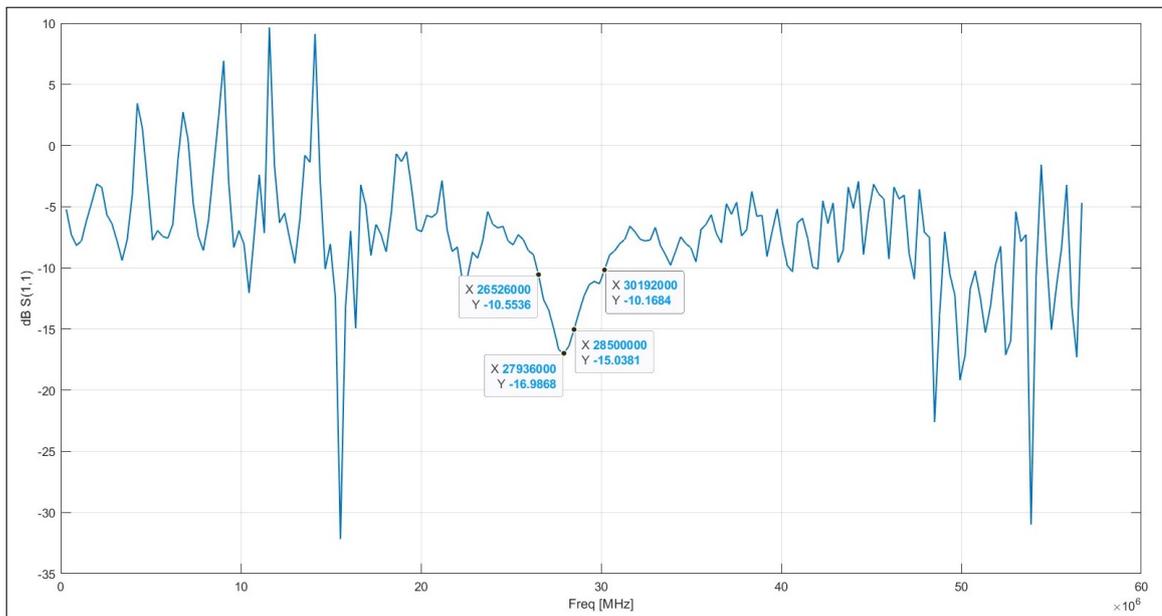
**Ilustración 4-48:** Coeficiente de reflexión de la antena Delta Loop en la frecuencia de 28,5 MHz  
 Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

En la Ilustración 4-48, se muestra cómo la antena Delta Loop respondió a la frecuencia de operación de 28,5 MHz con una reflexión de -10,42 dB. Se destaca que su resonancia máxima se encontró en 29,1 MHz, con una reflexión de -17,45 dB. Además, su ancho de banda efectivo abarca 1,8 MHz desde 27,6 hasta 29,4 MHz, manteniendo un coeficiente de reflexión por debajo de -10 dB, lo cual se considera óptimo para este tipo de antenas.

## 4.2.2 Parámetro S11 de la antena Dipolo

### 4.2.2.1 Frecuencia de operación: 28,5 MHz

En la Ilustración 4-49, se muestra cómo la antena Dipolo respondió a una frecuencia de operación de 28,5 MHz con una reflexión de -15,03 dB. Se destaca que su resonancia máxima en la banda de HF es en 27,936 MHz, con una reflexión de -16,98 dB. Además, su ancho de banda efectivo abarca 3,66 MHz desde 26,526 hasta 30,192 MHz, manteniendo un coeficiente de reflexión por debajo de -10 dB, lo cual se considera óptimo para este tipo de antenas.



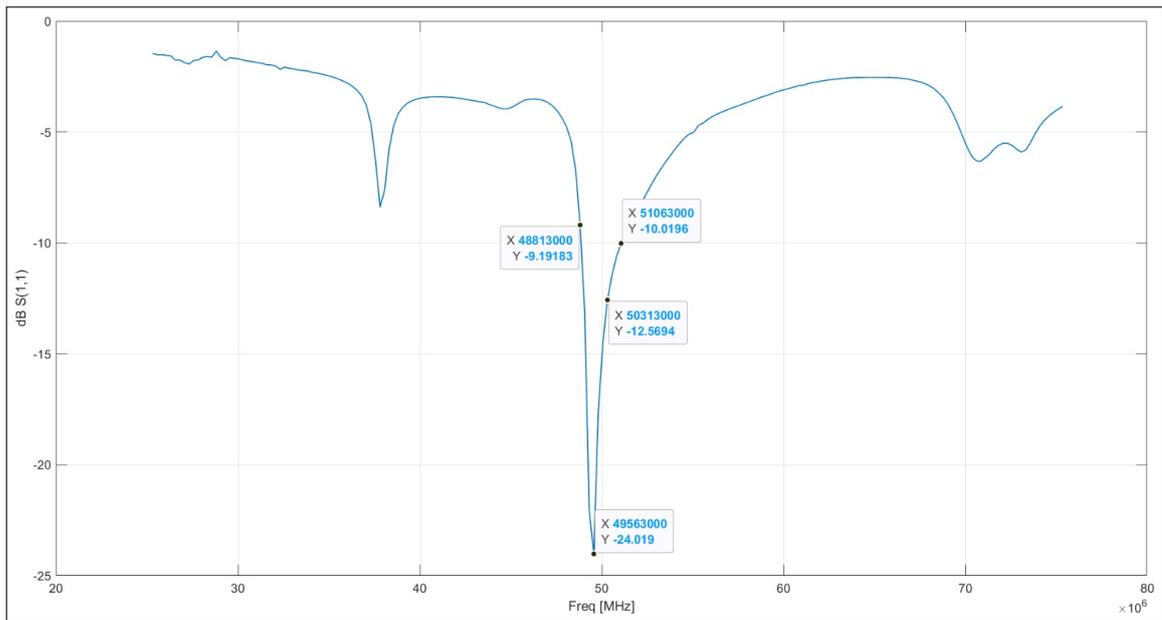
**Ilustración 4-49:** Coeficiente de reflexión de la antena Dipolo en la frecuencia de 28,5 MHz

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

### 4.2.3 Parámetro S11 de la antena Cuadra-Cúbica

#### 4.2.3.1 Frecuencia de operación: 50,313 MHz

En la Ilustración 4-50, se muestra cómo la antena Cuadra-Cúbica ofrece una reflexión de -12,56 dB a la frecuencia de operación de 50,313 MHz. Además, su ancho de banda efectivo abarca 2,25 MHz desde 48,81 hasta 51,06 MHz, manteniendo un coeficiente de reflexión por debajo de -10 dB, lo cual se considera óptimo para este tipo de antenas.

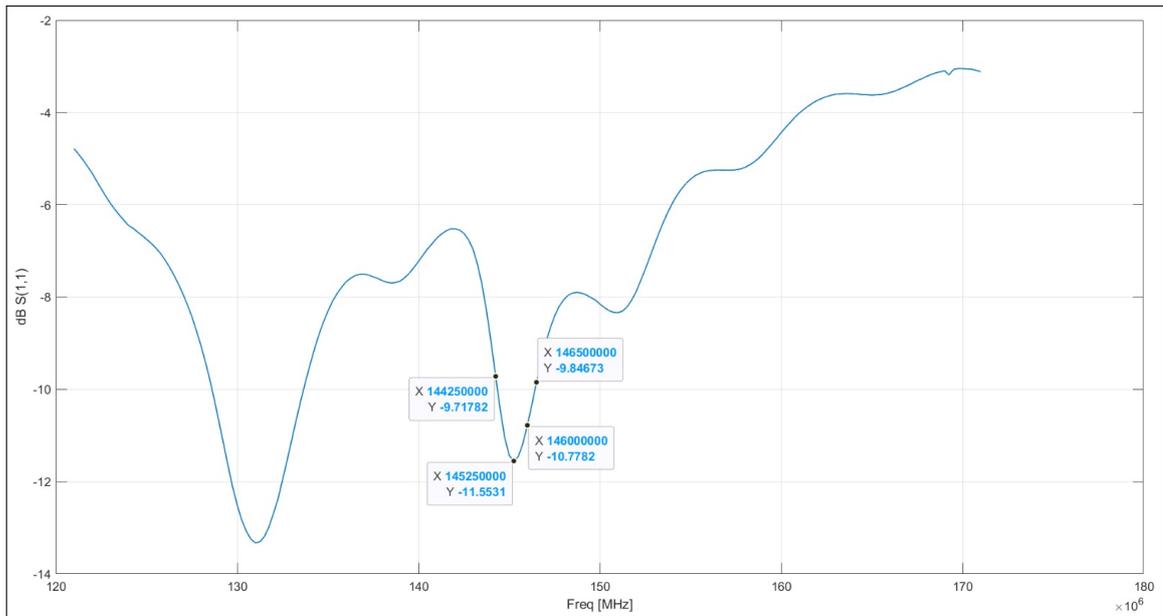


**Ilustración 4-50:** Coeficiente de reflexión de la antena Cuadra-Cúbica en la frecuencia de 50,313 MHz

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024..

#### 4.2.3.2 Frecuencia de operación: 146 MHz

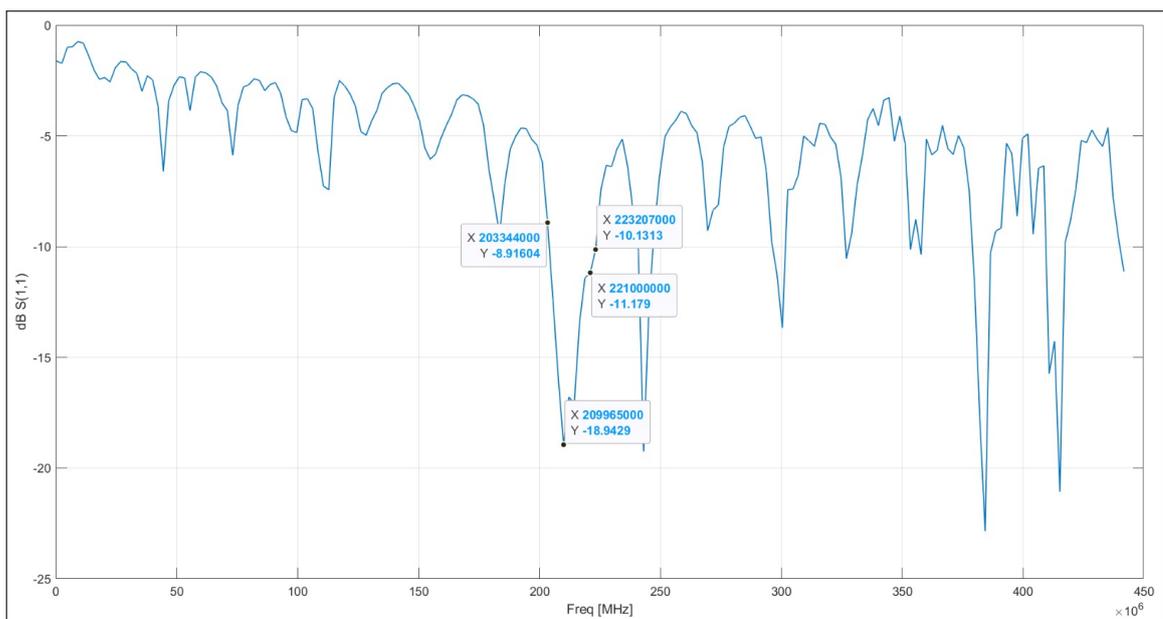
En la Ilustración 4-51, se muestra cómo la antena Cuadra-Cúbica ofrece una reflexión de -10,77 dB a la frecuencia de operación de 146 MHz. Además, su ancho de banda efectivo abarca 2,25 MHz desde 144,25 hasta 146,5 MHz, manteniendo un coeficiente de reflexión por debajo de -10 dB y permitiendo trabajar en todo ese rango de frecuencias, lo cual se considera óptimo para este tipo de antenas.



**Ilustración 4-51:** Coeficiente de reflexión de la antena Cuadra-Cúbica en la frecuencia de 146 MHz  
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024..

#### 4.2.3.3 Frecuencia de operación: 221 MHz

En la Ilustración 4-52, se muestra cómo la antena Cuadra-Cúbica ofrece una reflexión de -11,17 dB a la frecuencia de operación de 221 MHz. Además, su ancho de banda efectivo abarca 19,86 MHz desde 203,34 hasta 223,20 MHz, manteniendo un coeficiente de reflexión por debajo de -10 dB y permitiendo trabajar en todo ese rango de frecuencias, lo cual se considera óptimo para este tipo de antenas.



**Ilustración 4-52:** Coeficiente de reflexión de la antena Cuadra-Cúbica en la frecuencia de 221 MHz  
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024..

## 4.2.4 Mediciones del ROE

### 4.2.4.1 Banda DE 28,5 MHz



**Ilustración 4-53:** ROE para 28,5 MHz

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

El medidor de ROE, se conecta después de la etapa de amplificación y antes del sistema radiante. Para la medición se debe conectar la señal de transmisión al puerto Input del medidor y el cable coaxial del sistema radiante al puerto SWR.

En la figura 4-53, se observa la conexión respectiva para la medición, en donde la salida del medidor de ROE se conecta al conmutador de antenas, dicho conmutador selecciona la antena de trabajo, que puede ser HF o VHF, una vez enviada la señal se observa la respuesta del medidor, en este caso para la banda de 28,5 MHz, se obtuvo un valor de ROE de 1,47 aproximadamente.

### 4.2.4.2 Banda de 50,313 MHz, 146 MHz y 221MHz



**Ilustración 4-54:** ROE para 50,313 MHz

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

Las Figuras 4-54, 4-55, 4-56, dan como resultado valores de ROE aproximados de 1,22, 1,16 y 1,08 que corresponden a las bandas de 50,313 MHz, 146 MHz y 221 MHz respectivamente.



**Ilustración 4-55:** ROE para 146 MHz

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-56:** ROE para 221 MHz

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

#### 4.2.4.3 Comparación de resultados simulados y reales de ROE

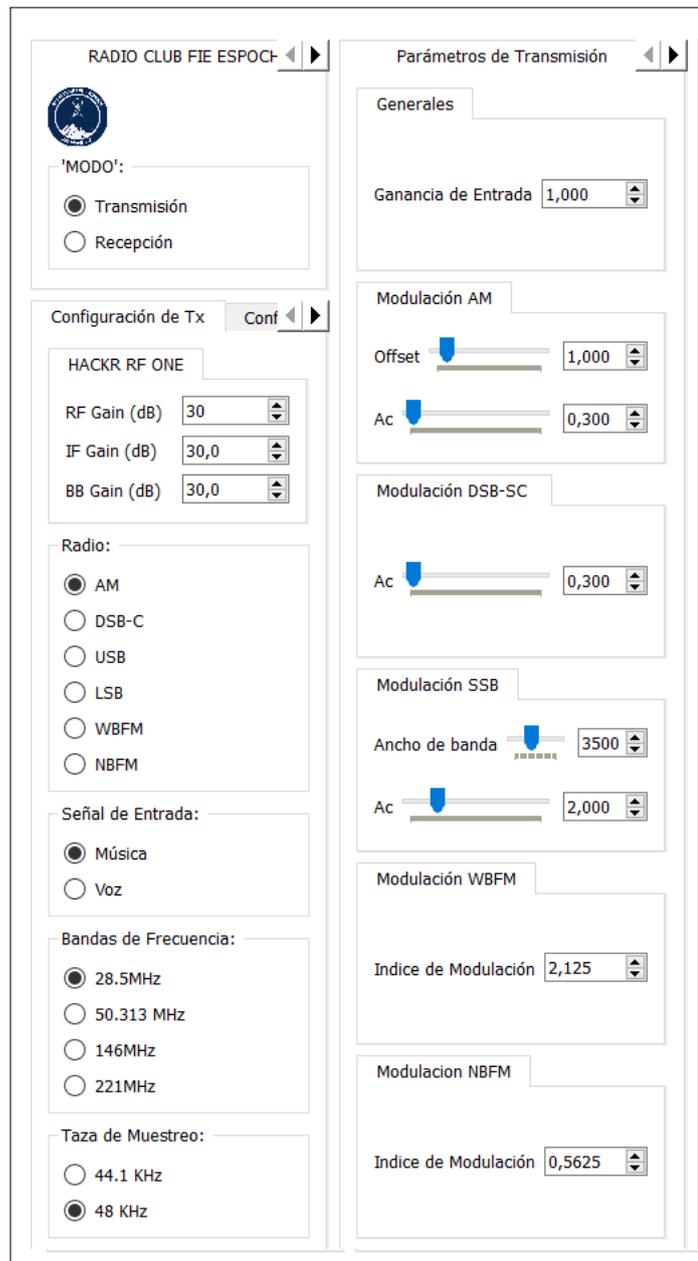
**Tabla 4-7:** Resultados de ROE simulados y reales en la Banda HF y VHF

MEDICIÓN DE ROE		
Banda de Operación (MHz)	ROE	
	SIMULADO	MEDIDO
28,5	1,02	1,47
50,313	1,08	1,22
146	1,07	1,16
221	1,46	1,08

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

En la Tabla 4-7, se observan los valores de ROE que han sido simulados y medidos en el equipo, en el sistema real se elevan los valores, pero están en el rango aceptable de funcionamiento, la banda de 221 MHz presenta una mejora en cuanto a la simulación.

#### 4.2.5 Entorno de configuración del sistema de transmisión



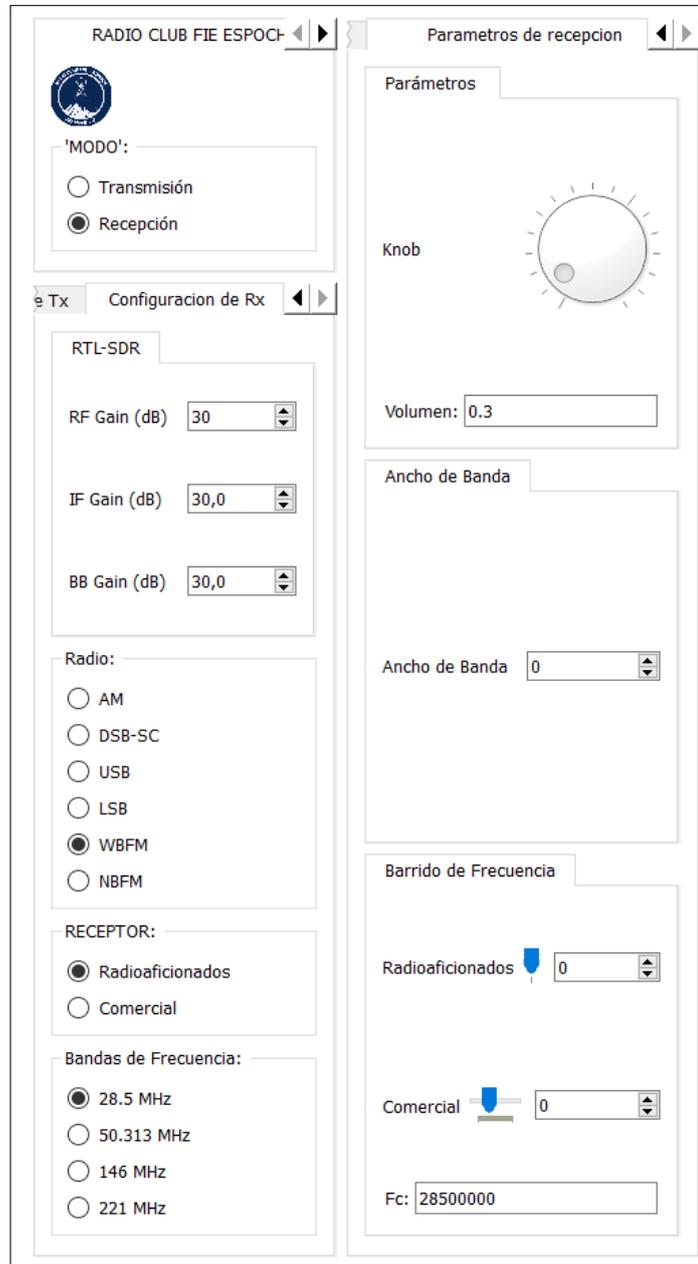
**Ilustración 4-57:** Configuración del Sistema de Transmisión

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024

Para los resultados prácticos, se empleó el sistema de transmisión desarrollado en GNU RADIO, el cual ofrece una variedad de parámetros que permiten ajustar aspectos como la tasa de muestreo, la

banda de operación, el tipo de señal y las modulaciones, junto con sus respectivas variables de configuración. El entorno de trabajo se puede apreciar en la Ilustración 4-57.

#### 4.2.6 Entorno de configuración del sistema de recepción



**Ilustración 4-58:** Configuración del Sistema de Recepción

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024

De igual forma, el sistema de recepción dispone de diversos parámetros de configuración que incluyen el control de volumen, la sintonización en las cuatro bandas de operación, el barrido de frecuencias, la selección de demodulaciones y el control del ancho de banda de recepción. Estas

configuraciones pueden visualizarse en detalle en la Ilustración 4-58.

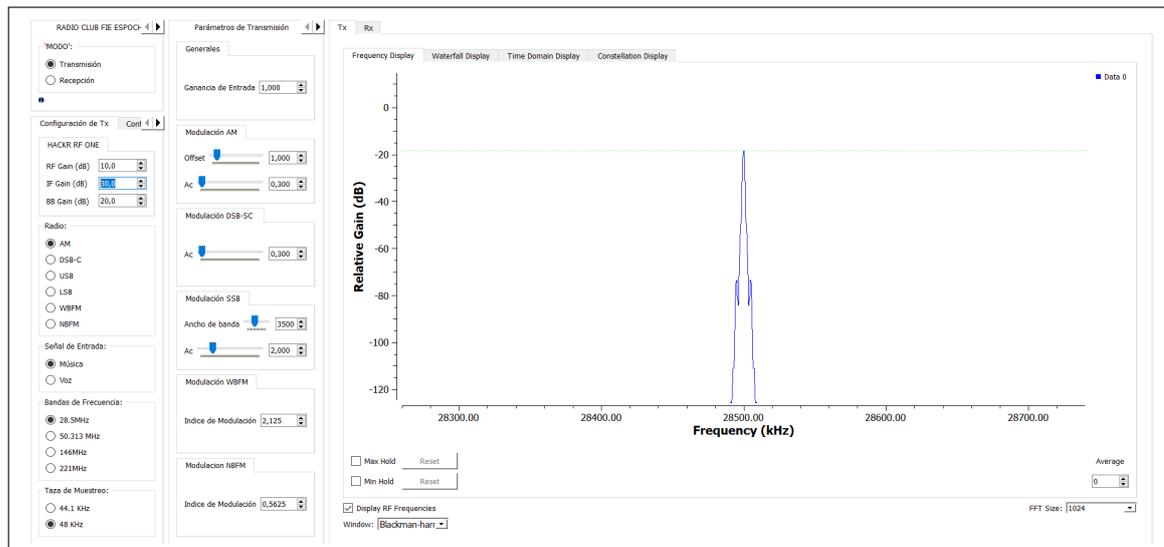
#### 4.2.7 Pruebas con un sistema de comunicaciones móvil en la banda HF

Para las pruebas, se hizo uso de la antena monopolo, detallada en la Tabla 3-23. La transmisión se llevó a cabo utilizando GNU RADIO, mientras que la recepción se realizó con SDRSharp.

Durante las pruebas, se enviaron señales utilizando modulación AM hacia los cerros Cacha y San Francisco, y modulación USB hacia el punto medio entre ambos, los sitios se observan en la Ilustración 3-67 cuyas ubicaciones se detallan en la Tabla 3-6.

La configuración del sistema de transmisión se observa en la Ilustración 4-59, seleccionada en la frecuencia de 28,5 MHz, con modulación AM y máxima ganancia de RF. El ancho de banda de la señal de transmisión se estableció en 8 kHz.

##### ■ Estación Transmisora “Radio Club FIE-ESPOCH”

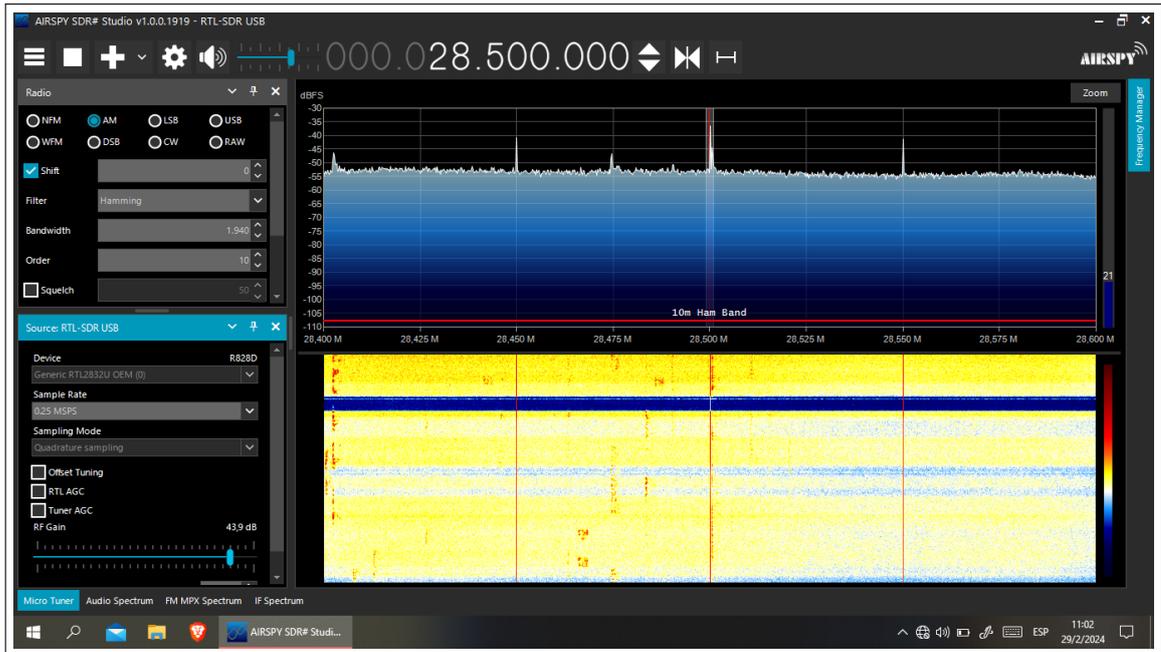


**Ilustración 4-59:** Transmisión en la banda HF

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024

##### ■ Sistema de recepción “Cerro Cacha”

En la Ilustración 4-60, se evidencia el espectro receptado en al cerro Cacha, se observa que la señal recibida cuenta con un buen nivel de recepción, y está centrada en 28,5 MHz, adicionalmente se observan otros espectros en la banda de Radioaficionados, el punto de recepción se puede observar en el Anexo O-1.

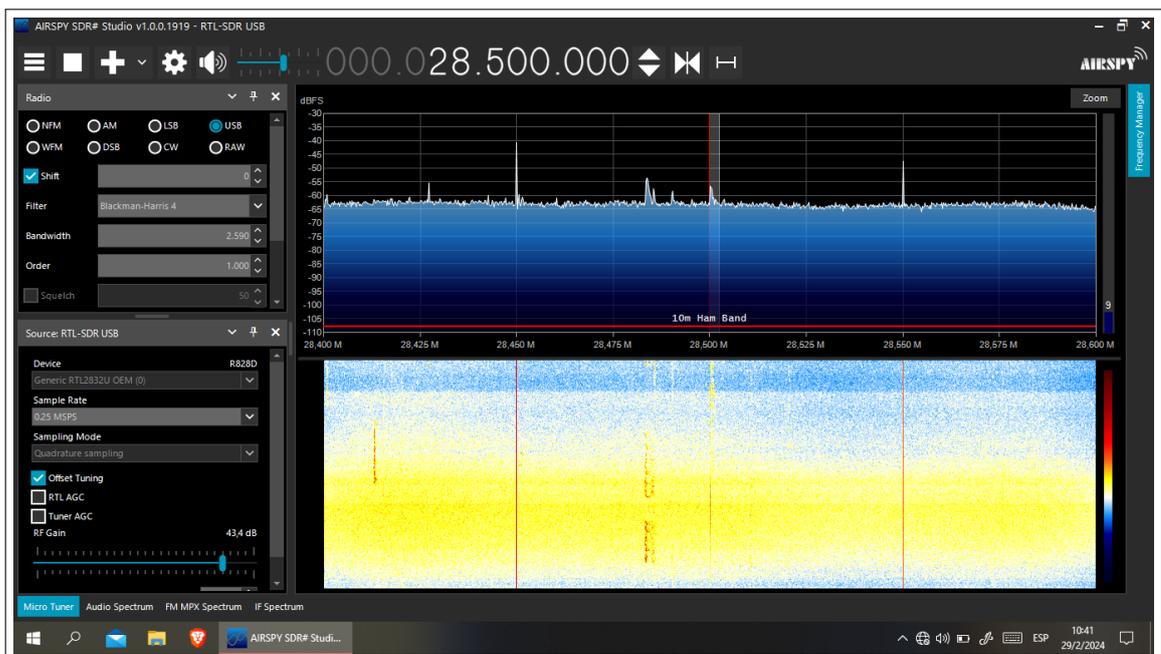


**Ilustración 4-60:** Recepción en la banda HF “Cerro Cacha”

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

- Sistema de recepción “Punto Medio”

En este punto se utilizó Modulación USB, en la Ilustración 4-61 se puede observar que la intensidad de la señal disminuye, esto se debe a que el preamplificador en este tipo de modulación disminuye su potencia de transmisión, el enlace respectivo abarca una distancia de 5,94 km, en el Anexo O-2, se observa el sitio de medición.

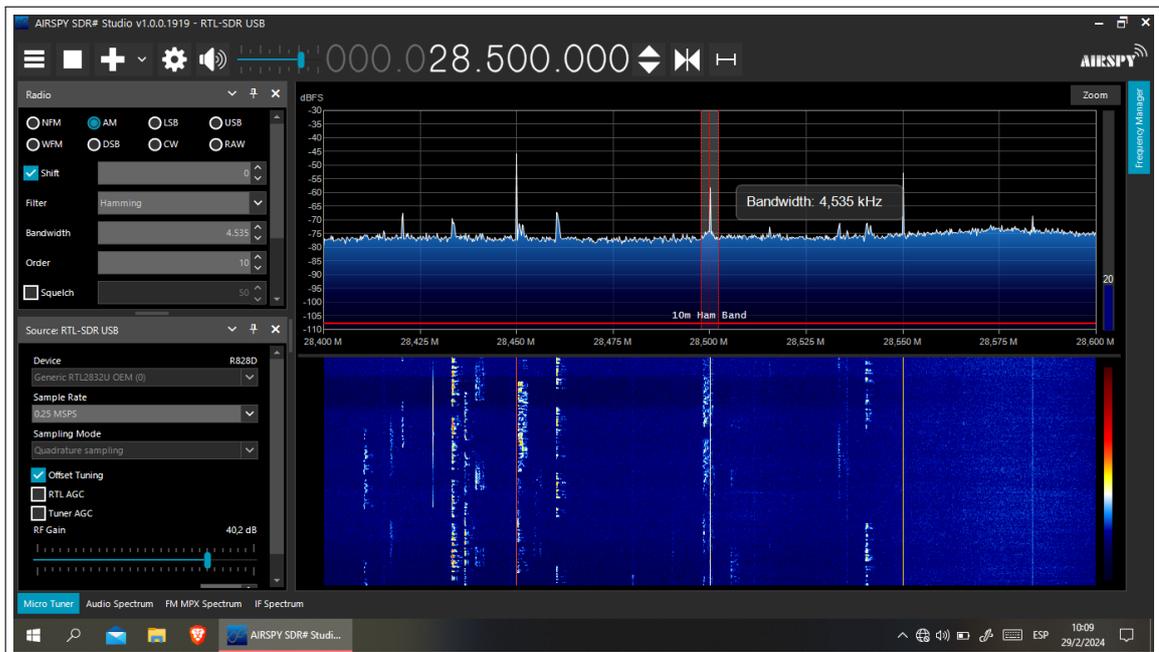


**Ilustración 4-61:** Recepción en la banda HF “Punto Medio”

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

- Sistema de recepción “Cerro San Francisco”

En la Ilustración 4-62 se observa el espectro recibido en el cerro San Francisco, en el Anexo 0-3 se observa el punto de recepción, la respuesta obtenida cuenta con un buen nivel de potencia, de igual forma se captan otras señales ubicadas en la misma banda, el enlace abarca una distancia de 4,69 km.



**Ilustración 4-62:** Recepción en la banda HF “Cerro San Francisco”

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

Los resultados en cada una de las pruebas fueron exitosas, a pesar de la poca potencia de transmisión se logró un alcance de hasta 6 km, debido a los niveles de recepción y a las pruebas realizadas en Radiomobile como se observa en la Ilustración 4-31 se concluye que se puede abarcar una mayor cobertura, estos resultados no solo dependen de la potencia de transmisión, también dependen en gran parte de la Antena y un acoplamiento eficiente de todo el sistema.

#### 4.2.8 Pruebas de cobertura sin línea de vista directa VHF

Para las pruebas de cobertura sin línea de vista directa en la banda VHF, se realizaron pruebas en 4 puntos estratégicos de la ciudad de Riobamba. Para las pruebas de transmisión se hizo uso de la antena Cuadra-Cúbica, y para la recepción se hizo uso de la antena dipolo extensible. Adicionalmente en cada punto de recepción se envía una señal con modulaciones AM, DSB-SC, USB, LSB, WBFM y NBFM, en los resultados se observa el nivel potencia de recepción con el

fin de observar el comportamiento de la señal y comprobar el comportamiento del sistema de preamplificación explicada en el sección 3.6.2. Los puntos de recepción se detallan en la Tabla 3-6. Cabe resaltar que para la recepción en la banda VHF se utilizó SDR-SHARP con el RTL BLOG V4 y el analizador de espectros, para la transmisión se utilizó GNU RADIO con el HACK RF ONE.

#### 4.2.8.1 Punto 1

- Transmisión y recepción de modulaciones AM, DSB-SC, SSB, WBFM, NBFM

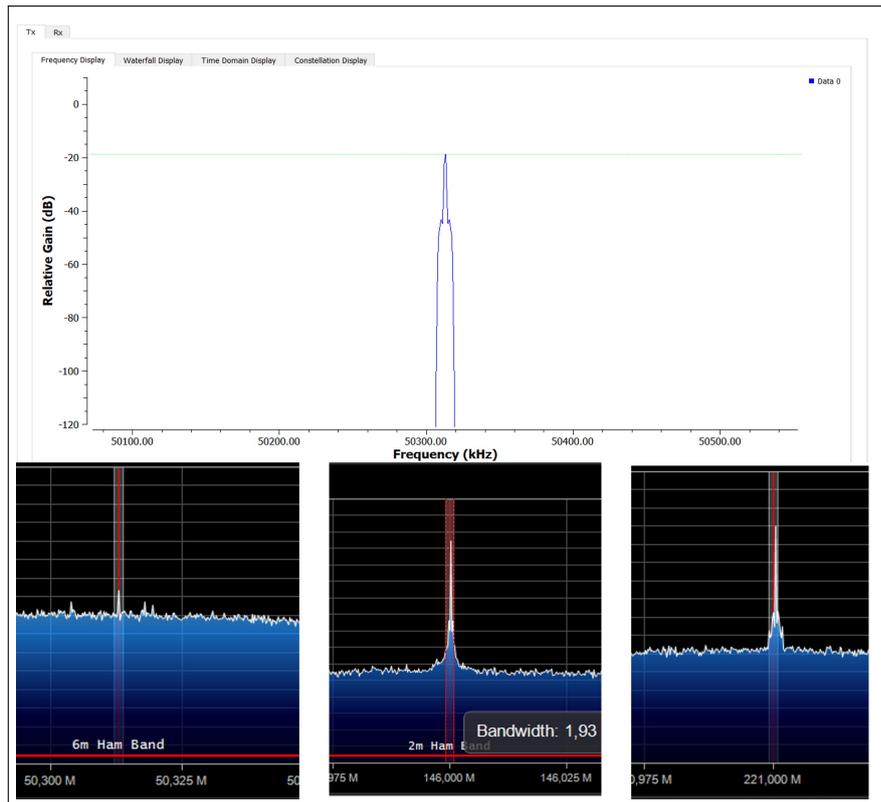
La transmisión AM explicada en la sección 3.5.1.1, se caracteriza por su componente de DC. En la Ilustración 4-63, se observa el espectro de transmisión, y las de recepción centradas en 50,313 MHz, 146 MHz y 221 MHz respectivamente. Se puede notar en SDR-SHARP que el nivel de recepción en 50,313 MHz disminuye considerablemente respecto a las dos siguientes, sin embargo la señal es captada sin problemas en cada banda. La modulación

DSB-SC explicada en la sección 3.5.1.2, se caracteriza por suprimir la componente de DC de la modulación AM, en este modo la reducción del nivel de recepción en 50,313 MHz es nula respecto a las transmisiones en 146 MHz y 221 MHz, los resultados obtenidos se observan en la Ilustración 4-64. Lo que implica que para la banda 50,313 MHz la transmisión DSB-SC no es óptima. La modulación USB explicada en la sección 3.5.1.3, se caracteriza por transmitir la

información utilizando una sola banda, específicamente la banda superior, en la Ilustración 4-65 se observa el espectro de transmisión y recepción. Para este caso de igual forma existe ausencia de señal en la banda de 50,313 MHz. Para la Transmisión LSB, se utiliza el mismo principio que la modulación USB, la única diferencia es que para el envío de la señal se toma en cuenta la banda inferior, en la ilustración 4-66, se observa el espectro en ambos casos tanto transmisión como recepción. En este caso existe un nivel de recepción bueno en la Banda de 50,313 MHz, por otro lado las señales receptadas en la banda de 146 MHz y 221 MHz muestran claramente la banda lateral inferior con una buena intensidad de señal. Para la

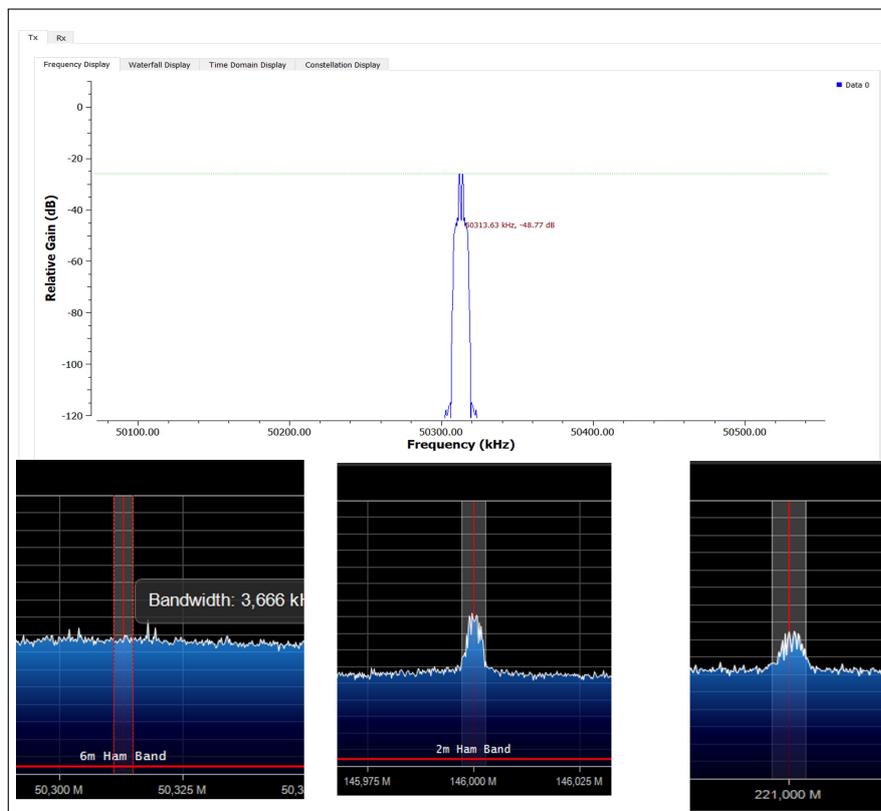
transmisión en WBFM explicada en el apartado 3.5.1.5, se utiliza un ancho de banda de 25 kHz. La modulación WBFM ocupa un mayor ancho de banda, pero abarca más información. En la Ilustración 4-67 se observa el espectro de transmisión y recepción. De acuerdo a los resultados se observa un amplio espectro de recepción en las bandas 146MHz y 221MHz. Sin embargo, la recepción en 50,313 MHz sigue siendo nula. En este modo de transmisión las

configuraciones permiten modificar el índice de modulación directamente en el programa lo cual limita o aumenta el ancho de banda respectivo con un límite máximo de 25 kHz. En la transmisión NBFM, el ancho de banda se reduce a 12,5 kHz, dando como resultado una mejora en cuanto a la eficiencia espectral respecto a WBFM, en este caso existe una leve portadora en la banda de 50,313 MHz, sin embargo su nivel de potencia no es lo suficiente para utilizar una transmisión efectiva en esta banda, por otro lados en la banda de 146 MHz y 221 MHz en este punto se destacan por su gran nivel de recepción, en Ilustración 3.5.1.6 se observa el resultado obtenido.



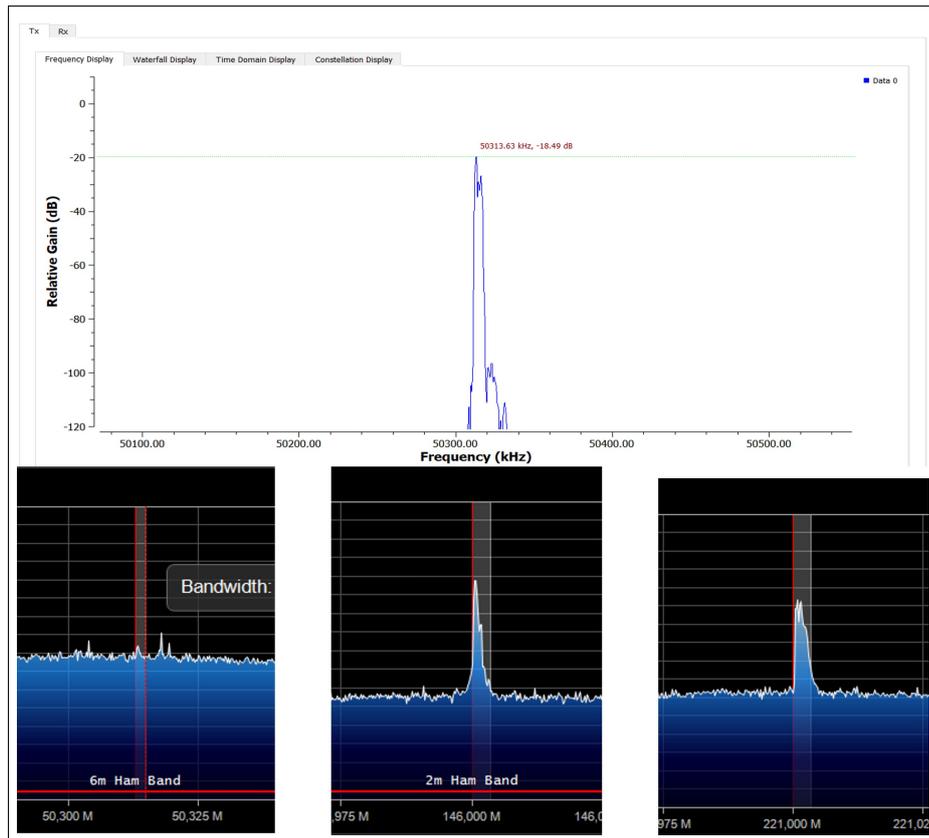
**Ilustración 4-63:** Transmisión y recepción AM en el Punto 1

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



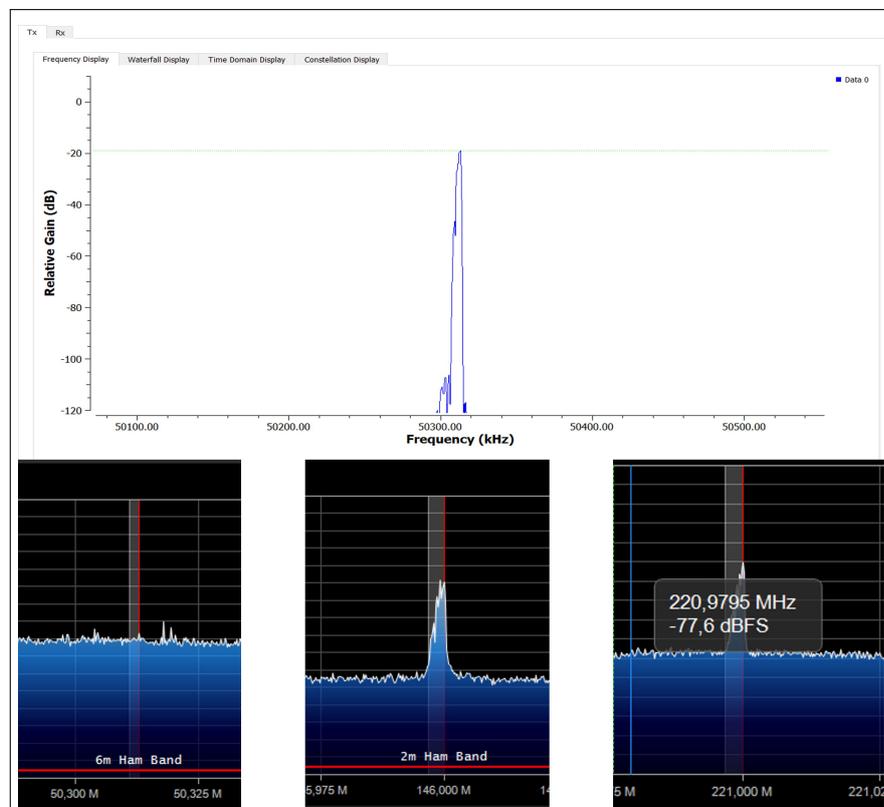
**Ilustración 4-64:** Transmisión y recepción DSB-SC en el Punto 1

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



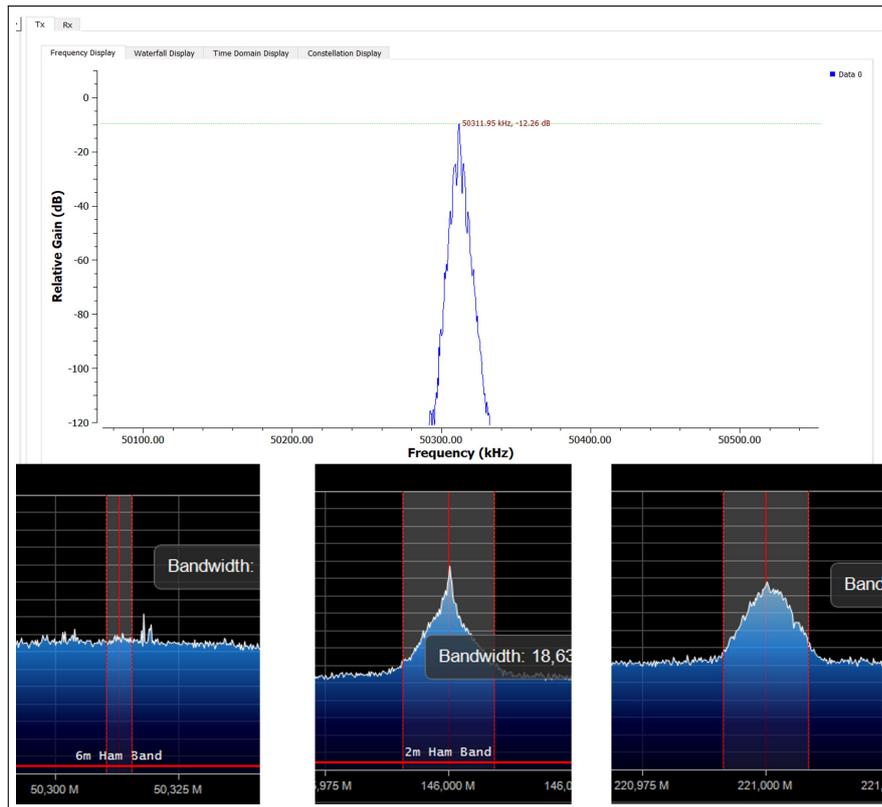
**Ilustración 4-65:** Transmisión y recepción USB en el Punto 1

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



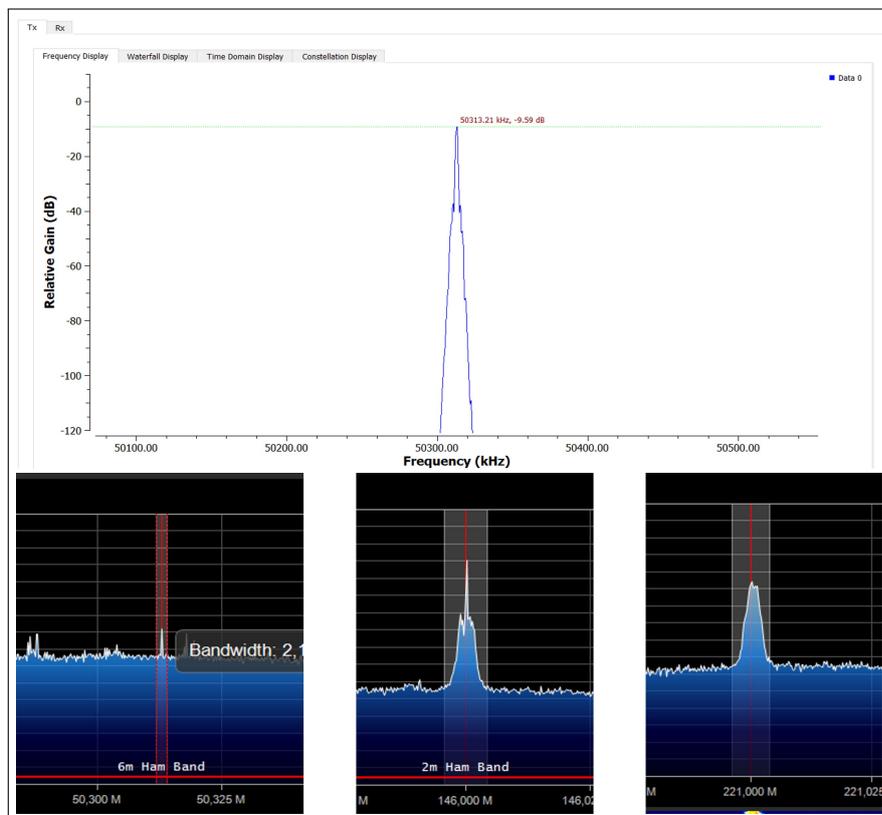
**Ilustración 4-66:** Transmisión y recepción LSB en el Punto 1

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-67:** Transmisión y recepción WBFM en el Punto 1

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

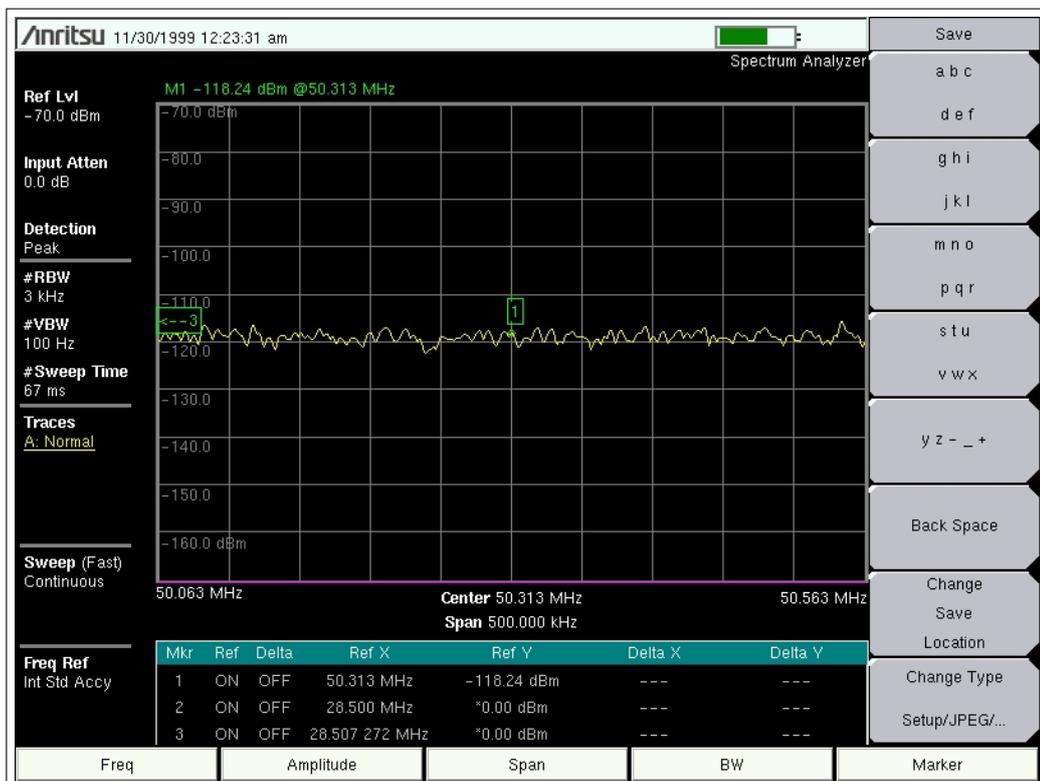


**Ilustración 4-68:** Transmisión y recepción NBFM en el Punto 1

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

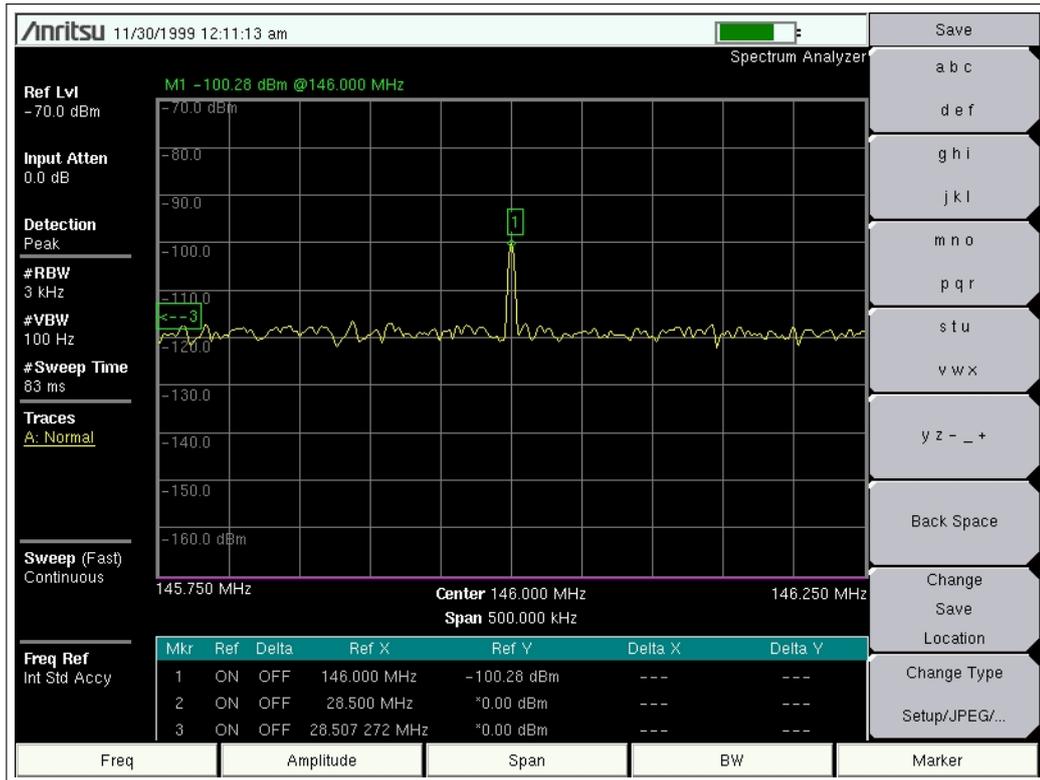
- Resultados obtenidos en el analizador de espectros en el Punto 1

En el equipo, es posible visualizar el nivel de potencia con el que llega la señal captada. La Ilustración 4-69 corresponde a la banda de 50,313 MHz, donde se obtiene como resultado una señal nula. Para la banda de 146 MHz, se registra una señal de -100,28 dBm, como se muestra en la Ilustración 4-70. La Ilustración 4-71 corresponde a la banda de 221 MHz, con un nivel de -93,12 dBm. Estos resultados concuerdan con los espectros recibidos en el RTL. Sin embargo, es importante señalar que en el entorno de simulación realizado en Radiomobile, no coincide con las pruebas reales, ya que en la banda de 50,313 MHz no se recibe ninguna señal. El rango del radio enlace desde la estación de control hasta el Punto 1 es de aproximadamente 1,54 km. Las mediciones realizadas se detallan en el Anexo P.



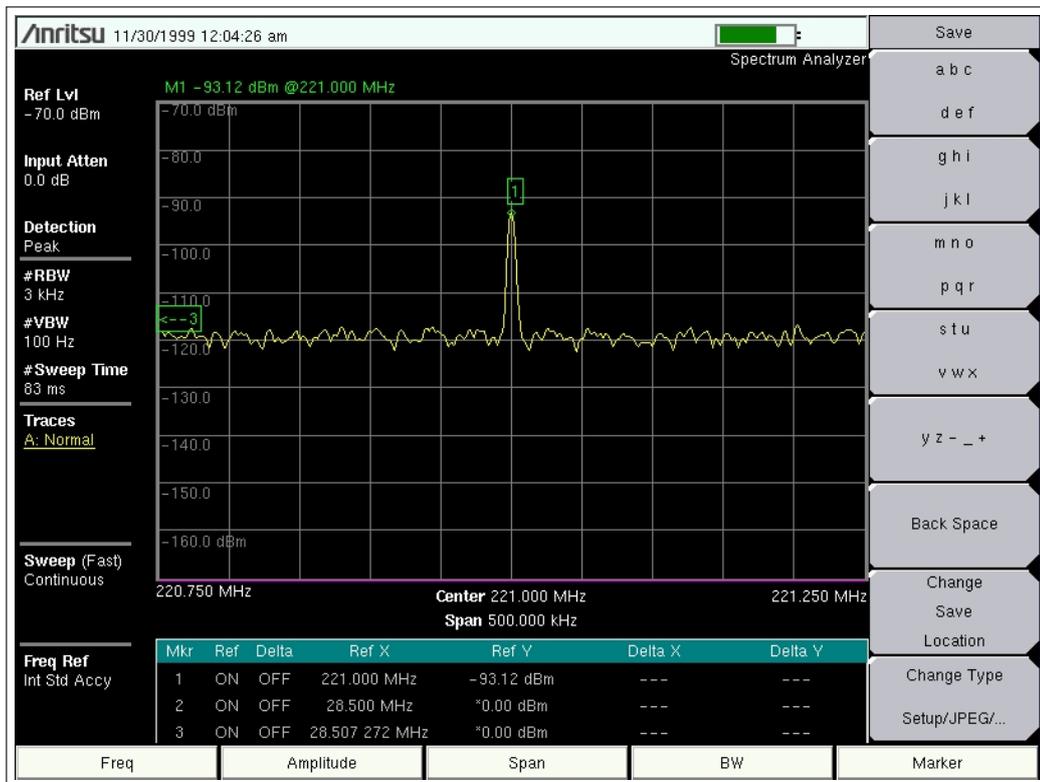
**Ilustración 4-69:** Espectro en la banda de 50,313 MHz en el punto 1

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-70:** Espectro en la banda de 146 MHz en el punto 1

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-71:** Espectro en la banda de 221 MHz en el punto 1

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

#### 4.2.8.2 Punto 2

De igual forma para el punto 2, se realizó envío y recepción de señales en distintas modulaciones en donde se comprueban las variaciones del espectro según la banda de operación.

- Transmisión y recepción de Modulaciones AM, DSB-SC, SSB, WBFM.

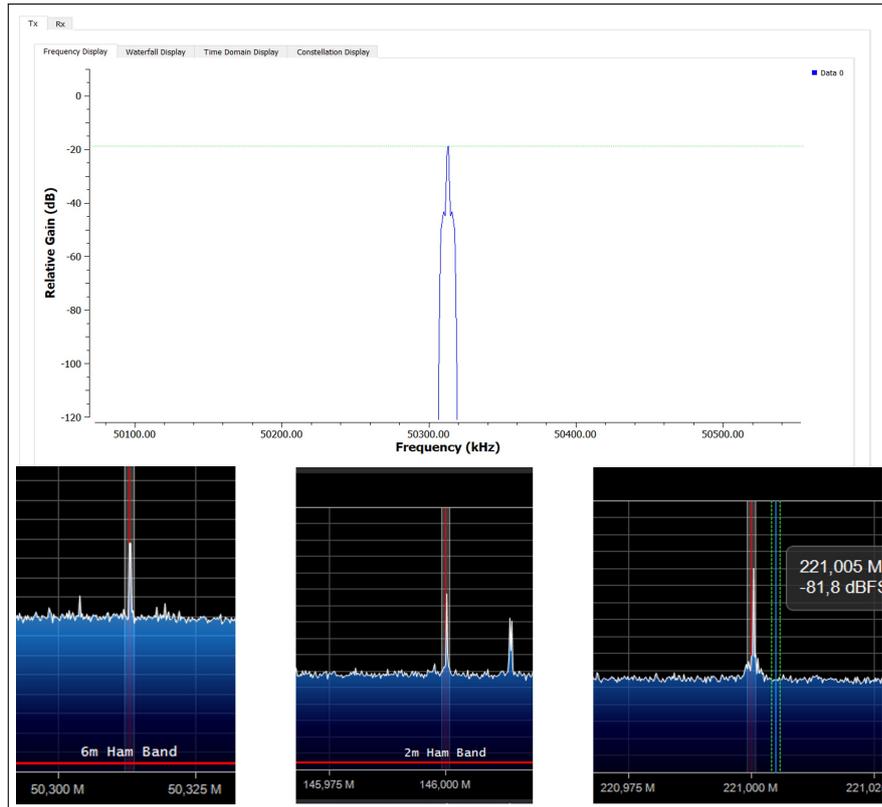
En la primera transmisión en el Punto 2, se destaca una buena recepción en las tres bandas para el modo de transmisión AM. Los resultados se visualizan en la Ilustración 4-72. Respecto a la transmisión DSB-SC, los resultados indican un nivel de recepción aceptable, aunque en la banda de 146 MHz hay una reducción en el nivel de potencia de recepción en comparación con la modulación AM. No obstante, en las bandas de 50,313 MHz y 221 MHz, se mantiene un buen nivel de recepción. Los espectros resultantes se presentan en la Ilustración 4-73.

Para el modo de transmisión USB, ilustrado en la Figura 4-74, se observa una reducción en el nivel de potencia para la banda de 50,313 MHz, sin embargo esto no afecta la recepción de la señal, y en las bandas de 146 MHz y 221 MHz, el nivel de recepción es mayor.

En la Ilustración 4-75, que representa la transmisión y recepción en el modo LSB, se aprecia que el nivel de potencia se reduce considerablemente en la banda de 50.313 MHz. En las dos bandas restantes aun existe un buen nivel de potencia.

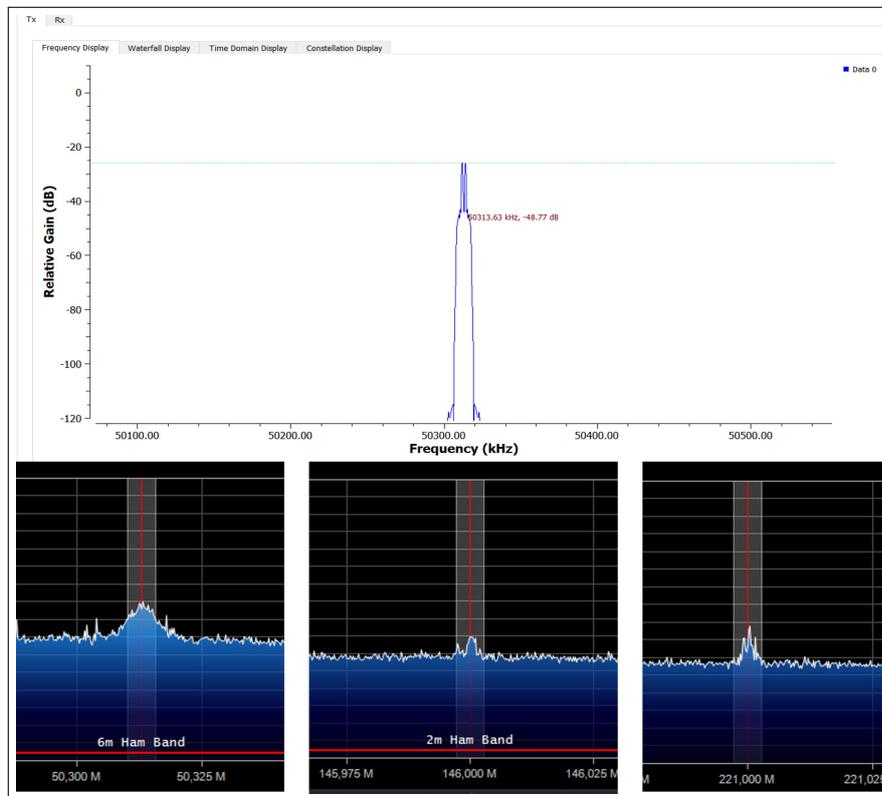
En la transmisión WBFM, se observa atenuación en las bandas de 50,313 MHz y 146 MHz. Sin embargo, en la banda de 221 MHz, el nivel de recepción sigue destacándose en comparación con las otras bandas. El espectro resultante se muestra en la Ilustración 4-76.

Finalmente, se transmite una señal en NBFM, como se observa en la Ilustración 4-77. La respuesta es similar a WBFM, con la diferencia de que hay una reducción en el ancho de banda.



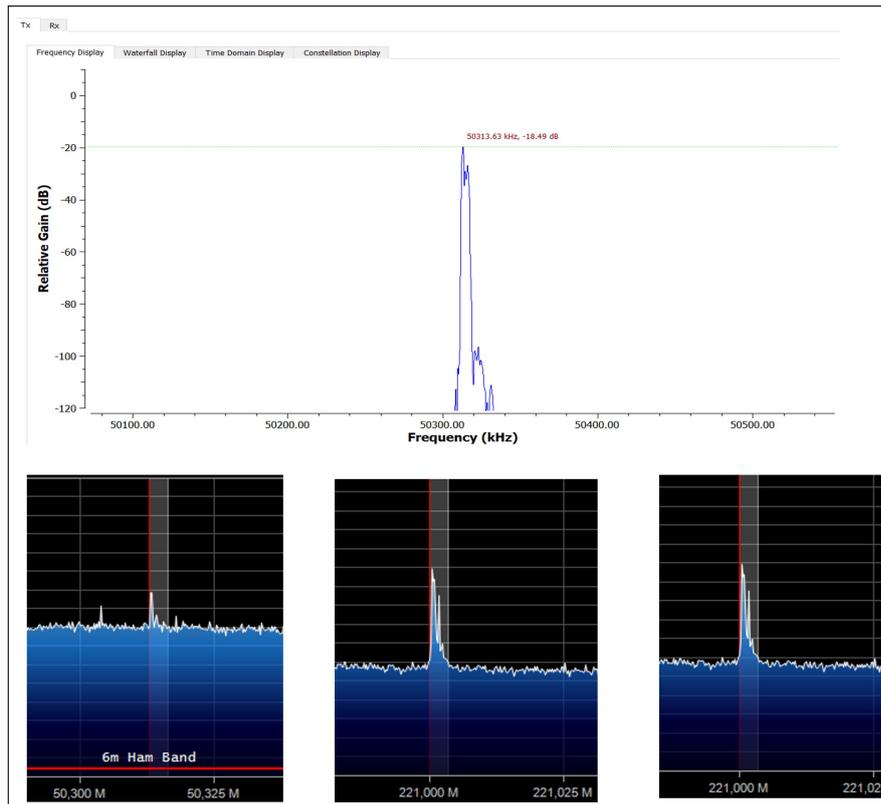
**Ilustración 4-72:** Transmisión y recepción AM en el Punto 2

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



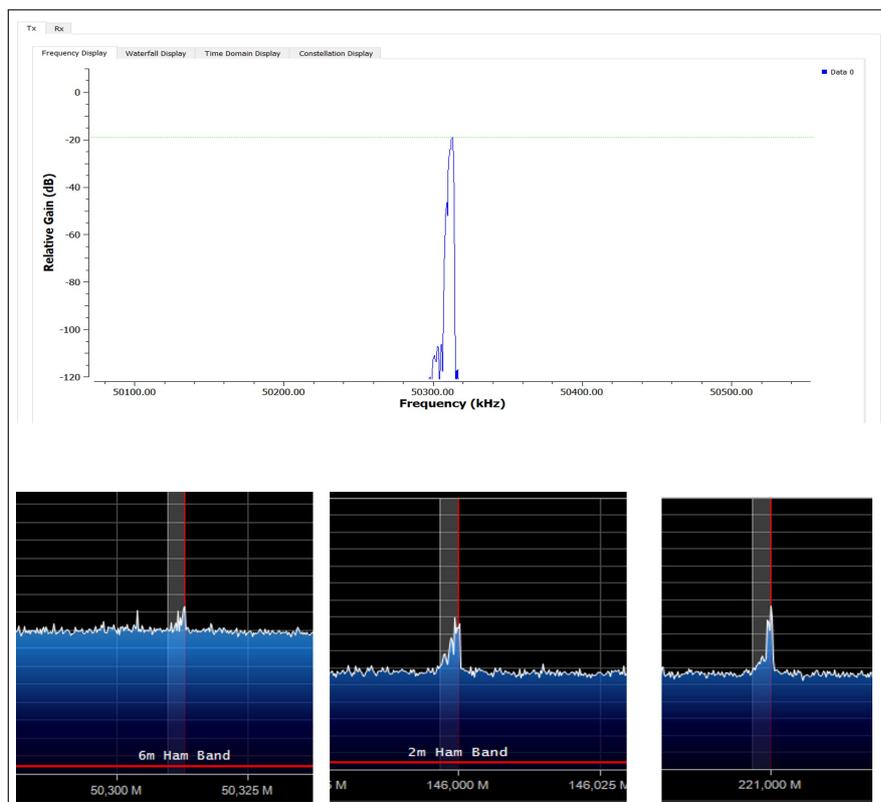
**Ilustración 4-73:** Transmisión y recepción DSB-SC en el Punto 2

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



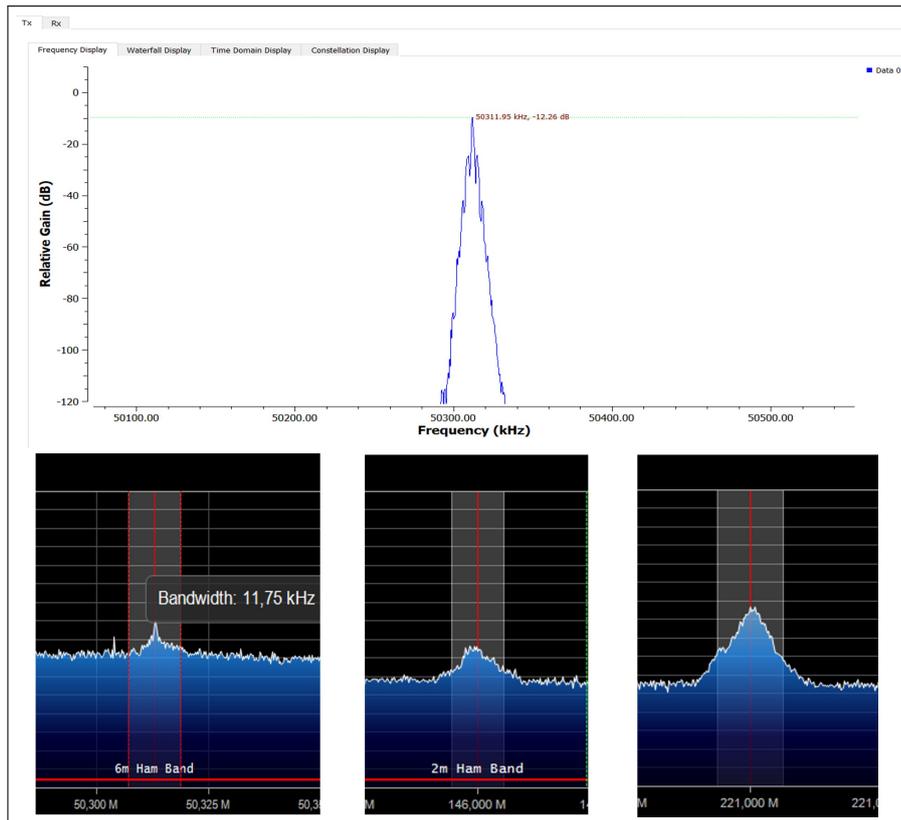
**Ilustración 4-74:** Transmisión y recepción USB en el Punto 2

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

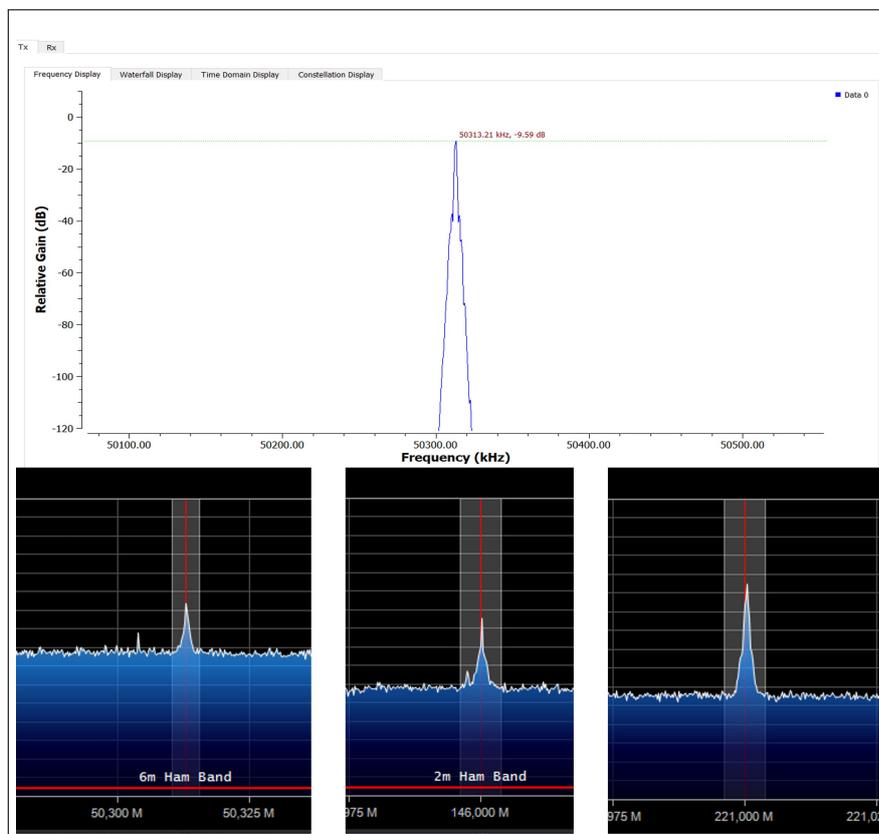


**Ilustración 4-75:** Transmisión y recepción LSB en el Punto 2

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-76:** Transmisión y recepción WBFM en el Punto 2  
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

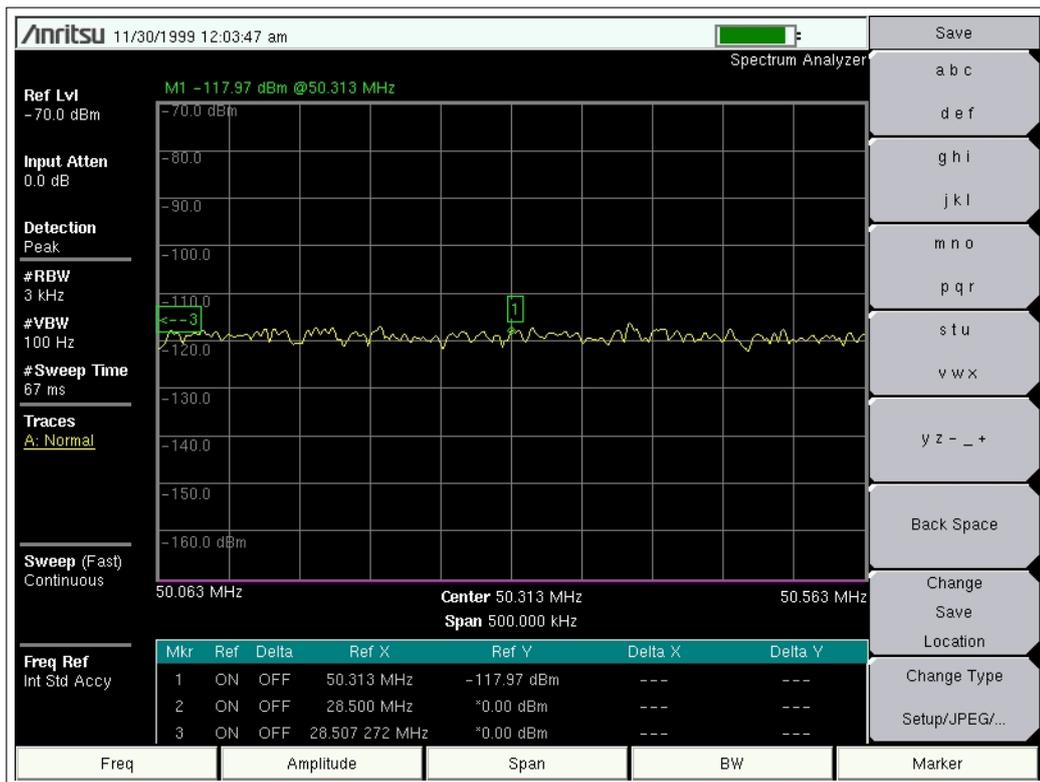


**Ilustración 4-77:** Transmisión y recepción NBFM en el Punto 2  
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.

- Resultados del analizador de espectros en el Punto 2

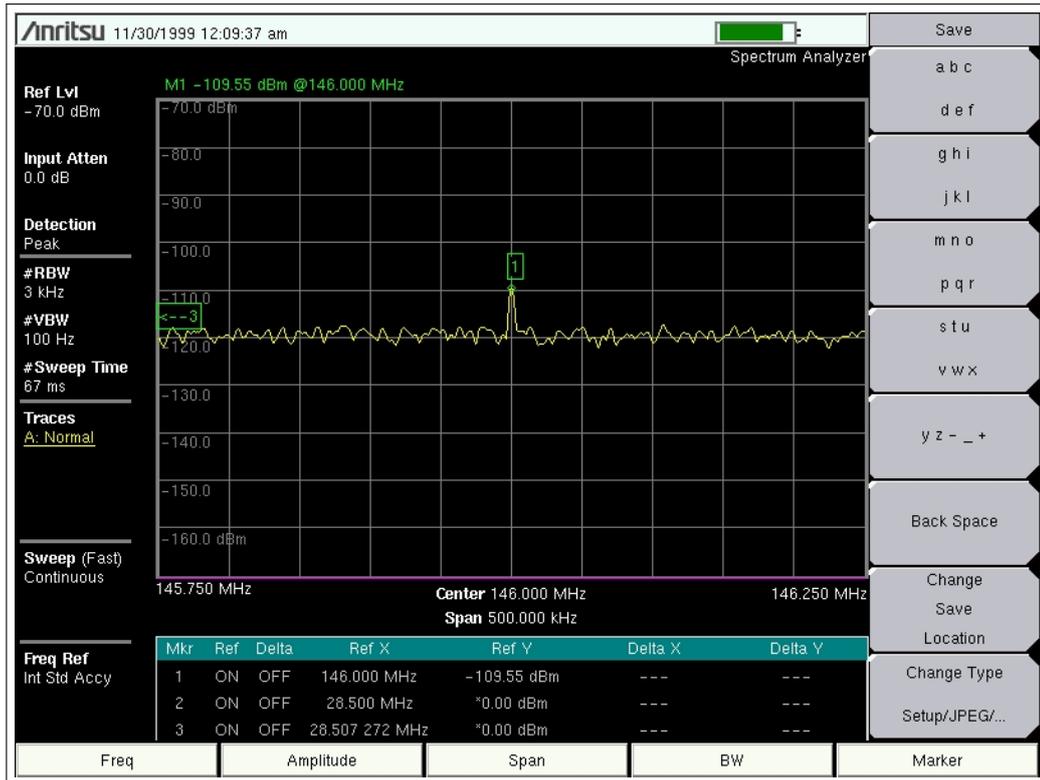
Al igual que en el punto uno, se utilizó la misma antena dipolo extensible y se envió una portadora para evidenciar la señal en el analizador de espectros. En las Ilustraciones 4-78, 4-79, 4-80 se muestra el resultado obtenido en las bandas de 50,313 MHz, 146 MHz y 221 MHz, respectivamente. En la primera banda, se observa ausencia de espectro, y los resultados difieren significativamente de lo captado por el RTL. No obstante, en la banda de 146 MHz se registra un valor de -109.55 dBm, y en la banda de 221 MHz, un valor de -112 dBm.

De acuerdo a la simulación que fue explicada en la sección 4.1.3.2, existe una diferencia en la banda de 50,313 MHz en este caso no coincide con la simulación dado que existe ausencia de señal en el analizador de espectros, sin embargo el dispositivo RTL si logró captar la señal.



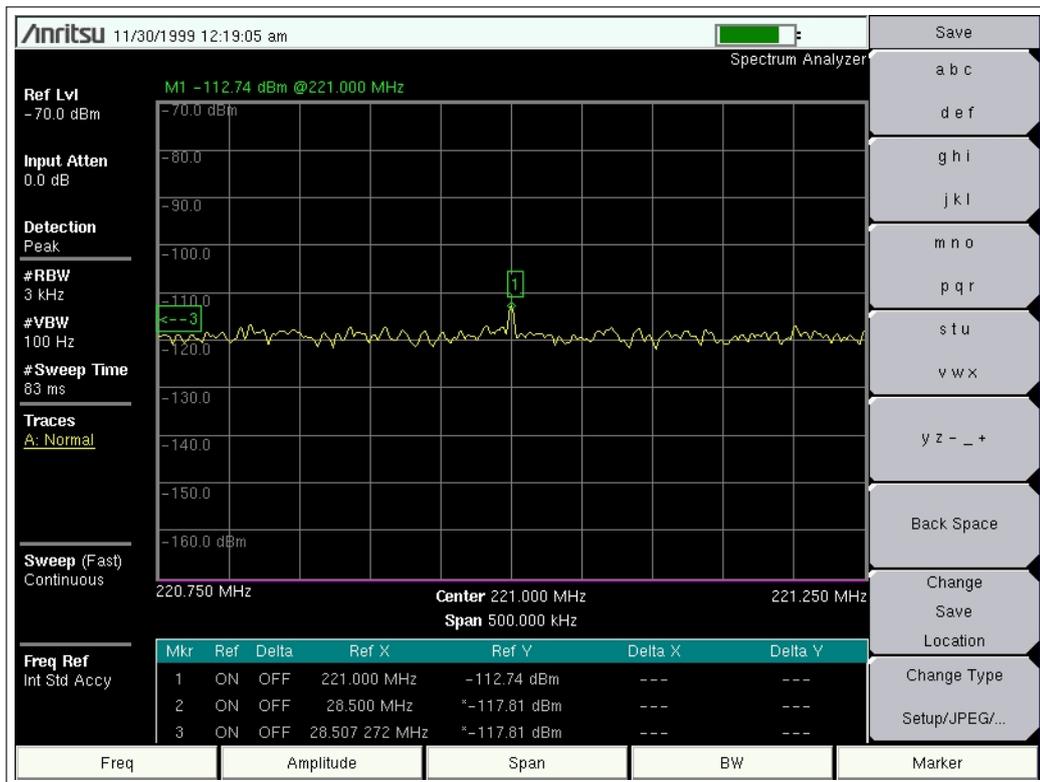
**Ilustración 4-78:** Espectro en la banda de 50,313 MHz en el Punto 2

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-79:** Espectro en la banda de 146 MHz en el Punto 2

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-80:** Espectro en la banda de 221 MHz en el Punto 2

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

#### 4.2.8.3 Punto 3

- Transmisión y recepción de modualciones AM, DSB-SC, SSB, WBF.

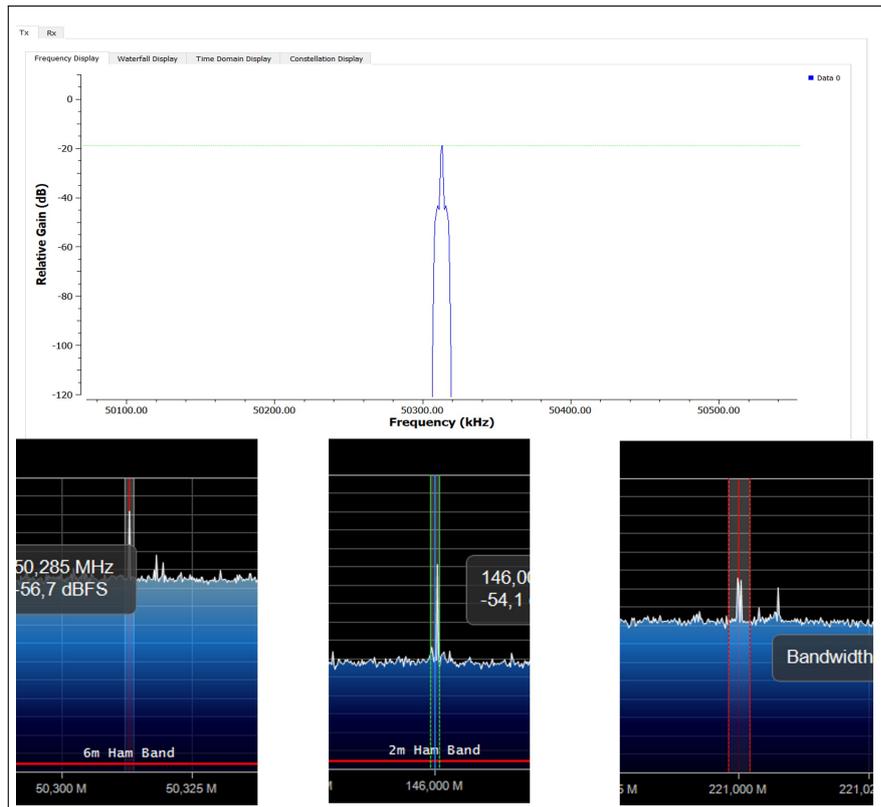
En el punto 3, con la modulación AM, destaca la banda de 50,313 MHz, una frecuencia que en los puntos anteriores no cumplía con el rendimiento adecuado. En este caso, aunque hay una atenuación considerable en la banda de 221 MHz, aún se puede recibir la señal. Por otro lado, en la banda de 146 MHz, el resultado muestra un nivel de potencia muy bueno. Cada resultado mencionado se observa en la Ilustración 4-81. El software de recepción permite ajustar el ancho de banda y los valores de ganancia, lo que facilita el tratamiento de la señal recibida para mejorar la calidad si es necesario.

Para la transmisión DSB-SC, observada en la Ilustración 4-82, se aprecia una calidad de recepción muy baja. En este caso, la señal recibida incluye ruido excesivo, excepto en la banda de 221 MHz.

En la transmisión USB, destaca más en la banda de 146 MHz, como se observa en la Ilustración 4-83. Las dos bandas restantes tienen un nivel de recepción más bajo.

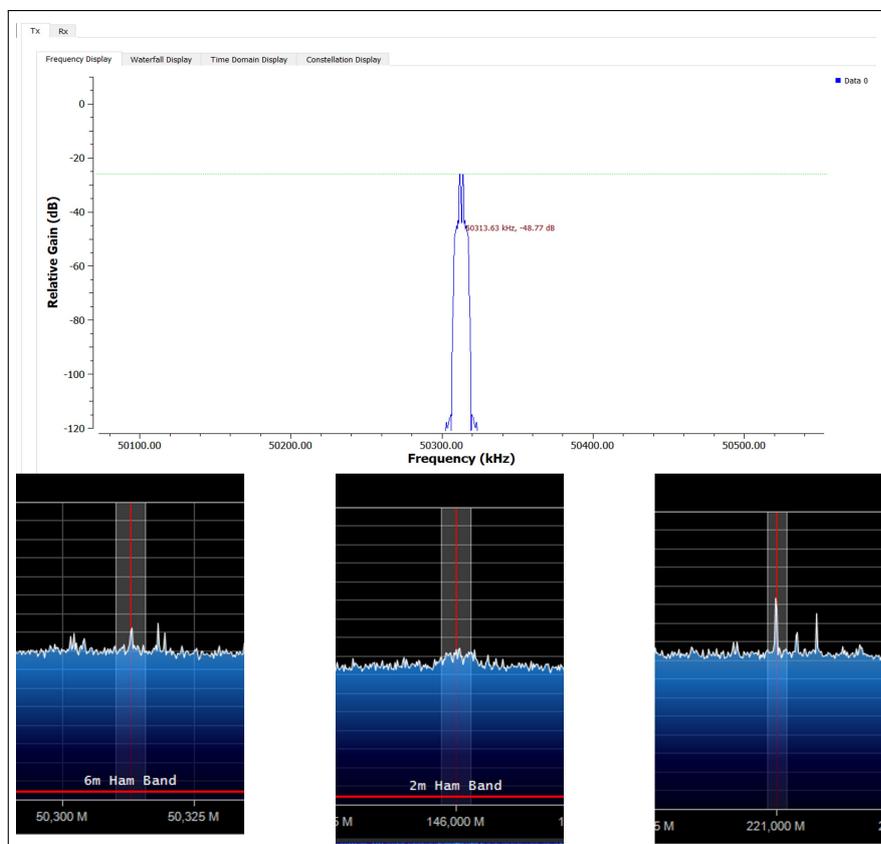
Para la transmisión LSB, que se observa en la Ilustración 4-84, el comportamiento es similar al de USB, es decir, la información se degrada en las bandas de 221 MHz y 50,313 MHz. Se puede concluir que, para las modulaciones de amplitud (AM, USB y LSB), se tiene un mejor rendimiento en la banda de 146 MHz.

Finalmente, para las modulaciones en frecuencia, el comportamiento es similar a las modulaciones en amplitud; el espectro de recepción tiene un mayor nivel de potencia en la banda de 146 MHz, tanto en WBFM como en NBFM, como se observa en la Ilustración 4-85 y 4-86.



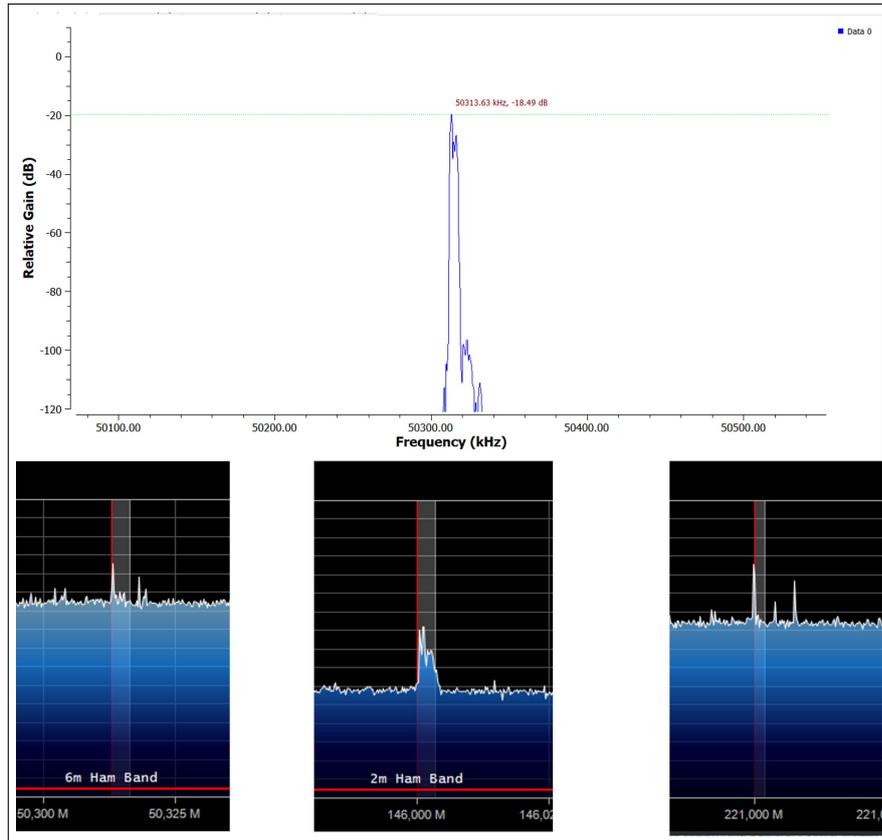
**Ilustración 4-81:** Transmisión y recepción AM en el Punto 3

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



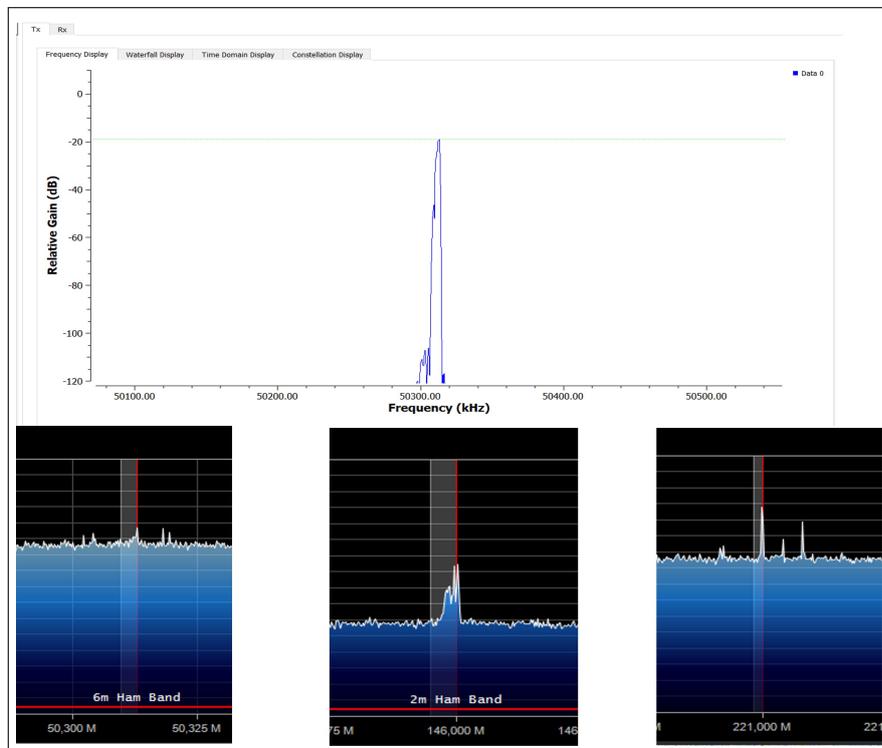
**Ilustración 4-82:** Transmisión y recepción DSB-SC en el Punto 3

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



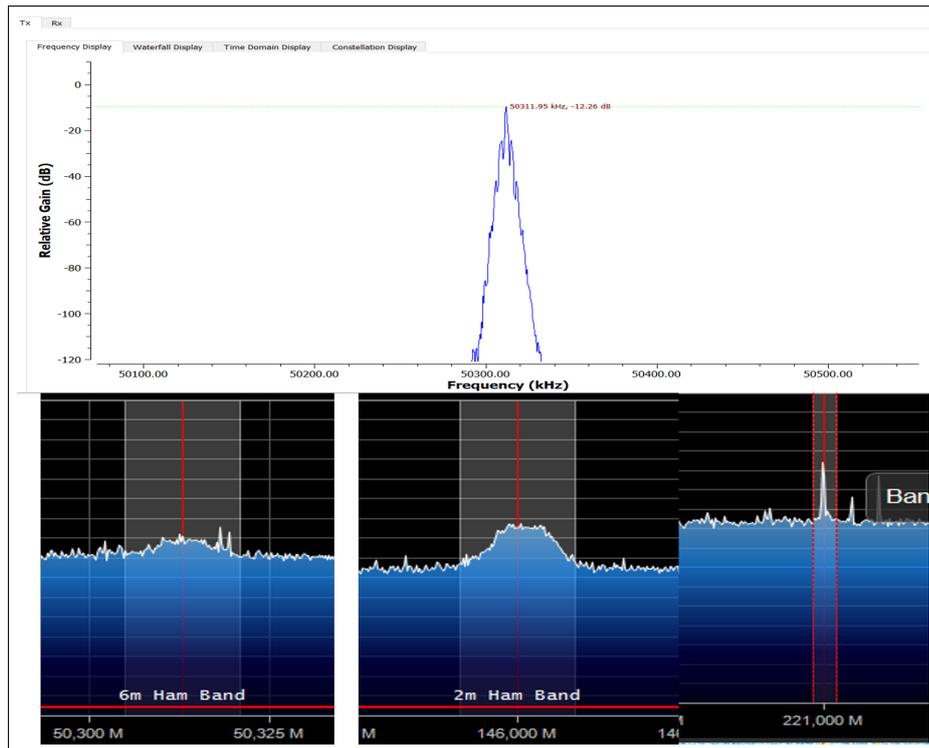
**Ilustración 4-83:** Transmisión y recepción USB en el Punto 3

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



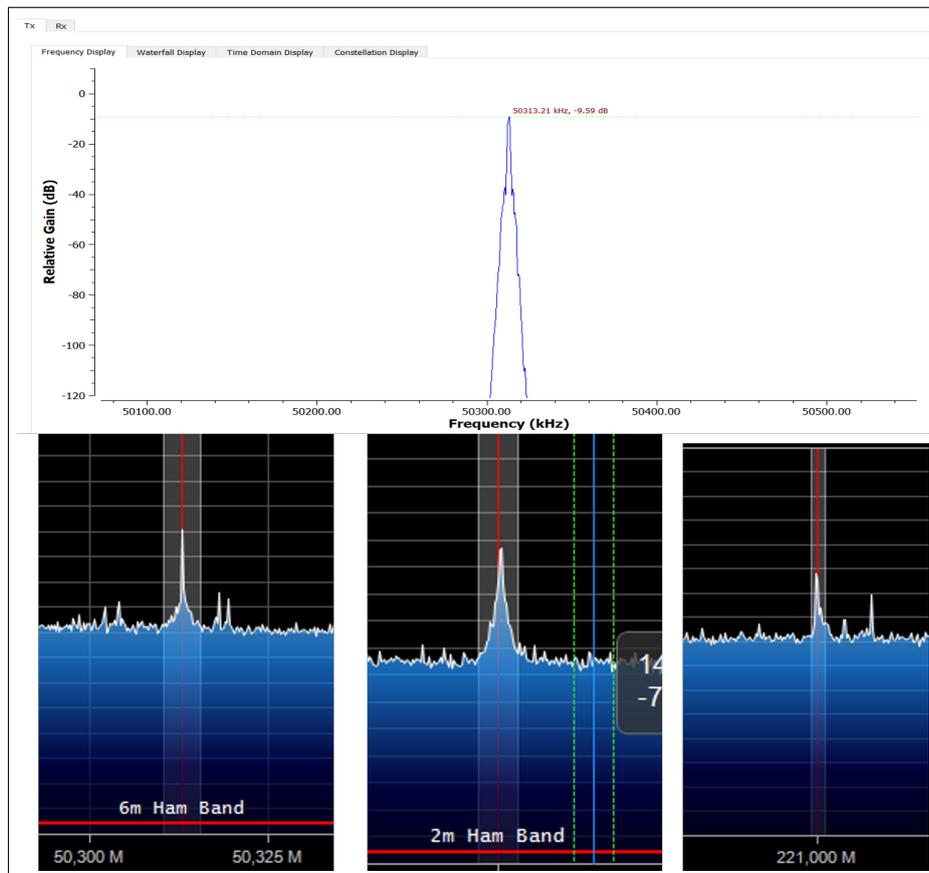
**Ilustración 4-84:** Transmisión y recepción LSB en el Punto 3

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-85:** Transmisión y recepción WBFM en el Punto 3

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.



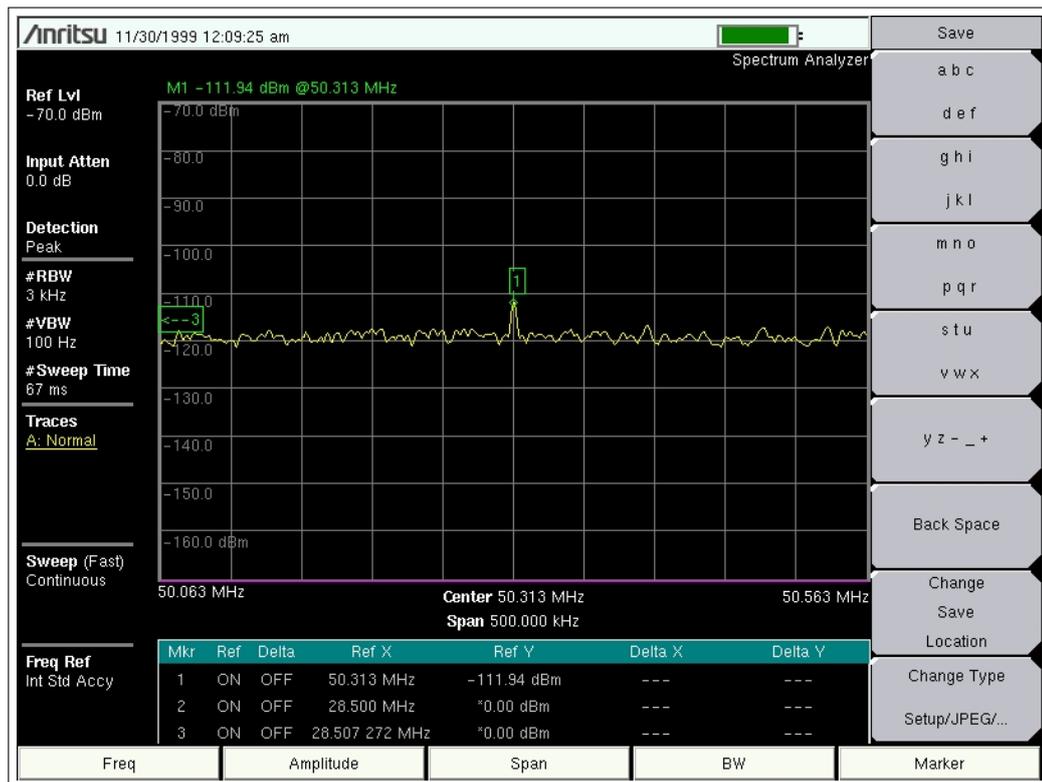
**Ilustración 4-86:** Transmisión y recepción NBFM en el Punto 3

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

- Resultados del analizador de espectros en el Punto 3

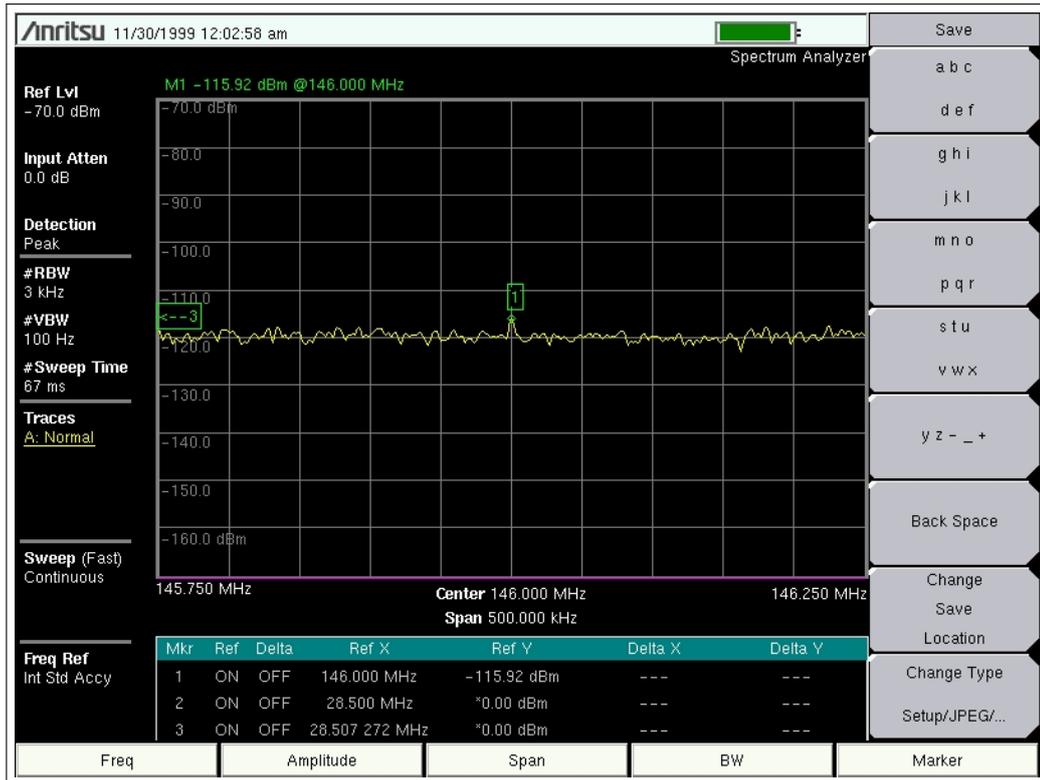
De igual forma, en el Anexo Q-2 se observa el punto 3 donde se realizaron las mediciones del espectro en las tres bandas de frecuencia. En 50,313 MHz, se registra un valor de potencia de recepción de -111 dBm; en 146 MHz, se obtiene un valor de -115,92 dBm; y en 221 MHz, se recepta una señal con un nivel de potencia de -112,50 dBm. Las mediciones realizadas con el analizador de espectros se presentan en las ilustraciones 4-87, 4-88 y 4-89, respectivamente.

De acuerdo al entorno de simulación explicados en la sección 4.1.3.3, los resultados coinciden. Sin embargo, la señal recibida es baja, pero esto no atenúa totalmente la señal según los resultados captados por el RTL, la banda que destaca mejor resulta ser la de 146 MHz. El alcance del enlace abarca aproximadamente 1,68 km.



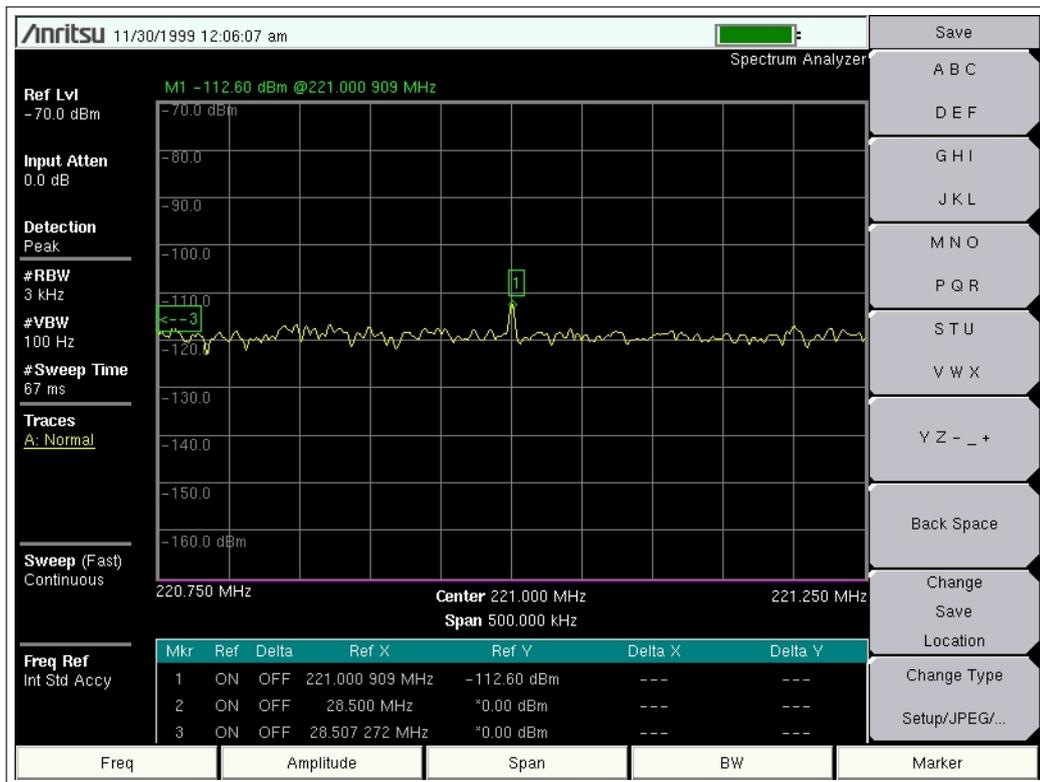
**Ilustración 4-87:** Espectro en la banda de 50,313 MHz en el Punto 3

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-88:** Espectro en la banda de 146 MHz en el Punto 3

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024



**Ilustración 4-89:** Espectro en la banda de 221 MHz en el Punto 3

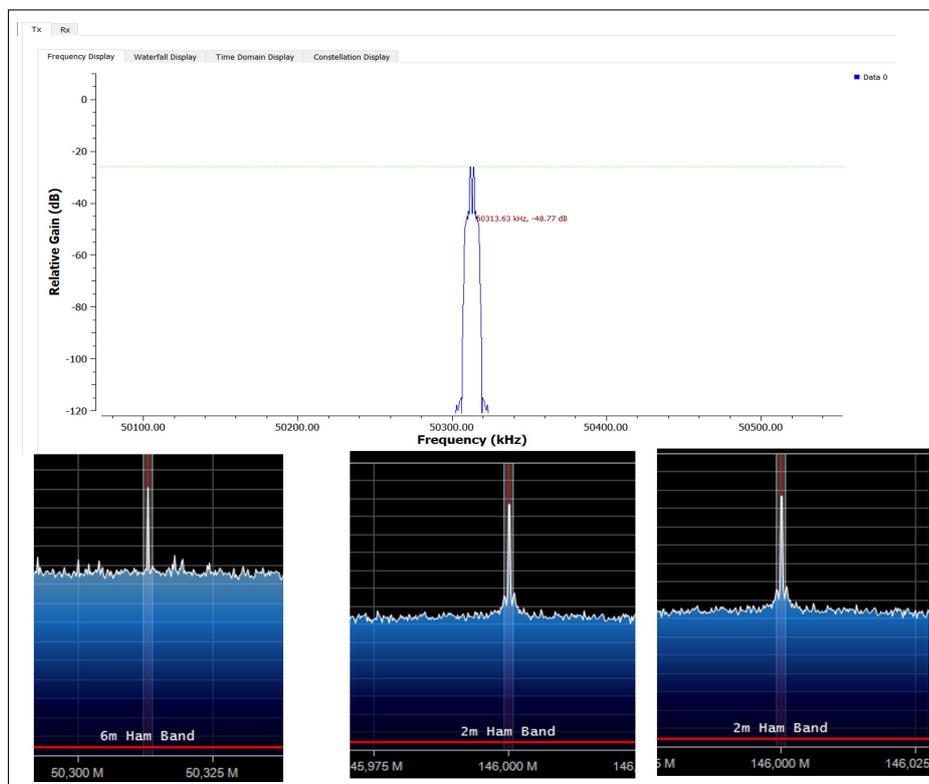
Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

#### 4.2.8.4 Punto 4

- Transmisión y recepción de modulaciones AM, DSB-SC, SSB, WBFM,

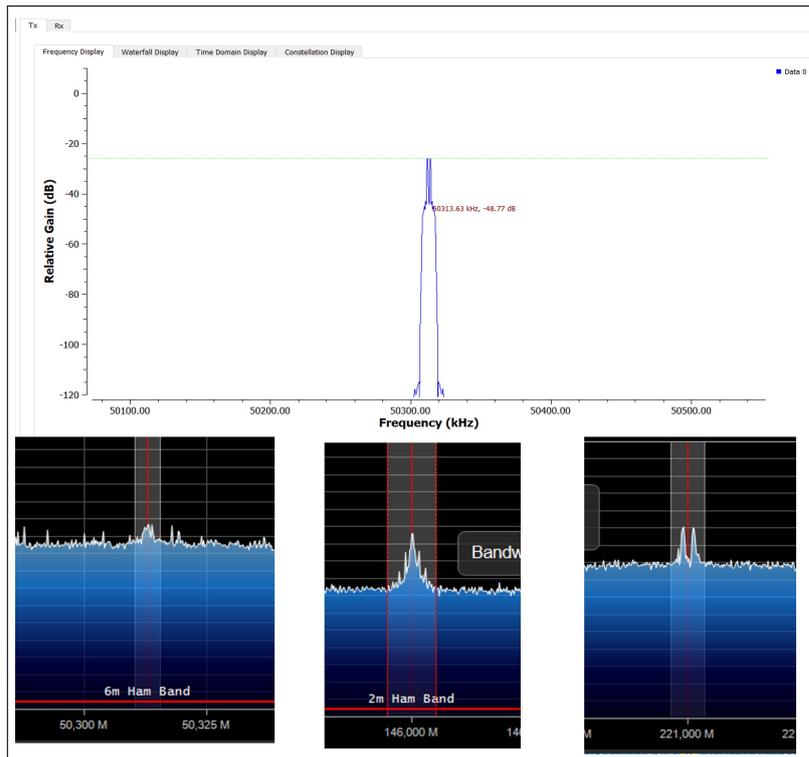
En el último punto, se llevaron a cabo las mismas pruebas en las bandas mencionadas anteriormente. En las modulaciones de amplitud, el rendimiento en las bandas de 146 MHz y 221 MHz es muy notorio. Por otro lado, la banda de 50,313 MHz varía y disminuye su nivel de potencia en la modulación DSB-SC; sin embargo, esto no atenúa completamente su señal. Cada resultado de las modulaciones, como AM, DSB-SC, USB y LSB, se observa en las Ilustraciones 4-90, 4-91, 4-92, 4-93, respectivamente.

Para la transmisión y recepción WBFM en la banda de 50,313 MHz, que se observa en la Ilustración 4-94, es notable la disminución del espectro en cuanto a su nivel de potencia. Sin embargo, esta disminución no afectó la recepción en este modo de transmisión. Por otro lado, las dos bandas superiores mantienen un nivel alto de recepción. Para la modulación NBFM, se observa un mejor comportamiento en las tres bandas de operación.

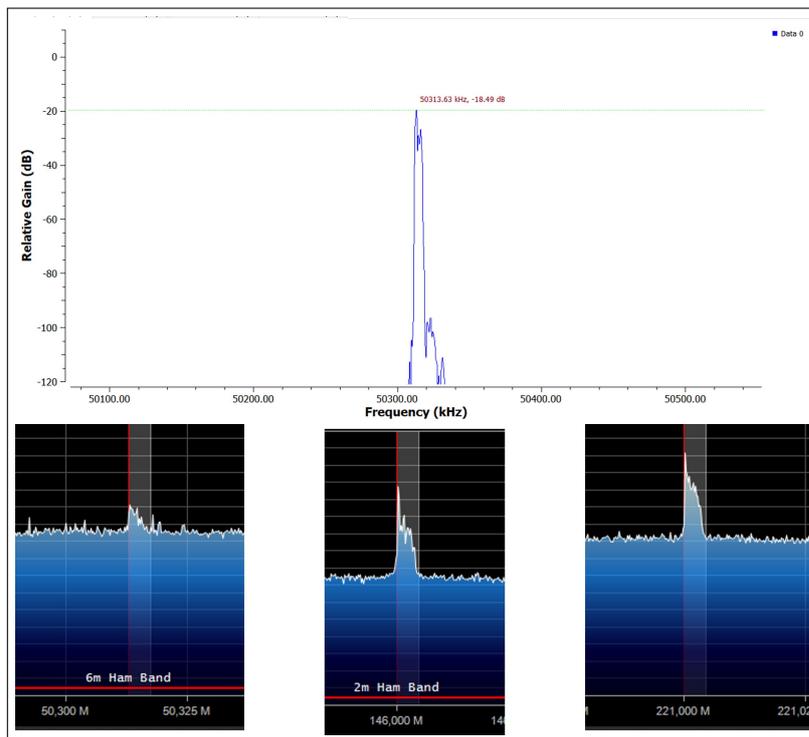


**Ilustración 4-90:** Transmisión y recepción AM en el Punto 4

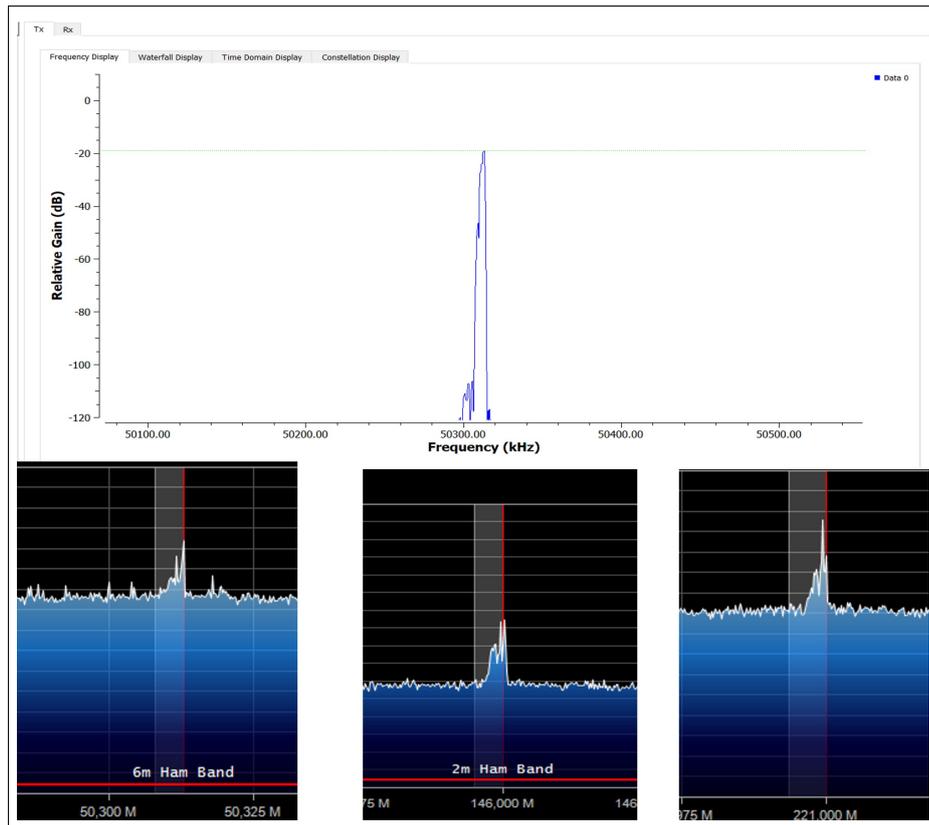
Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024



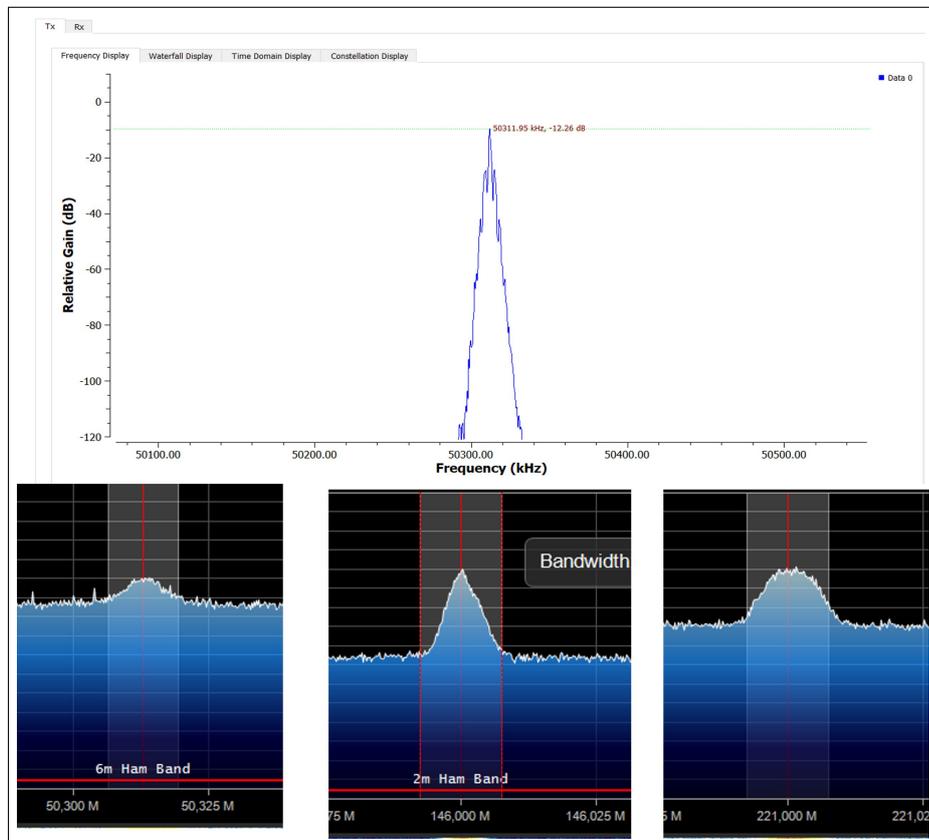
**Ilustración 4-91:** Transmisión y recepción DSB-SC en el Punto 4  
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024



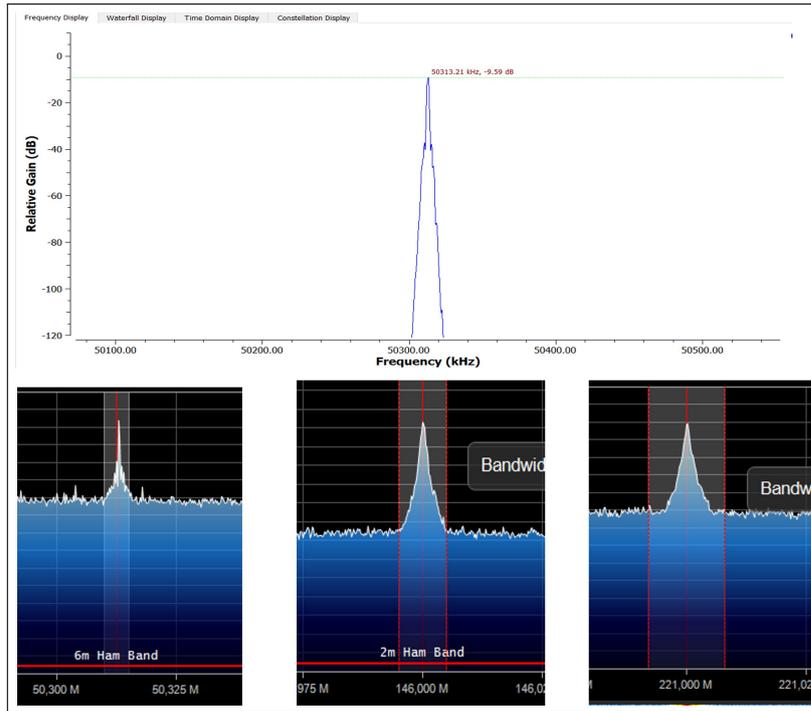
**Ilustración 4-92:** Transmisión y recepción USB en el Punto 4  
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024



**Ilustración 4-93:** Transmisión y recepción LSB en el Punto 4  
 Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024

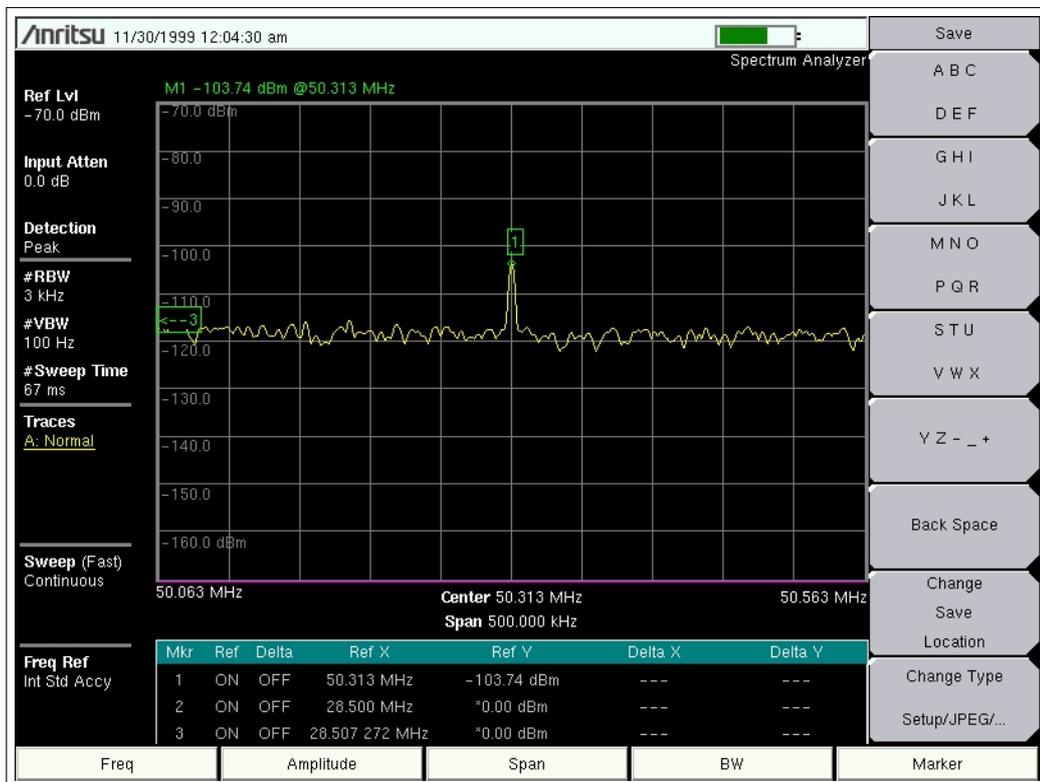


**Ilustración 4-94:** Transmisión y recepción WBFM en el Punto 4  
 Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024

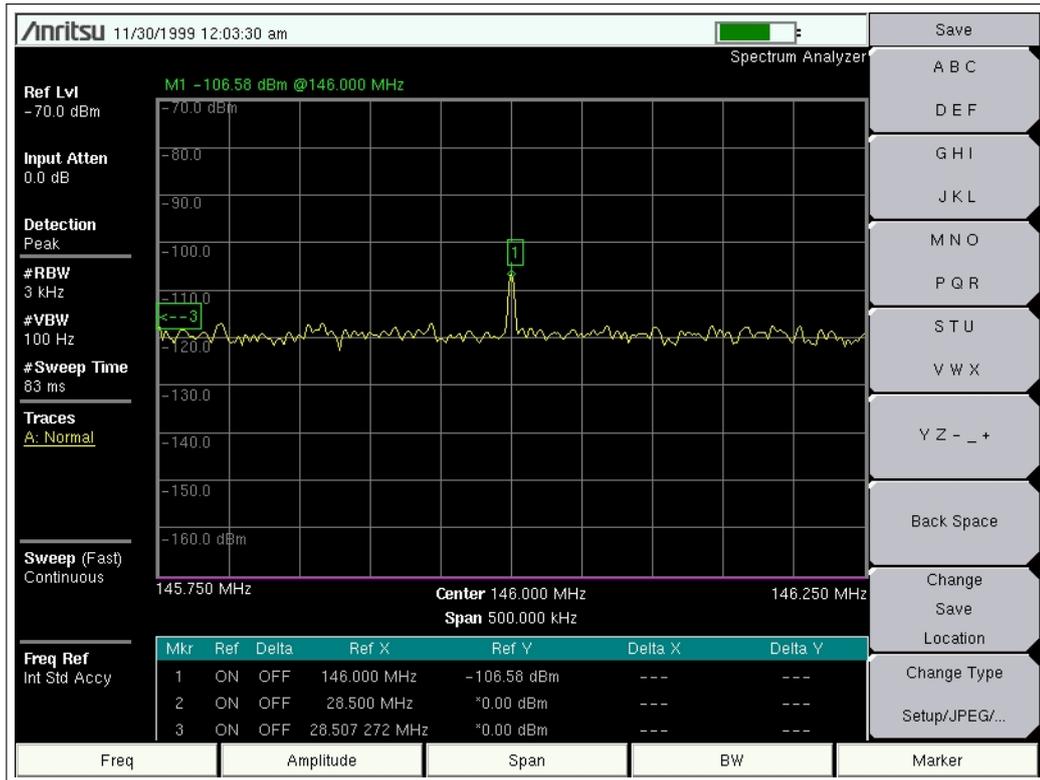


**Ilustración 4-95:** Transmisión y recepción NBFM en el Punto 4  
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024

- Resultados del analizador de espectros en el Punto 4

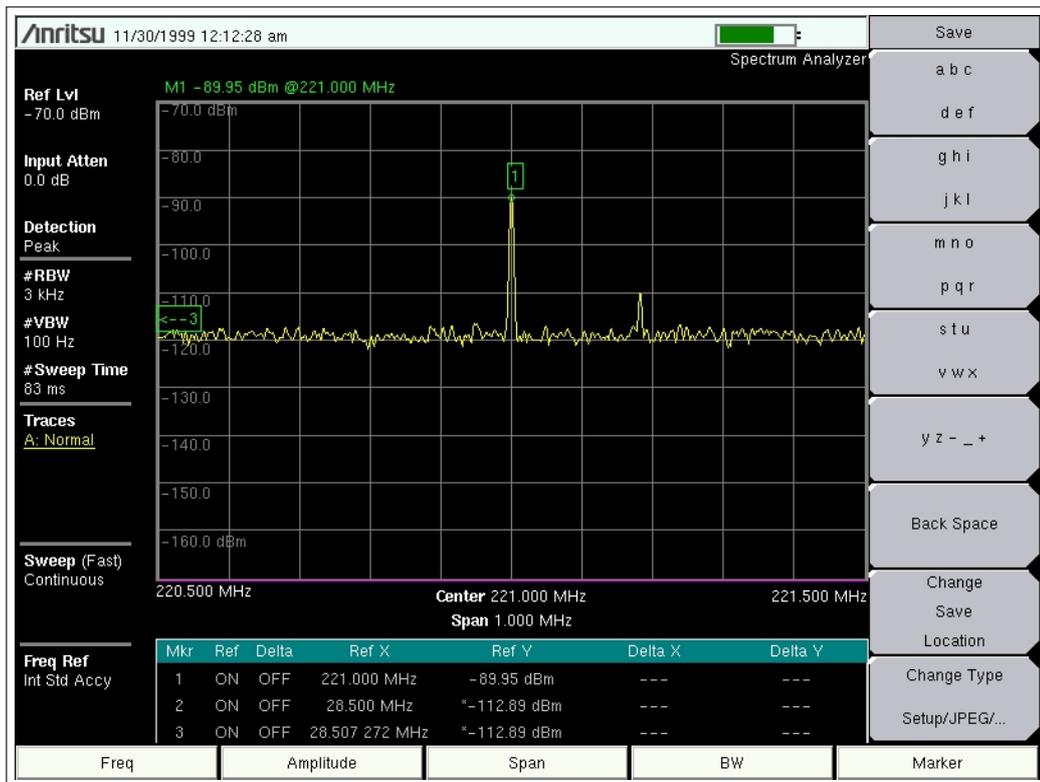


**Ilustración 4-96:** Espectro en la banda de 50,313 MHz en el Punto 4  
**Realizado por:** Caiza D. & Cofre K., 2024.



**Ilustración 4-97:** Espectro en la banda de 146 MHz en el Punto 4

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024



**Ilustración 4-98:** Espectro en la banda de 221 MHz en el Punto 4

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

Finalmente, se realizaron las pruebas con el analizador de espectros en el punto 4, el sitio de mediciones se observa en el Anexo Q-3. A partir del envío de una portadora en cada banda de operación para VHF se obtienen los siguientes resultados; en la Ilustración 4-96 se observa que para la banda de 50,313 MHz, se obtiene un valor de -103,74 dBm. En la Ilustración 4-97, se tiene un valor de -106,56 dBm, correspondiente a la banda de 146 MHz. La respuesta final se observa en la Ilustración 4-98, donde se obtuvo un valor de -89,95 dBm, dejando claro que en esta banda se destaca mejor. En este punto, se abarca una distancia de 1,62 km. Cabe mencionar que, de acuerdo a las simulaciones explicadas en la 4.1.3.4, existe una mejora en el entorno real debido a que en el sistema de simulación, el enlace en ese punto era deficiente en las tres bandas.

Después del análisis realizado en los 4 puntos en la ciudad de Riobamba, se concluye que existen respuestas esperadas de acuerdo a las condiciones de operación. Es notable la diferencia entre el entorno de simulación y el entorno real. Cada uno de los enlaces se llevó a cabo en un ambiente soleado, y los resultados obtenidos, tanto con el dispositivo RTL como con el analizador de espectros, son casi similares. El RTL-SDR destaca mejor por ser un dispositivo diseñado específicamente para la recepción de señales con niveles muy bajos de potencia.

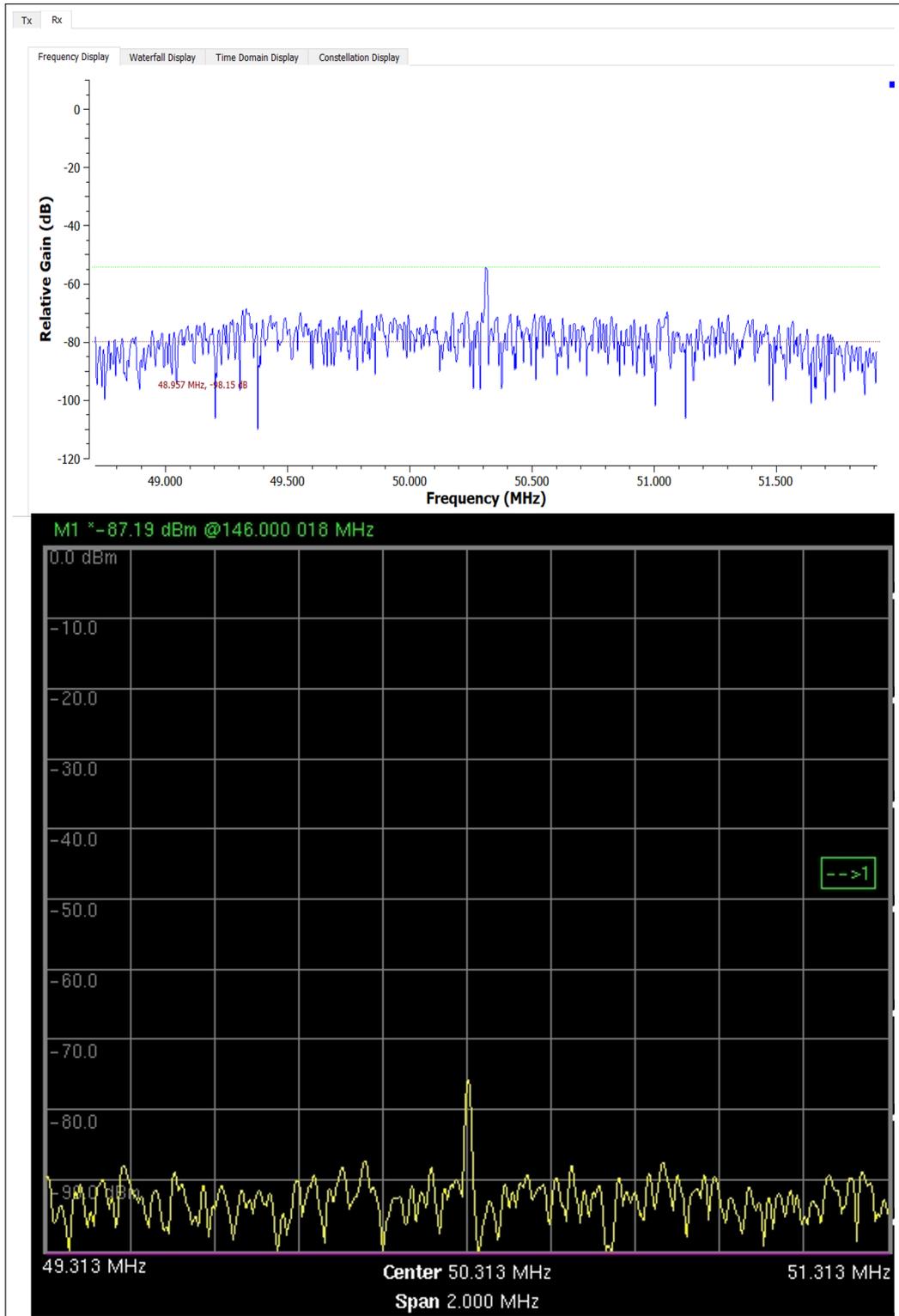
#### ***4.2.9 Pruebas de cobertura en línea de vista directa en la banda VHF***

Para las pruebas con línea de vista directa, se realizaron pruebas de recepción con GNU RADIO y el analizador de espectros. Se envió una portadora a cada frecuencia de operación del sistema VHF, el punto de recepción se muestra en la Ilustración 3-66 y el Anexo R.

En la Ilustración 4-99, se presenta el espectro recibido en GNU RADIO y el analizador de espectros, con un valor aproximado de potencia de -78 dBm. Para la banda de 146 MHz, la Ilustración 4-100 muestra el espectro con una potencia registrada de -81,30 dBm según el analizador de espectros. Finalmente, para el enlace en la banda de 221 MHz, se obtiene un resultado de potencia de -87.36 dBm.

De acuerdo a los resultados, se evidencia que el sistema VHF funciona de forma óptima, elevando el nivel de potencia de recepción en comparación al análisis sin línea de vista directa. Cabe resaltar que la prueba realizada abarca una distancia de 2,93 km.

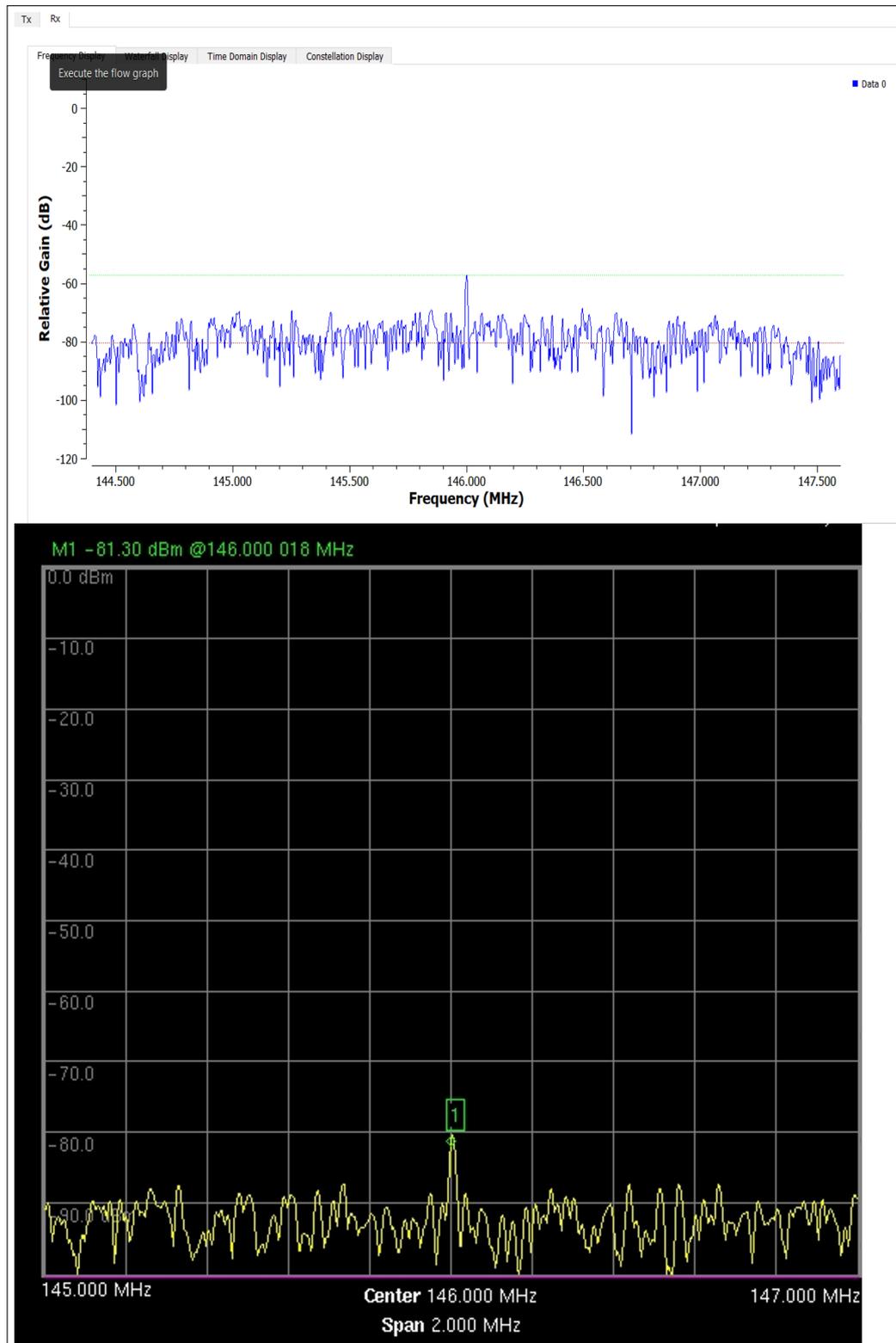
#### 4.2.9.1 Banda de 50,313 MHz



**Ilustración 4-99:** Recepción con LOS en 50,313 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

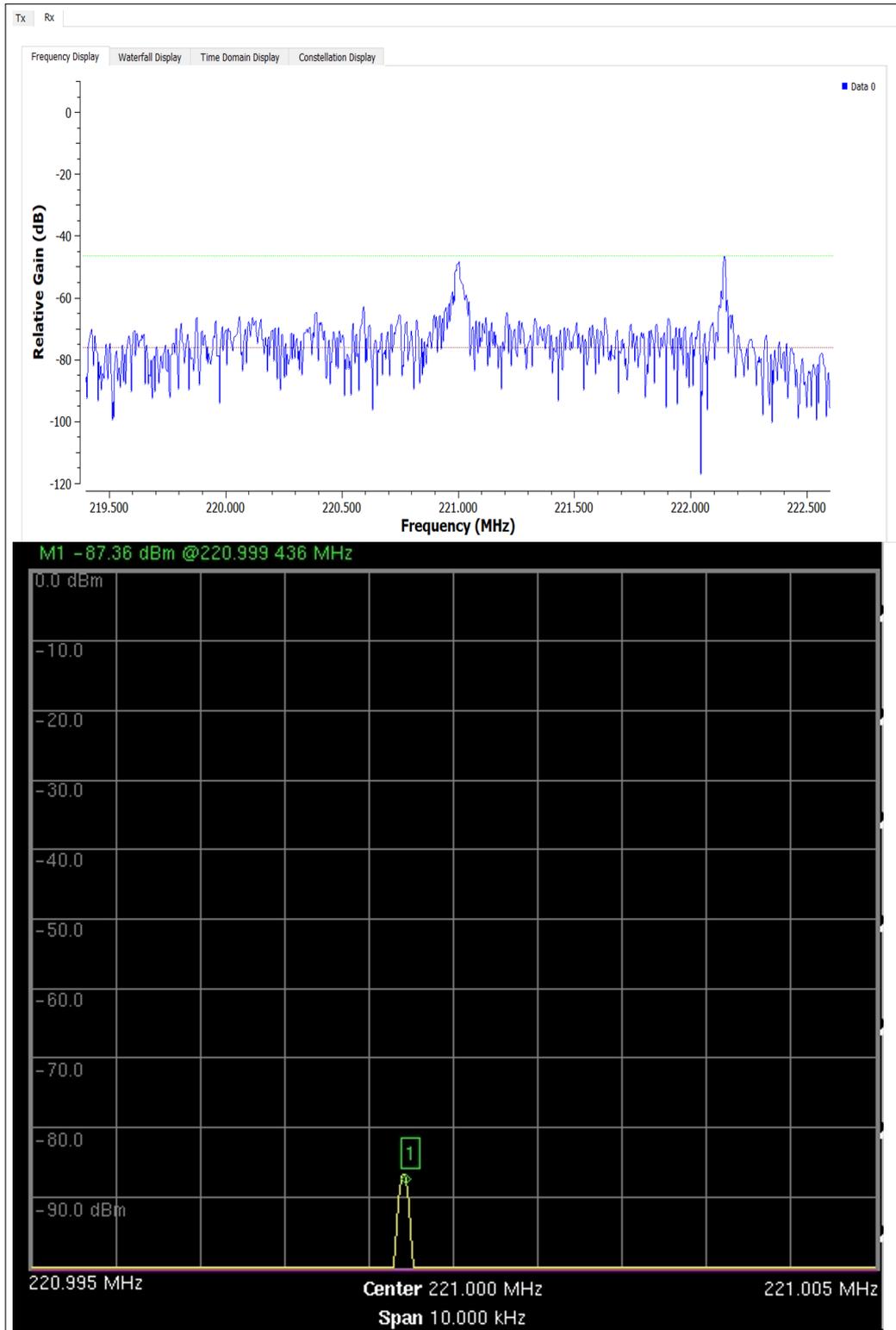
#### 4.2.9.2 Banda de 146MHz



**Ilustración 4-100:** Recepción con LOS en 146 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

### 4.2.9.3 Banda de 221MHz



**Ilustración 4-101:** Recepción con LOS en 221 MHz

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

#### 4.2.10 Resultados del analizador de espectros en cobertura VHF

En la Tabla 4-9 se observa los resultados obtenidos en cada una de las mediciones de potencia realizada con el analizador de espectros, en el primer caso es decir sin Línea de vista directa, la tabla tiene parámetros como la frecuencia de operación los puntos de medición y la distancia del enlace desde la estación transmisora hasta el punto de recepción.

Para el segundo escenario que involucra línea de vista directa se puede observar cada uno de los parámetros en la Tabla 4-8.

**Tabla 4-8:** Resultados del Analizador de espectros en VHF: NLOS

Pruebas de cobertura sin Línea de Vista Directa				
Banda de operación (MHz)	Puntos de Prueba			
	Punto 1 (1,534 km)	Punto 2 (1,70 km)	Punto 3 (1,68 km)	Punto 4 (1,62 km)
	Pdr (dBm)	Pdr (dBm)	Pdr (dBm)	Pdr (dBm)
50,313	-118,24	-117,97	-111,94	-103,74
146	-100,28	-109,55	-115,92	-106,58
221	-93,2	-112,74	-112,6	-89,95

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

**Tabla 4-9:** Resultados del Analizador de espectros en VHF: LOS

Banda de Operación (MHz)	Pruebas de cobertura con Línea de Vista
	LANGOS (2,93 km)
	Pdr (dBm)
50,313	-87,19
146	-81,3
221	-87,36

Realizado por: Caiza D. & Cofre K., 2024.

Se concluye que el sistema tiene un mejor rendimiento en el segundo escenario, y en este caso la banda de 50,313 MHz tiene un mejor desempeño, debido a que su nivel de potencia supera a las bandas de 146 y 221 MHz, las mediciones realizadas se pueden observar en el Anexo R.

#### **4.2.11 *Discusión de resultados***

La implementación de la estación de radioaficionados, involucra conocimientos de Electrónica, Radio enlaces, Antenas, Circuitos, y otras áreas del conocimiento de la carrera de telecomunicaciones.

Los radioaficionados también pueden acoplarse a las nuevas tecnologías existentes como la Radio definida por software la cual brinda ventajas en procesamiento y en costos, debido a ello se diseñó un sistema transceptor a través de GNU RADIO que cuenta con modulaciones analógicas utilizadas por Radioaficionados.

Para el proceso de transmisión fue indispensable las etapas de amplificación tanto para la banda HF y VHF, dicha implementación hace que un dispositivo como el Hack RF One, abarque distancias considerables en su transmisión. Es importante conocer las características de los equipos, un ejemplo claro es el preamplificador utilizado en el sistema, dado que tiende a variar su funcionamiento óptimo dependiendo de la banda y modulación.

En la construcción del sistema Radiante se analizaron principalmente softwares de simulaciones que tengan un menor costo computacional. Gracias a investigaciones empíricas desarrolladas por otros Radioaficionados se pueden construir antenas con un funcionamiento óptimo. Para la construcción del sistema radiante es muy importante que todo el sistema cuente con un buen acoplamiento con el fin de obtener el mejor rendimiento en transmisión y recepción.

La ventaja de los softwares de simulaciones en cada área es muy importante, para el sistema, se realizaron simulaciones de cobertura en Radiomobile, con esto se obtienen resultados teóricos del comportamiento de todo el sistema, tanto en la banda HF y en la banda VHF.

Los equipos de medición son útiles para verificar la operación real de un sistema, a través de las mediciones realizadas a cada una de las antenas en el equipo VNA se obtuvieron los parámetros S11, en la cual las mediciones se asemejan a las simulaciones realizadas. Acerca del analizador de espectros portátil, es muy útil para conocer la potencia con la que se recepta una señal en un punto específico. Mediante cada una de las mediciones realizadas con el analizador de espectros se comprobó la existencia de cobertura a distintos puntos.

#### 4.2.12 Costo

En este apartado, se detalla el costo de la elaboración, desarrollo e implementación de equipos para formar una Estación de Radioaficionados que se ha establecido en el edificio modular de Electrónica y Telecomunicaciones de la ESPOCH. Las siguientes Tablas proporcionan el costo de cada uno de los elementos utilizados para la implementación de la estación de radioaficionados.

##### 4.2.12.1 Estudio técnico e implementación

En la Tabla 4-10 se describe el costo por el estudio técnico e implementación de la estación de radioaficionados.

**Tabla 4-10:** Costo de Estudio Técnico e Implementación

Concepto	Coste
Estudio Técnico	\$5000,000
Mano de Obra	\$1000,00
Total	\$6000,00

Realizado por: Caiza D. & Cofre C., 2024.

##### 4.2.12.2 Sistema de acoplamiento de entrada y salida de voz

En la Tabla 4-11 se detalla los dispositivos de acoplamiento de entrada y salida de voz.

**Tabla 4-11:** Costo de dispositivos de acoplamiento de entrada y salida de voz

Equipos	Cantidad	Costo
Micrófono ERZA-MP03	1	\$18,00
Parlante Genius	1	\$30,00
Adaptador de Audio y Micrófono	1	\$5,00
Adaptador Hub 5 puertos USB	1	\$15,00
Total		\$68,00

Realizado por: Caiza D. & Cofre C., 2024.

##### 4.2.12.3 Sistema Transceptor

En la Tabla 4-13 se detalla los equipos utilizados para el desarrollo del sistema transceptor.

**Tabla 4-12:** Costo de dispositivos para el sistema Transceptor

<b>Dispositivos y materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
Software GNU Radio	1	Gratuito
HackRF One	1	\$360,00
RTL-SDR V4	1	\$40,00
Computador	1	\$1000,00
Total		\$1400,00

Realizado por: Caiza D. & Cofre C., 2024.

#### 4.2.12.4 Sistema de Amplificación

En la Tabla 4-13 se detalla los costos de los elementos utilizados para el sistema de amplificación.

**Tabla 4-13:** Costo del Sistema de Amplificación

<b>Dispositivos y materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
Pre Amplificador	1	\$12,87
Módulo amplificador lineal LDMOS	1	\$274,04
Disipador de Calor: Heatsink DX-15	1	\$41,20
Filtro Pasa Bajas	1	\$205,99
Fuente de 48 V	1	\$60,00
Fuente de 12 V	2	\$10,00
Soporte MDF	1	\$40,00
Ventilador de aire	3	\$24,00
Total		\$668,10

Realizado por: Caiza D. & Cofre C., 2024.

#### 4.2.12.5 Sistema radiante

En la Tabla 4-14 se detalla los costos de cada uno de los elementos utilizados para la construcción del sistema radiante.

**Tabla 4-14:** Costo de elementos que conforman el sistema radiante

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste</b>
Conmutador CA-201	1	\$45,00
Cable Coaxial CNT-400	40m	\$200,00
Cable Coaxial RG6	10 m	\$7,50
Cable Coaxial RG58	15 m	\$26,25
Conector PL-259 macho	3	\$27,00
Transición PL-259 macho a SMA macho	2	\$18,00
Transición PL-259 hembra a SMA hembra	2	\$18,00
Antena Delta Loop para HF	1	\$200,00
Antena Dipolo para HF	1	\$60,00
Antena Cuadra-Cúbica para VHF	1	\$100,00
Antena Dipolo Extensible para VHF	1	\$20,00
Hilo Nailon	200 m	\$3,50
Alambre Galvanizado	60 m	\$4,50
Silicona	2	\$9,00
<b>Total</b>		<b>\$738,75</b>

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre C., 2024.

#### 4.2.12.6 Costo total de la implementación de la estación de radioaficionados

En la Tabla 4-15

**Tabla 4-15:** Costo total de la implementación de la estación de radioaficionados

<b>Concepto</b>	<b>Coste</b>
Estudio técnico e implementación	\$6000,000
Sistema de acoplamiento de entrada y salida de voz	\$68,00
Sistema transceptor	\$1400,00
Sistema de amplificación	\$668,10
Sistema radiante	\$738,75
<b>Total</b>	<b>\$8874,85</b>

**Realizado por:** Caiza D. & Cofre C., 2024.

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Se implementó una estación de radioaficionados en las instalaciones de la carrera de telecomunicaciones a través de etapas principales como, el sistema de acoplamiento de entrada y salida de audio, el sistema de control, sistema de amplificación y el sistema radiante.

Para el análisis de la normativa vigente para la concesión de frecuencias del espectro radioeléctrico, se llevaron a cabo reuniones con el equipo de ARCOTEL. Durante estas reuniones, se recibió asistencia administrativa. Además, se compartió información sobre la operación de un sistema de radioaficionados en Ecuador

Se diseño e implementó un sistema transceptor que opera en las bandas de 28,5 MHz, 50,313 MHz, 146 MHz y 221 MHz, la implementación de todo el sistema fue desarrollado en GNU RADIO a través del sistema operativo windows, en el cual se realizó una interfaz bastante amigable para el usuario.

Se realizó el diseño del sistema Radiante mediante dos procesos, simulación e implementación, en el cual los resultados obtenidos son los adecuados para la operación del sistema, para la etapa de amplificación se realizó un ensamblaje a través de módulos que permiten integrar etapas de amplificación y filtrado.

A través de las gestiones con las autoridades se logró apartar un lugar para el Club de Radioaficionados, en el lugar otorgado se realizó adecuaciones necesarias para el área de trabajo y funcionamiento de la estación.

Se comprobó el funcionamiento para la banda HF con un sistema de radiocomunicaciones Fijo Móvil, y para la banda VHF se realizaron pruebas en distintos puntos de la ciudad de Riobamba, los resultados obtenidos fueron los esperados, concluyendo de esta forma que la carrera de telecomunicaciones cuenta con una estación de Radioaficionados.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Para futuros proyectos de la estación de radioaficionados, sería esencial priorizar la realización de reuniones con las autoridades de la institución educativa y los servicios de ayuda comunitaria para establecer la estación desde una perspectiva de sistema de comunicaciones en caso de emergencias o catástrofes naturales.

Para el diseño del transceptor hay que tener claro los conceptos de procesamiento de la señal, debido a que es un punto importante que determinara la calidad, procesado y eficiencia de la señal tanto en transmisión como recepción. Esta etapa se podría mejorar si el sistema se construye con la finalidad de que sea full-duplex, para obtener una mejor interacción con las demás estaciones de Radioaficionados simultáneamente.

En el sistema de amplificación se podría mejorar si el ingreso de potencia del preamplificador es mas elevado y se lograría obtener grandes potencias, logrando ampliar el rango de cobertura de la estación y una mejor comunicación de la señal.

En el sistema radiante, se recomienda diseñar soportes que sean estables y de gran altura, además de construir las antenas con materiales conductores y resistentes a las condiciones del ambiente exterior. También se podría incorporar sistemas de automatización para monitorear y gestionar las antenas desde el Shack de radioaficionados.

## **GLOSARIO**

**AGC** Control automático de ganancia

**ARCOTEL** Agencia Regulacion y Control de las Telecomunicaciones

**AM** Modulación en Amplitud

**DSP** Procesador Digital de Señales

**DSB-SC** Modulación en Amplitud con Portadora Suprimida

**FM** Modulación en Frecuencia

**HF** High Frequency

**IARU** Unión Internacional de Radioaficionados

**LOT** Ley Orgánica de Telecomunicaciones

**LSB** Modulación de banda lateral inferior

**NBFM** Modulación de Frecuencia de Banda Estrecha

**PIRE** Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

**PRA** Potencia Radiada Aparente

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ARCOTEL.** *Otorgamiento y renovación de la licencia para el Servicio de Radioaficionados y Banda Ciudadana* [web]. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: <https://www.gob.ec/arcotel/tramites/otorgamiento/-renovacion/-licencia/-servicio/-radioaficionados-banda/-ciudadana/-0>
2. **ARCOTEL.** *PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS ECUADOR 2021* [En línea]. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: [https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/PNF-V.6.0\\_14-07-21\\_v.1.pdf](https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/PNF-V.6.0_14-07-21_v.1.pdf)
3. **ARCOTEL.** *RESOLUCIÓN 04-03-ARCOTEL-2021 EL DIRECTORIO DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES ARCOTEL* [En línea]. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2022/02/RESOLUCION-04-03-ARCOTEL-2021-signed-signed.pdf>
4. **BALANIS, Constantine.** *Antenna Theory Analysis and Design* [en línea]. 4ª ed. John Wiley & Sons, Inc., 2016. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: <https://www.wiley.com/en-gb/Antenna+Theory%3A+Analysis+and+Design%2C+4th+Edition-p-9781119178996>
5. **BALDEÓN, Rafael.** Estudio y análisis técnico del sistema nacional interconectado de comunicaciones en la banda de dos metros asignada a radioaficionados como red alterna de comunicaciones en eventos de emergencia. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería Electrónica en Redes y Comunicación de Datos. Quito-Sangolquí. 2016. págs. 2-176. [Consulta: 2024-01-25]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/11118>
6. **BHIDE, Jayu.** *Radioaficionados en la emergencia de Nepal 2015* [blog]. [Consulta: 25 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.ea1url.es/radioaficionados-en-la-emergencia-de-nepal-2015/>
7. **RUIZ, Fernando.** *El espectro electromagnético. Los efectos de la radiación no ionizante y como prevenirlos* [blog]. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: <https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/el-espectro-electromagnetico-los-efectos-de-la-radiacion-no-ionizante-y-como-prevenirlos/>
8. **CÁRDENAS, Adolfo.** *Antenas Cuad Cubica* [web]. [Consulta: 04 Marzo 2024]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/4460280/antenas-cuad-cubica>

9. **CHUA, Hanns; et al.** "Design and Implementation of a Low Cost Amateur Radio Unit for Cube Satellites". *IEEE Access* [en línea]. 2019. Págs. 1-6. [Consulta: 30 septiembre 2023]. doi: 10.1109/APACE47377.2019.9020892. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9020892/metrics#metrics>.
10. **COUCH, Leon.** *Sistemas de Comunicaciones Digitales y Analógico* [en línea]. 7ª ed. PEARSON EDUCACIÓN, 2008. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: [https://historico1.esPOCH.edu.ec/pluginfile.php/72063/mod\\_resource/content/1/Sistemas%20de%20comunicacion%20digital%20y%20anal%C3%B3gicos.pdf%7D](https://historico1.esPOCH.edu.ec/pluginfile.php/72063/mod_resource/content/1/Sistemas%20de%20comunicacion%20digital%20y%20anal%C3%B3gicos.pdf%7D)
11. **EA3CIW.** *El Dipolo Taller de construcción de antenas* [web]. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: <https://www.fediea.org/digiclub/dipolos.html%5C%2F10m%7D>
12. **ESPÍN, Sebastián.** Diseño, simulación e implementación de las antenas de transmisión, recepción y radioenlace de una estación de radioaficionado. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito-Ecuador. 2018. págs. 9-113. [Consulta: 2023-09-26]. Disponible en: <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/1969%7D>
13. **GARCÍA, Valdez.** Marco regulatorio nacional e internacional para la adquisición de frecuencias VHF-UHF para la operación de nano y microsatelites desarrollados en México. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. México. 2017. págs. 1-132. [Consulta: 2024-01-25]. Disponible en: [https://repositorio.unam.mx/contenidos/marco-regulatorio-nacional-e-internacional-para-la-adquisicion-de-frecuencias-vhf-uhf-para-la-operacion-de-nano-y-micr-158577?c=92XDgx&d=false&q=\\*&i=1&v=1&t=search\\_1&as=0%7D](https://repositorio.unam.mx/contenidos/marco-regulatorio-nacional-e-internacional-para-la-adquisicion-de-frecuencias-vhf-uhf-para-la-operacion-de-nano-y-micr-158577?c=92XDgx&d=false&q=*&i=1&v=1&t=search_1&as=0%7D)
14. **RABANOS, Hernan.** *Transmisión por radio* [en línea]. 1ª ed. Centro de Estudios Ramon Aareces S.A, 2008. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: [https://historico1.esPOCH.edu.ec/pluginfile.php/74913/mod\\_resource/content/2/Transmision-por-radio-Sexta-Edicion-H-Rabanos.pdf](https://historico1.esPOCH.edu.ec/pluginfile.php/74913/mod_resource/content/2/Transmision-por-radio-Sexta-Edicion-H-Rabanos.pdf)
15. **IARU.** *Terremotos y Tsunamis en Indonesia* [blog]. [Consulta: 23 Enero 2024]. Disponible en: <https://emergencias.ure.es/terremotos-y-tsunamis-en-indonesia/>
16. **KUSTRA, Ruben.** *El espectro Radioeléctrico* [blog]. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: [http://www.oas.org/en/citel/infocitel/2008/octubre/espectro\\_e.asp](http://www.oas.org/en/citel/infocitel/2008/octubre/espectro_e.asp)

17. **LASTER, Clay.** *Guía del Radioaficionado Principiante* [en línea]. 2ª ed. Marcombo, 1984. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xXzuWy3-HKoC&oi=fnd&pg=PR9&dq=laster+GUIA+DEL+RADIOAFICIONADO&ots=oW-i2GYJKL&sig=2FIMZlzo7-Cdw8Y-bvq\\_akKXeTI#v=onepage&q=laster%20GUIA%20DEL%20RADIOAFICIONADO&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xXzuWy3-HKoC&oi=fnd&pg=PR9&dq=laster+GUIA+DEL+RADIOAFICIONADO&ots=oW-i2GYJKL&sig=2FIMZlzo7-Cdw8Y-bvq_akKXeTI#v=onepage&q=laster%20GUIA%20DEL%20RADIOAFICIONADO&f=false)
18. **ARCOTEL.** *LU5YF Callsign Loopkup, QRZ Callsign Database* [web]. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: <https://www.qrz.com/db/LU5YF/?mlab=>
19. **ORDOÑEZ, L.** "Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico". *Dialnet* [en línea]. 2012. Págs. 17-31. [Consulta: 30 septiembre 2023]. DOI: 10.1109/APACE47377.2019.9020892. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5738106>
20. **MEHMET, Duman.** "RF Power Amplifier for Amateur Radio Applications". *IEEE Access* [en línea]. 2022. Págs. 1-3. [Consulta: Consulta: 24 Enero 2024]. DOI: 10.1109/SIU55565.2022.9864985. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9864985>
21. **UIT-D.** *ITU Radiocommunication Sector (ITU-R) At a Glance* [web]. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: <https://www.itu.int:443/en/ITU-R/information/Pages/default.aspx>
22. **ARCOTEL.** *Preguntas frecuentes ARCOTEL* [web]. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/1-preguntas-generales/>
23. **ARCOTEL.** *Requisitos para modificación de títulos habilitantes: Radioaficionados y Banda Ciudadana-ARCOTEL* [web]. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/requisitos-para-modificacion-de-titulos-habilitantes-radioaficionados-y-banda-ciudadana2/>
24. **UIT-D.** *UIT-D Cuestión 9/2 - Recomendación: Utilización eficaz del servicio de aficionados en la mitigación de catástrofes y las operaciones de socorro en caso de catástrofe* [web]. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: <https://www.itu.int/pub/D-STG-SG02.09.3/es>
25. **ORTIZ, Rafael.** DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES QUE OPERA EN LAS BANDAS UHF Y VHF DE UNA PLANTA DE TELEVISIÓN NACIONAL EN LAS CIUDADES: CARACAS, PUERTO LA CRUZ Y PUERTO ORDA. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Quito-Ecuador. 2017. págs. 1-30. [Consulta: 2024-01-30]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5738106>

26. **QUILLUPANGUI, Soraya.** *Los radioaficionados, un nexa entre damnificados, rescatistas y sus familias* [web]. [Consulta: 23 Enero 2024]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/tendencias/sociedad/radioaficionados-damnificados-rescatistas-familias-terremoto.html>
27. **RINALDO, Paul.** *Guía del Radioaficionado Principiante* [en línea]. 2ª ed. Marcombo, 1995. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=frr2fA0T3ssC&oi=fnd&pg=PA1&dq=GUIA+DEL+RADIOAFICIONADO&ots=Lxbe4ET9mI&sig=rzcM9GvPPYzhqD%20q0D02qJx5HfE#v=onepage&q=GUIA%20DEL%20RADIOAFICIONADO&f=false>
28. **RODRÍGUEZ, Alex.** Simulación de Aplicaciones con series trigonométricas de Fourier en sistemas de comunicaciones electrónicas. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Maestría). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Maestría en Telecomunicaciones. Ambato-Ecuador. 2021. págs. 1-161. [Consulta: 2024-01-28]. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/18272>
29. **SADURNÍ, J.** *Marconi y la primera transmisión por radio de la historia* [blog]. [Consulta: 05 noviembre 2023]. Disponible en: [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/marconi-y-primera-transmision-por-radio-historia\\_14204%7D](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/marconi-y-primera-transmision-por-radio-historia_14204%7D)
30. **SALAZAR, Jordi.** *Procesadores digitales de señal (DSP)* [En línea]. [Consulta: 05 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.um.es/documents/4874468/19345367/ssee-da-t04-01.pdf/20ed49bb-90d7-4d1b-a5d5-bc5cad34fef%7D>
31. **SÁNCHEZ, Bravo.** Radioafición en Colombia, estado actual y proyección. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Licenciatura). Universidad Pedagógica Nacional. Colombia. 2018. págs. 1-164. [Consulta: 2024-01-30]. Disponible en: <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/1969>
32. **SDRANGEL.** *SDRSharp - Guía de usuario* [web]. [Consulta: 27 Febrero 2024]. Disponible en: <https://www.sdrangel.org/>
33. **ROMANI, Paolo.** *SDRSharp - Guía de usuario* [web]. [Consulta: 27 Febrero 2024]. Disponible en: [https://airspy.com/downloads/SDRSharp\\_Guia\\_v2.2\\_ESP.pdf](https://airspy.com/downloads/SDRSharp_Guia_v2.2_ESP.pdf)
34. **SOLARES, Ruben.** Instalación de una estación base camino a Viacha III LP1135. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Licenciatura). Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Tecnología, Carrera de electrónica y telecomunicaciones. Bolivia. 2018. págs. 1-131. [Consulta: 2024-01-25]. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/18272>

35. **GITHUB**. *rtl-sdr spectrum analyzer* [web]. [Consulta: 27 Febrero 2024]. Disponible en: <https://github.com/pavels/spektrum>
36. **NIEVA D; Sanabria, J**. SISTEMA DE COMUNICACIÓN SDR PARA MODULACIÓN PSK Y QAM. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). Universidad Autónoma de occidente, Facultad de Ingeniería, Departamento de automática y electrónica, Programa de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicacaiones. Santiago de Cali. 2018. págs. 1-112. [Consulta: 2024-01-30]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/0e194d3c-101c-4ad4-b2e3-7f6f8e8bdd95/content>
37. **TAPA, Carlos**. Implementación de un arreglo de antenas Yagi para mejorar la eficiencia en un enlace punto a punto con radios RF digitales entre Mariscal Sucre y Lasso en el rango de 915 a 928 MHz. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). UDLA. Quito-Ecuador. 2019. págs. 1-308. [Consulta: 2024-01-30]. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11579>
38. **TINOCO, Alexis**. Diseño, análisis, simulación y construcción de una red de antenas Vivaldi impresa para la banda de frecuencias de VHF - UHF. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Quito-Ecuador. 2020. págs. 1-115. [Consulta: 2024-01-30]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/22397/1/T-ESPE-043750.pdf>
39. **TOMASI, Wayne**. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* [en línea]. 4ª ed. PEARSON EDUCACIÓN, 2003. [Consulta: 24 Enero 2024]. Disponible en: [https://historico1.esPOCH.edu.ec/pluginfile.php/72070/mod\\_resource/content/2/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicic3b3n.pdf](https://historico1.esPOCH.edu.ec/pluginfile.php/72070/mod_resource/content/2/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicic3b3n.pdf)

## ANEXOS

### ANEXO A: CREACIÓN Y ESTABLECIMIENTO DEL RADIO CLUB FIE-ESPOCH: REGLAMENTO DEL CLUB, AVAL ACADÉMICO, DIRECTIVA Y QUÓRUM

- Reglamento del Radio Club y Aval Académico



A-1: Quórum del Radio Club FIE-ESPOCH



A-2: Directiva del Radio Club FIE-ESPOCH

**ANEXO B: SOCIALIZACIÓN EN ARCOTEL PARA LA CONCESIÓN DEL TÍTULO HABILITANTE DE RADIOAFICIONADO**



**B-1:** Socialización entre Autoridades de la ESPOCH-FIE y la ARCOTEL



**B-2:** Representantes de la ESPOCH, Radio Club FIE-ESPOCH y ARCOTEL

## ANEXO C: ADECUAMIENTO DEL RADIO CLUB FIE-ESPOCH



**C-1:** Adecuamiento del espacio designado para la Estación de Radioaficionados



**C-2:** Vista Final del Adecuamiento del espacio para la Estación de Radioaficionados

**ANEXO D: VISITA DE AUTORIDADES DE ARCOTEL A LAS INSTALACIONES DEL RADIO CLUB FIE-ESPOCH: INSPECCIÓN DE FUNCIONAMIENTO**

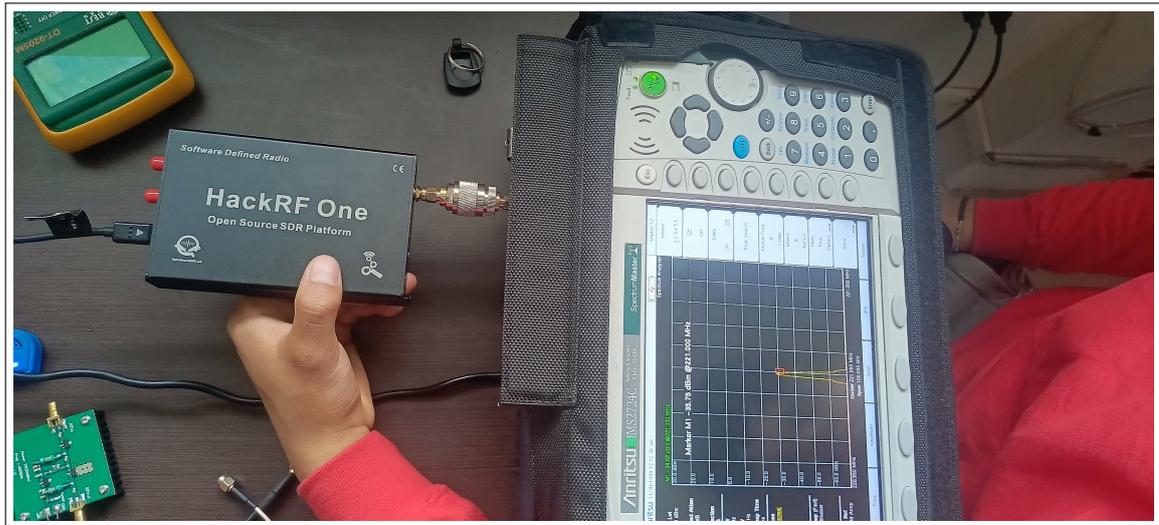


**D-1:** Demostración del funcionamiento de la Estación de Radioaficionados a las autoridades de la ARCOTEL



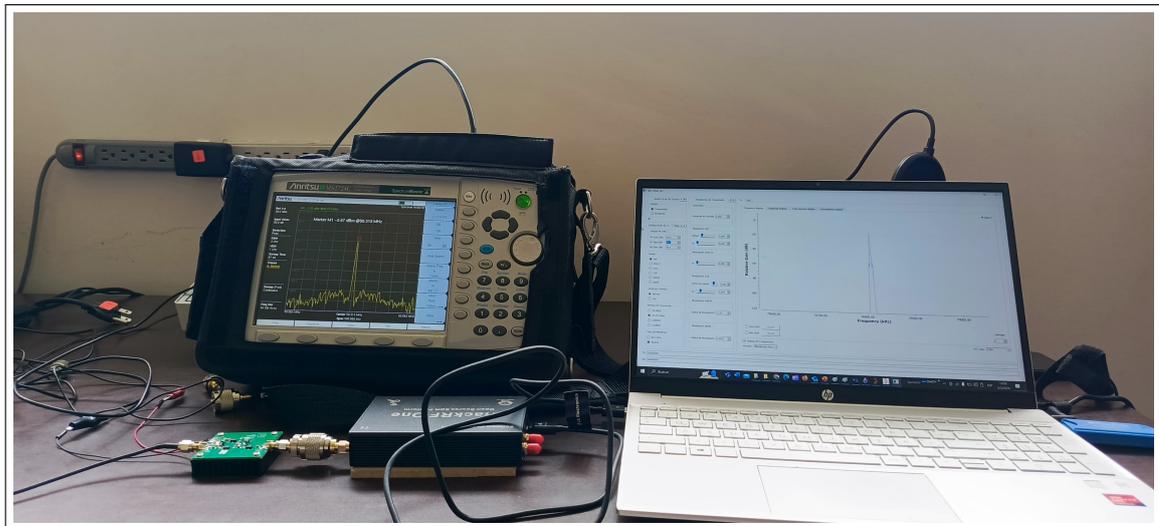
**D-2:** Autoridades de la ARCOTEL y del Radio Club FIE-ESPOCH

## ANEXO E: POTENCIA DEL HACKRF ONE



**E-1:** Medición de potencia del SDR - HACKRF ONE con el analizador de espectros ANRITSU

## ANEXO F: POTENCIA DEL HACKRF ONE CON PREAMPLIFICADOR

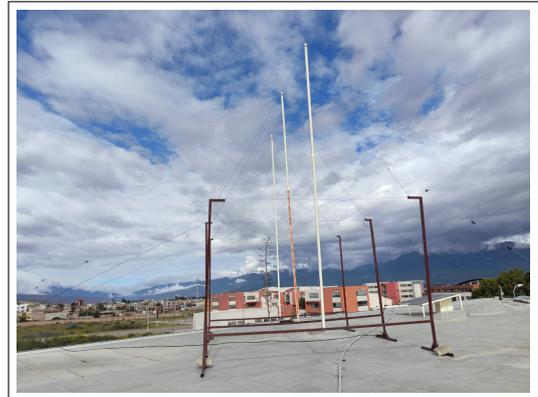


**F-1:** Medición de potencia del SDR - HACKRF ONE + Preamplificador con el analizador de espectros ANRITSU

## ANEXO G: INSTALACIÓN Y RESULTADO DE ANTENA DELTA LOOP

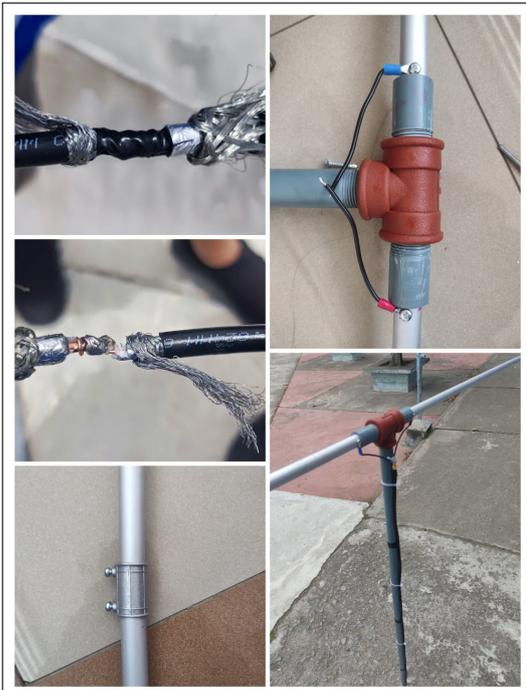


**G-1:** Proceso de instalación de antena DELTA LOOP sobre la loza del Edificio Modular de Electrónica y Telecomunicaciones



**G-2:** Antena DELTA LOOP

## ANEXO H: CONSTRUCCIÓN Y RESULTADO DE ANTENA DIPOLO



**H-1:** Proceso de construcción de antena DIPOLO



**H-2:** Antena DIPOLO

## ANEXO I: INSTALACIÓN Y RESULTADO DE ANTENA CUADRA-CÚBICA

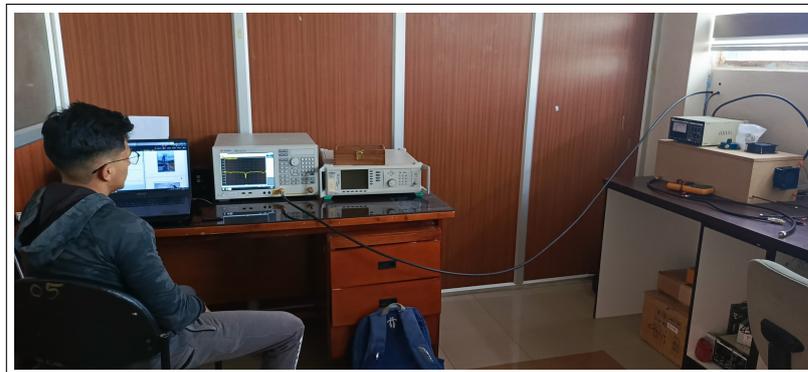


**I-1:** Proceso de instalación de antena CUADRA-CÚBICA sobre la loza del Edificio Modular de Electrónica y Telecomunicaciones



**I-2:** Antena CUADRA-CÚBICA

## ANEXO J: MEDICIÓN DEL PARÁMETRO S11 PARA LA ANTENA DELTA LOOP a 28,5 MHz



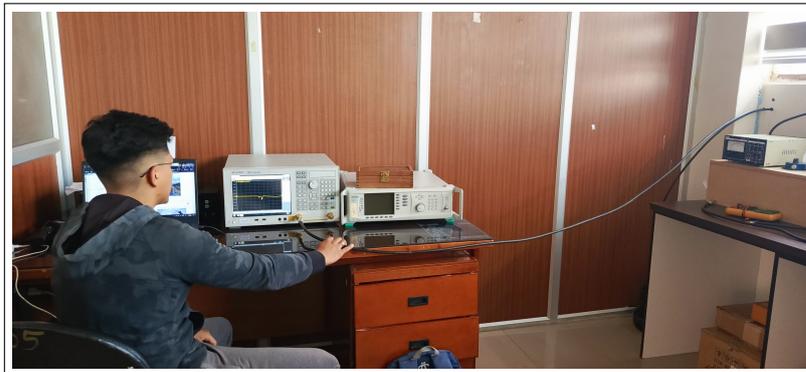
**J-1:** Medición de coeficiente de reflexión de la Antena DELTA LOOP

## ANEXO K: MEDICIÓN DEL PARÁMETRO S11 PARA LA ANTENA DIPOLO a 28,5 MHz



**K-1:** Medición de coeficiente de reflexión de la Antena DIPOLO

**ANEXO L: MEDICIÓN DEL PARÁMETRO S11 PARA LA ANTENA CUADRA-CÚBICA EN 50,313 MHz**



**L-1:** Medición de coeficiente de reflexión de la Antena Cuadra-Cúbica a 50,313 MHz

**ANEXO M: MEDICIÓN DEL PARÁMETRO S11 PARA LA ANTENA CUADRA-CÚBICA EN 146 MHz**



**M-1:** Medición de coeficiente de reflexión de la Antena Cuadra-Cúbica a 146 MHz

**ANEXO N: MEDICIÓN DEL PARÁMETRO S11 PARA LA ANTENA CUADRA-CÚBICA EN 221 MHz**



**N-1:** Medición de coeficiente de reflexión de la Antena Cuadra-Cúbica a 221 MHz

**ANEXO Ñ: ESTACIÓN DE RADIOAFICIONADOS IMPLEMENTADA**



**Ñ-1:** Estación (SHACK) de Radioaficionados Implementada en la ESPOCH

**ANEXO O: RECEPCIÓN HF EN LOS CERROS CACHA, PUNTO MEDIO Y SAN FRANCISCO**



**O-1:** Medición en la Banda HF en el Cerro Cacha



**O-2:** Medición en la Banda HF en el Punto Medio



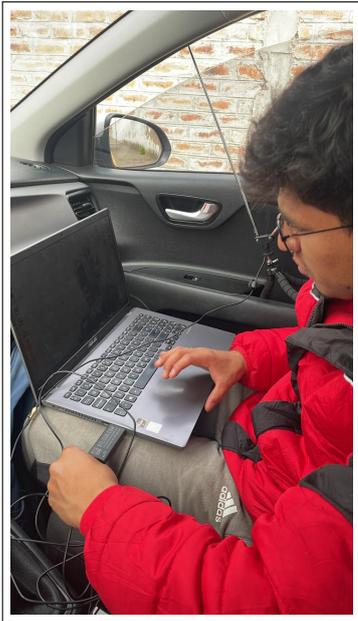
**O-3:** Medición en la Banda HF en el Cerro San Francisco

**ANEXO P: RECEPCIÓN VHF EN EL PUNTO 1**



**P-1:** Medición en la Banda VHF en el PUNTO 1

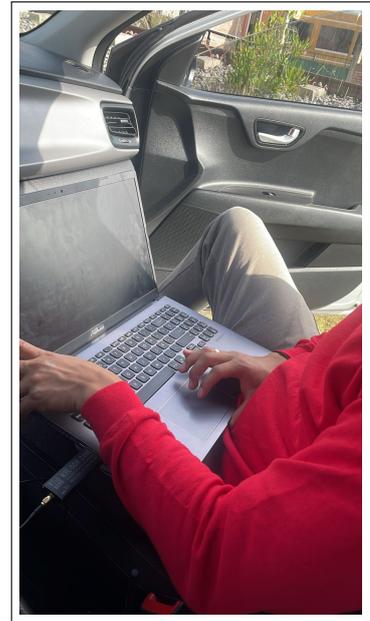
**ANEXO Q: RECEPCIÓN VHF EN LOS PUNTOS 2, 3 y 4**



**Q-1:** Medición en la Banda VHF en el PUNTO 2



**Q-2:** Medición en la Banda VHF en el PUNTO 3



**Q-3:** Medición en la Banda VHF en el PUNTO 4

**ANEXO R: RECEPCIÓN VHF EN LANGOS**

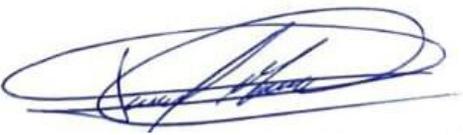


**R-1:** Medición en la Banda VHF en LANGOS



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 09/04/2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Dorian Adonis - Caiza Vargas y Kevin Gabriel - Cofre Valiente
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Informática y Electrónica
<b>Carrera:</b> Telecomunicaciones
<b>Título a optar:</b> Ingeniero en Telecomunicaciones
 <b>Ing. David Moreno Aviles, PhD.</b> <b>Director del Trabajo de Titulación</b>
 <b>Ing. Hugo Moreno Aviles, PhD.</b> <b>Asesor del Trabajo de Titulación</b>