REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Diseño e implementación de una plataforma portátil de medición de radiofrecuencia, diagrama de radiación electromagnética y predicción de potencia de estaciones emisoras mediante antenas pasivas, Software Defined Radio y Raspberry pi.

Tesis presentada por el Bachiller:

Coaguila Torres, Bryan Fausto

ORCID: 0009-0008-4903-3985

para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

con Especialidad en Telecomunicaciones

Asesor:

Maestro Urrutia Espinoza, Mario William

ORCID: 0000-0002-8520-2909

Arequipa – Perú

2025

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA ELECTRONICA

CON ESPECIALIDAD EN TELECOMUNICACIONES

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 06 de Junio del 2025

Dictamen: 014726-C-EPIE-2025

Visto el borrador del expediente 014726, presentado por:

2015801691 - COAGUILA TORRES BRYAN FAUSTO

Titulado:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA PORTÁTIL DE MEDICIÓN DE RADIOFRECUENCIA, DIAGRAMA DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y PREDICCIÓN DE POTENCIA DE ESTACIONES EMISORAS MEDIANTE ANTENAS PASIVAS, SOFTWARE DEFINED RADIO Y RASPBERRY PI.

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO ELECTRONICO CON ESPECIALIDAD EN TELECOMUNICACIONES

29267682 - RODRIGUEZ GONZALES PEDRO ALEX
DICTAMINADOR

29364669 - QUISPE YAUYO JUAN MEDARDO
DICTAMINADOR

29410027 - SULLA TORRES RAUL RICARDO
DICTAMINADOR

Diseño e implementación de una plataforma portátil de medición de radiofrecuencia, diagrama de radiación electromagnética y predicción de potencia de estaciones emisoras mediante antenas pasivas, Soft

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%	12%	2%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	documentop.com Fuente de Internet	<1%
4	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
5	aprenderly.com Fuente de Internet	<1%
6	2020.readthedocs.io Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1%
8	www.itu.int Fuente de Internet	<1%
9	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1%
11	www.ptolomeo.unam.mx:8080	

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DEDICATORIA

A Dios, por concederme la vida, fortaleza y la sabiduría necesaria para continuar adelante incluso en los momentos más difíciles. Sin su voluntad, este logro no habría sido posible.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y los catedráticos que me formaron a lo largo de mi trayectoria universitaria, cuyo compromiso con la enseñanza y la excelencia dejó una huella imborrable en mi desarrollo profesional y personal. Su orientación, exigencia y ejemplo han sido fundamentales en la construcción de este logro.

A mis compañeros de carrera, con quienes compartí años de aprendizaje, retos y crecimiento. Gracias por su apoyo, amistad y por ser parte esencial de esta etapa tan significativa en mi vida.

A mis padres, por ser el primer pilar de mi vida, por su amor incondicional, sacrificios y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mi hermano, por ser un ejemplo de fortaleza, determinación y crecimiento constante.

A mi abuelita, que permanece viva en mi memoria. Gracias por su paciencia infinita, cariño y ejemplo que sigue siendo una guía en mi vida.

A mi esposa, por su apoyo incansable, su paciencia y su fe en cada uno de mis proyectos. Este logro también es suyo.

Y a mi hija, mi mayor inspiración y alegría. Que este trabajo sea una semilla que, algún día, te impulse a luchar por tus sueños con determinación, amor y confianza en ti misma.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RESUMEN

En la presente investigación se tiene como objetivo diseñar e implementar una plataforma portátil para la medición y análisis de señales de radiofrecuencia emitidas por estaciones con antenas pasivas que muestren como se da sobre entornos reales la propagación electromagnética de estaciones emisoras. El sistema permite la captura de señales electromagnéticas en un rango de frecuencias determinado y configurable, facilitando la generación de patrones de radiación bidimensionales y el análisis de la distribución espacial de la potencia emitida, identificando factores ambientales que influyen en la propagación electromagnética, como la presencia de obstáculos, reflexiones y fenómenos de atenuación en escenarios reales.

Esta plataforma integra un receptor de Software Defined Radio (SDR) y una unidad de procesamiento Raspberry Pi, proporcionando una solución compacta y versátil para la adquisición, procesamiento y visualización de muestras. A través de un esquema de muestreo georreferenciado, las señales adquiridas se procesan mediante algoritmos, obteniendo métricas clave como la potencia recibida.

La metodología empleada incluye la toma de muestras en entornos urbanos y rurales, permitiendo el análisis de la propagación electromagnética en condiciones reales. Adicionalmente, la plataforma incorpora herramientas para la estimación de la potencia de estaciones emisoras, permitiendo elegir modelos de atenuación y técnicas de interpolación.

También se contempla el desarrollo de antenas pasivas para pruebas, analizando el patrón de radiación en simulaciones y mediciones experimentales. Evaluación de parámetros como VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) y coeficiente de reflexión (S11), optimizando el diseño de la antena para maximizar directividad y eficiencia en recepción de señales.

Desde un punto de vista computacional, la plataforma se ha optimizado para operar con bajo consumo energético, asegurando su autonomía en escenarios de medición de campo prolongados. Se ha desarrollado una interfaz de usuario que permite la visualización en tiempo real de las mediciones adquiridas, posibilitando un análisis detallado de los patrones de radiación y la propagación de la señal en función de la ubicación geográfica.

Palabras clave:

Propagación electromagnética, Software Defined Radio, Patrón de radiación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

This research aims to design and implement a portable platform for measuring and analyzing radio frequency signals from stations with passive antennas. It shows electromagnetic wave propagation from transmitting stations in real environments. The system captures electromagnetic signals within a defined and configurable frequency range, enabling the generation of two-dimensional radiation patterns and the analysis of emitted power's spatial distribution. It also identifies environmental factors like obstacles, reflections, and attenuation that influence propagation in real-world scenarios.

This platform integrates a Software Defined Radio (SDR) receiver and a Raspberry Pi processing unit, offering a compact, versatile solution for data acquisition, processing, and visualization. Acquired signals are processed using algorithms via a georeferenced sampling scheme, yielding key metrics like received power.

The methodology involves sampling in urban and rural environments to analyze electromagnetic propagation under real conditions. Additionally, the platform includes tools for estimating transmitting station power, allowing users to choose between attenuation models and interpolation techniques.

The project also covers the development of passive antennas for testing, analyzing their radiation patterns through simulations and experimental measurements. Parameters such as VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) and reflection coefficient (S11) are evaluated to optimize antenna design for maximum directivity and reception efficiency.

From a computational perspective, the platform is optimized for low power consumption, ensuring extended field measurement autonomy. A user interface has been developed for real-time visualization of acquired measurements, enabling detailed analysis of radiation patterns and signal propagation based on geographical location.

Keywords:

Electromagnetic propagation, Software Defined Radio, Radiation pattern.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE

DEDICATORIA
RESUMEN
ABSTRACT
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
1. Identificación y descripción del problema 3
1.1 Situación actual 5
1.2 Situación deseada 6
2. Objetivos 6
2.1 Objetivo general 6
2.2 Objetivos específicos 6
3. Variables 7
3.1 Cuantitativas 7
3.2 Cualitativas 7
4. Alcances 8
5. Aportaciones 8
CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO TEÓRICO 10
1. Antecedentes de la Investigación 10
2. Base teórica 12
2.1 Campo Electromagnético 12
2.2 Ley de Coulomb 12
2.3 Leyes de Maxwell 13
2.3.1 Ley de Gauss para el campo eléctrico 14
2.3.2 Ley de Gauss para campo magnético 15
2.3.3 Ley de Faraday 15
2.3.4 Ley de Ampere-Maxwell 16
2.4 Ondas Electromagnéticas 18
2.5 Propagación de ondas en la materia 19
2.6 Espectro Radioeléctrico 25
2.7 Radiocomunicación y Radiación 27
2.7.1 Partes de un sistema de Radiocomunicación 27
2.7.2 Parámetros de Interés en un sistema de Radiocomunicación 28

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.8 Antenas 30
2.8.1 Tipos de antenas 30
2.8.2 Patrón de radiación 35
2.8.3 Características de las antenas 37
2.8.4 Parámetros de Scattering 41
2.8.5 Relación de Onda Estacionaria de Voltaje (VSWR) 43
2.9 Global Positioning System (GPS) 44
2.9.1 Efemérides 45
2.9.2 Almanaque 45
2.10. QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) 47
2.11 GLONASS (Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema) 47
2.12 BeiDou 48
2.13 SBAS (Satellite-Based Augmentation Systems) 49
3. Software y Herramientas 49
3.1 Dispositivo SDR 49
3.2 RTL2832 51
3.2.1 Ganancia configurable: 55
3.2.2 Bandwith: 56
3.2.3 Frecuencia central (Center Frequency) 58
3.3 Raspberry Pi 58
3.4 Raspbian 62
3.5 Python 3 63
3.6 PYRTLSDR 66
3.7 Módulo GPS M8N 67
3.8 Batería LIPO 69
3.8.1 Ventajas 70
3.8.2 Desventajas 70
3.8.3 Aplicaciones 70
3.8.4 Precauciones 71
3.9 Archivos CSV 72
3.9.1 Estructura y Formato 72
3.9.2 Aplicaciones y Usos Comunes 73
3.9.3 Desventajas y Consideraciones 73

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.10 JavaScript 75
3.10.1 Características Fundamentales 76
3.10.2 Evolución y Estándares 78
3.10.3 Frameworks y Biblioteca 80
3.10.4 Seguridad 82
3.11 React Framework 83
3.11.1 Características 84
3.11.2 Composición y Jerarquía de Componentes 86
3.11.3 Ventajas 87
3.11.4 Limitaciones y Desafíos 89
3.11.5 Ecosistema y Comunidad 89
3.12 Librerías 90
3.12.1 Serial 90
3.12.2 time 92
3.12.3 string 93
3.12.4 pynmea2 94
3.12.5 DictWriter 95
3.12.6 Pylab 96
3.12.7 Rtlsdr 97
3.12.8 Matplotlib 97
3.12.9 Math 98
3.12.10 numpy 99
3.12.11 cubicSpline 100
3.12.12 React Leaflet 104
3.13 SSH-2 (Secure Shell 2) 105
3.14 SFTP 106
3.15 Visual Studio Code 107
CAPÍTULO III METODOLOGÍA 110
1. Tipo de investigación 110
2. Métodos de investigación 110
3. Instrumentos y tecnología para recolección de datos 111
3.1 RTL 2832 Software-Defined Radio (SDR) 111
3.2 Raspberry Pi 3 Model B 111

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3 Módulo GPS + Compass (M8N) 111
3.4 Antenas específicas 111
3.5 Python 112
3.6 Raspbian 112
3.7 JavaScript 112
3.8 React 112
4. Procedimientos de recolección de datos 112
5. Procesamiento de datos 113
5.1 Transferencia de archivos 113
5.2 Procesamiento de señales 113
5.3 Análisis de patrones 114
5.4 Validación de datos y depuración 114
5.5 Almacenamiento de datos 114
5.6 Automatización y escalabilidad 115
6. Técnicas de análisis de datos 115
6.1 Interpolación de datos 115
6.2 Transformación de Fourier (FFT) 115
6.3 Filtrado de señales 116
6.4 Modelado del patrón de radiación 116
6.5 Análisis gráfico y representación polar 116
7. Validación de los datos 117
8. Limitaciones del estudio 118
CAPÍTULO IV DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN 120
1. Arquitectura del sistema 120
1.1 Descripción general 120
1.2 Diagrama de flujo 120
1.3 Diagrama de Conectividad 122
1.4 Diagrama electrónico 123
2. Selección de bandas de frecuencia a trabajar 125
3. Diagrama de Flujo 128
4. Cálculo de autonomía, requerimiento energético y dimensionamiento de batería 129
Pi State 129
Power consumption 129

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Idle 129
260 mA (1.4 W) 129
Ab -n 100 -c 10 (uncached) 129
480 mA (2.4 W) 129
400% CPU load (stress --cpu 4) 129
730 mA (3.7 W) 129
5. Diseño de Software 132
5.1 Arquitectura de software 132
5.1.1 Módulo de Adquisición de Datos (Raspberry Pi) 133
5.1.2 Módulo de Almacenamiento y Transferencia 134
5.1.3 Módulo de Visualización y Análisis (PC con React) 134
5.2 Interacción entre herramientas de software 136
5.3 Entorno de Desarrollo 137
5.4 Visual Studio Code como Entorno de Desarrollo integrado (IDE) 137
5.5 Compatibilidad y Requisitos del Sistema 140
5.6 Algoritmos 141
5.6.1. Configuración del SDR 141
5.6.2. Captura y Promedio de Potencia 142
5.6.3. Filtrado de Outliers 142
5.6.4. Promedio de potencia sin Outliers 142
5.6.5. Algoritmo de Obtención de Datos GPS 142
5.6.6. Escritura de CSV y almacenamiento de datos 143
5.6.7. Carga y procesamiento del archivo CSV 143
5.6.8. Cálculo de distancias geográficas 144
5.6.9. Predicción basada en distancias 145
5.6.10. Generación del gráfico polar 147
5.6.11. Interfaz de usuario 147
6. Implementación y programación de prototipo 148
6.1 Implementación física 148
6.2 Configuración y preparación de Raspberry Pi 149
6.2.1 Descarga de Raspbian 149
6.2.2 Formateo de Micro SD 150
6.2.3 Montar imagen en Micro SD 151

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6.2.4 Instalación de Raspbian 151
6.2.5 Actualización de Sistema Operativo 152
6.2.6 Instalación de Python 152
6.2.7 Instalación de librerías 152
6.2.8 Asignación de dirección IP fija para Raspberry 153
6.2.9 Configuración de acceso remoto mediante red local 154
6.3 Desarrollo de rutina de captura de muestras en RaspberryPi 155
6.3.1 Creación del script 155
6.3.2 Ancho de banda (Bandwith) 155
6.3.3 Tasa de muestreo (Sample Rate) 155
6.3.4 Frecuencia central (Center Frequency) 156
6.3.5 Ganancia (Gain) 157
6.3.6 Configuración de parámetros de SDR en Python 157
6.3.7 Conexión y configuración de módulo GPS en Python 157
6.3.8 Captura y procesamiento de muestras de potencia 158
6.3.9 Almacenamiento de datos en un archivo CSV 164
6.3.10 Interacción con usuario y estructura de bucle principal 165
6.3.11 Cierre y liberación de recursos 165
6.4 Implementación de Interfaz en React.js 166
6.4.1 Despliegue con Vite 166
6.4.2 Estructura del proyecto 166
6.4.3 Componentes del proyecto 167
6.4.4 Enrutamiento de componentes 168
6.4.5 Desarrollo de gráficos 170
6.5 Conversión de coordenadas para aproximación cartesiana 170
6.5.1 Modelo cartesiano básico 170
6.5.2 Limitaciones del modelo cartesiano 171
6.5.3 Adopción del modelo esférico con fórmula de Haversine 171
6.5.4 Cálculo del ángulo (Bearing) 171
6.6 Escalamiento de muestras de potencia 173
6.6.1 Modelo de propagación de Pérdida de Espacio Libre (FSPL) 173
6.6.2 Modelo de Okumura-Hata 174
6.6.3 Calibración para escalamiento 176

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6.6.4 Escalamiento con modelo de propagación Pérdida de Espacio Libre (FSPL) 177
6.6.5 Escalamiento con modelo de propagación de Okumura - Hata 178
6.6.6 Ordenamiento de muestras y valores calculados 180
6.7 Visualización de datos y resultados en tablas 181
6.8 Implementación de predicción de potencia 183
6.8.1 Predicción mediante FSPL 184
6.8.2 Predicción mediante Modelo de Okumura - Hata 185
6.9 Generación de patrón de radiación 186
6.10 Interpolación de muestras mediante Spline Cúbico 188
6.10.1 Implementación en código 189
6.11 Visualización geoespacial de datos 191
6.11.1 Conversión de datos y procesamiento: 191
6.11.2 Implementación en el mapa 192
7. Antenas 193
7.1 Diseño de antenas 193
7.1.1 Antena receptora 193
7.1.2 Antena transmisora Dipolo 196
7.1.3 Antena transmisora Yagi - Uda 197
7.2 Simulación de antenas 200
7.2.1 Antena Dipolo 430 MHz 200
7.2.2 Antena Yagi - Uda 430 MHz 204
7.3 Implementación de antenas 210
7.3.1 Antena Dipolo 430 MHz 211
7.3.2 Antena Yagi-Uda 430 MHz 212
CAPÍTULO V: PRUEBAS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES 214
1. Funcionamiento del prototipo desarrollado 214
1.1 Conexión automática a red inalámbrica 214
1.2 Conexión remota mediante SSH 215
1.3 Ejecución remota de Script en Raspberry Pi 216
1.4 Descarga de datos obtenidos 217
1.5 Procesamiento de datos en Interfaz desarrollada en React 218
1.5.2 Ingreso de coordenadas de origen de señal 218
1.5.3 Importación de documento en formato CSV 219

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.5.4 Modelos de propagación para escalamiento 219
1.5.5 Interpolación de data 220
1.5.6 Estimación de potencia a diferentes distancias 220
1.5.7 Tablas de data resultantes 221
1.5.8 Gráficos 222
1.5.9 Exportación de resultados 222
2. Metodología de pruebas 224
2.1 Prueba estática con antenas diseñadas 225
2.2 Prueba móvil con antenas diseñadas 225
2.3 Prueba móvil a estaciones locales emisoras de radiofrecuencia 226
3. Pruebas realizadas 227
3.1 Prueba a antena direccional Yagi-Uda diseñada 228
3.1.1 Prueba estática 228
3.1.2 Prueba móvil 233
3.1.3 Prueba móvil en ámbito urbano distancia media 238
3.1.4 Prueba móvil en ámbito urbano larga distancia 244
3.1.5 Prueba móvil en ámbito rural 248
3.2 Prueba de antena dipolo diseñada 253
3.2.1 Prueba estática 253
3.2.2 Prueba móvil 258
3.2.3 Prueba móvil a larga distancia en ámbito rural 263
3.3 Prueba a estación local de radiofrecuencia 102.3 FM 269
4. Conclusiones 279
5. Consideraciones adicionales 281
5.1 Precisión del sistema de posicionamiento GPS 281
5.2 Sensibilidad y comportamiento del receptor RTL SDR 281
5.3 Influencia de obstáculos físicos en la propagación de señal 282
5.4 Topografía del terreno como factor determinante 282
5.5 Aspectos éticos y regulatorios del monitoreo espectral 282
5.6 Posibles aplicaciones futuras 282
Referencias bibliográficas 283
Glosario de términos 292
Anexos 294

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Campos Electromagnéticos. 14
Figura 2: Flujo magnético 15
Figura 3: Ley de Faraday. 15
Figura 4: Ley de Ampere 16
Figura 5: Campos Electromagnéticos 16
Figura 6: Limaduras de hierro orientadas alrededor de un cable 17
Figura 7: Propiedades físicas que afectan la propagación electromagnética. 21
Figura 8: Reflexión de ondas en una superficie. 21
Figura 9: Refracción de Ondas al cambiar un medio. 22
Figura 10: Refracción y Reflexión total de ondas. 23
Figura 11: Respuesta de conductor/dieléctrico frente a frecuencia. 25
Figura 12: Antena dipolo optimizada para banda de 80m 31
Figura 13: Antena Flat Panel 32
Figura 14: Antena Yagi-Uda y sus partes. 32
Figura 15: Antena parabólica y sus partes 33
Figura 16: Antena Microstrip 34
Figura 17: Representación de tipos de Antenas 35
Figura 18: Representación de Patrones de radiación 37
Figura 19: Tipos de polarización de antenas y su propagación 39
Figura 20: Patrón polar de radiación 40
Figura 21: SDR compactos con conexión USB 50
Figura 22: RTL-SDR 2832U, case de aluminio 52
Figura 23: Componentes de Dongle SDR-RTL 2832U V 53
Figura 24: Diagrama de bloques Realtek RTL2832U 53
Figura 25: Partes de Raspberry Pi 3 Model B 60
Figura 26: Raspbian Desktop 63
Figura 27: Módulo GPS M8N con brújula 67
Figura 28: Ejemplo de archivo “.csv” 74
Figura 29: Ejemplo de definición de puerto serial COM3 91
Figura 30: Ejemplo de extracción de coordenadas empleando pynmea2.parse 94
Figura 31: Diagrama de flujo 120
Figura 32: Diagrama de conectividad prototipo 122

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 33: Diagrama electrónico del Proyecto 123
Figura 34: Flujo de datos en software propuesto 128
Figura 35. Componentes montados en chasis 149
Figura 36: Captura de página de descarga oficial Raspbian 150
Figura 37: Captura de página de descarga oficial SD Formatter 150
Figura 38: Captura de SDFormatter ejecutándose 151
Figura 39: Instalación de Raspbian 152
Figura 40. Configuración Ip estática en Raspbian 153
Figura 41: Ejemplo de configuración inicial SDR 157
Figura 42: Ejemplo de configuración GPS M8N en Python 158
Figura 43: Extracción de datos NMEA de GPS en Python 158
Figura 44: Obtención de muestras y conversión a db 159
Figura 45: Eliminación de outliers 160
Figura 46: Escalamiento de desviaciones absolutas 162
Figura 47: Almacenamiento de muestras sin outliers 164
Figura 48: Media aritmética de señales limpias 164
Figura 49: Columnas y diccionario para almacenar en CSV 165
Figura 50: Escritura del objeto en archivo CSV 165
Figura 51: Opciones de menú en consola de Raspberry Pi 165
Figura 52: Cierre de conexión con SDR 166
Figura 53: Cierre de conexión con SDR 166
Figura 54: Mensaje de servidor de desarrollo desplegado correctamente 166
Figura 55: Estructura del proyecto y subcarpetas 167
Figura 56: Componente App y rutas configuradas 168
Figura 57: Uso de componente Link 169
Figura 58: Aproximación cartesiana (distancia, bearing) implementada 173
Figura 59: Modelo FSPL aplicado para escalamiento 177
Figura 60: Modelo FSPL seleccionado en interfaz 178
Figura 61: Inputs de datos para Modelo Okumura-Hata 178
Figura 62: Modelo Okumura-Hata aplicado para escalamiento 179
Figura 63: Algoritmo de Ordenamiento de arrays 181
Figura 64: Estructura de tabla para visualización de datos 182
Figura 65: Tabla de datos desarrollada en ReactJs 183

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 66: Sección de Predicción de potencia desarrollada 183
Figura 67: Configuración de data para diagrama polar 187
Figura 68: Diagrama de radiación 187
Figura 69: Bucle de interpolación 190
Figura 70: Interpolación asegurando continuidad cíclica 190
Figura 71: Generación de Splines cúbicos 190
Figura 72: Evaluación de splines 191
Figura 73: Antena dipolo modelado en 3 dimensiones 201
Figura 74: Parámetro S11 de antena dipolo simulada 201
Figura 75: Parámetro VSWR de antena dipolo simulada 202
Figura 76. Patrón de radiación de antena dipolo simulada 203
Figura 77: Patrón de radiación tridimensional de antena dipolo simulada 204
Figura 78: Antena Yagi - Uda modelada 205
Figura 79. Parámetro S11 de Antena Yagi - Uda modelada 206
Figura 80: Gráfico VSWR de antena Yagi-Uda simulada 207
Figura 81: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda simulada en escala de dB 207
Figura 82: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda simulada en escala de magnitud 208
Figura 83: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda simulada en dB 209
Figura 84: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda simulada en escala de magnitud 210
Figura 85: Antena dipolo implementada físicamente 211
Figura 86: Antena Yagi-Uda implementada físicamente 213
Figura 87: Configuración de Ip estática en RaspberryPi 214
Figura 88: Configuración de red en RaspberryPi 214
Figura 89: Configuración de servidor remoto en Visual Studio Code 215
Figura 90: Vista de Host remoto en Visual Studio Code 215
Figura 91: Ejecución de Script 216
Figura 92: Archivo .csv: captura unitaria/bucle 217
Figura 93: Archivo .csv: captura de distancia fija 217
Figura 94: Archivos generados en sesiones de captura 218
Figura 95: Vista general de la interfaz 218
Figura 96: Input de archivos .csv 219
Figura 97: Configuración de modelos de propagación. 220
Figura 98: Configuración de puntos de interpolación 220

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 99: Configuración de parámetros de estimación 221
Figura 100: Tablas de data original e interpolada 221
Figura 101: Gráfico de data original(izquierda) e interpolada (derecha) 222
Figura 102: Muestra de archivo .xlsx exportado 223
Figura 103: Muestra de archivo .pdf exportado 223
Figura 104: Selección de formato de importación 224
Figura 105: Patrones de radiación de antena Yagi-Uda: Data Original (Izquierda) y Data complementada (Derecha) 232
Figura 106: Patrones de radiación de antena Yagi-Uda en prueba móvil: Data Original (Izquierda) y Data complementada (Derecha) 236
Figura 107: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda proyectado sobre mapa geográfico 238
Figura 108: Patrones de radiación de antena Yagi-Uda en prueba móvil distancia media: Data Original (Izquierda) y Data complementada (Derecha) 242
Figura 109: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda proyectado sobre mapa geográfico, capturas a distancia media 242
Figura 110: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda proyectado sobre mapa geográfico, capturas a distancia media 243
Figura 111: Patrones de radiación de antena Yagi-Uda en prueba móvil urbana a larga distancia: Data Original (Izquierda) y Data complementada (Derecha) 246
Figura 112: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda proyectado sobre mapa geográfico, capturas a distancia media 248
Figura 113: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda ámbito rural 250
Figura 114: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda ámbito rural proyectado en mapa 251
Figura 115: Acercamiento de sección patrón de radiación antena Yagi-Uda ámbito rural proyectado en mapa 252
Figura 116: Patrones de radiación de antena dipolo: Data Original (Izquierda) y Data complementada (Derecha) 257
Figura 117: Patrones de radiación de antena Yagi-Uda en prueba móvil: Data Original (Izquierda) y Data complementada (Derecha) 261
Figura 118: Patrón de radiación de antena dipolo proyectado sobre mapa geográfico 262
Figura 119: Patrones de radiación de antena dipolo en prueba móvil rural, larga distancia 265
Figura 120: Patrón de radiación de antena dipolo proyectado sobre mapa geográfico 267
Figura 121: Acercamiento de Patrón de radiación antena en capa satelital 268
Figura 122: Arreglo colineal de elementos utilizado en radiodifusora FM 102.3 MHz, montado sobre torre auto soportada 270
Figura 123: Patrón de radiación de estación 102.3 MHz FM en prueba urbana 273

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 124: Patrón de radiación de estación 102.3 MHz FM, prueba urbana sobre mapa geográfico 275

Figura 125: Muestra de potencia capturada en zona de depresión geográfica (Izquierda) y Muestra tomada en zona con mayor elevación(derecha) 276

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Gestión del espectro radioeléctrico. ITU 2011 Regulation Toolkit.[20]. 27
Tabla 2: Interpretación práctica de VSWR RTL2832U 44
Tabla 3: Especificaciones técnicas de Dongle RTL2832U [42] 55
Tabla 4: Relación de bandas del espectro radioeléctrico compatibles con RTL2832 58
Tabla 5: Especificaciones técnicas de Raspberry Pi 3 Model B 62
Tabla 6: Especificaciones técnicas de GPS M8N 69
Tabla 7: Representación de archivo .csv en tabla 74
Tabla 8: Bandas elegidas para realizar pruebas con RTL2832 127
Tabla 9. Consumo de corriente de Raspberry Pi 3 Model B según su estado de trabajo 129
Tabla 10: Samples rates mínimos y recomendados dependiendo del rango de frecuencia 156
Tabla 11: Datos obtenidos de antena Yagi-Uda 430 Mhz a 10 m 229
Tabla 12: Datos post - interpolación, antena Yagi-Uda 430 Mhz a 10 m 231
Tabla 13: Datos obtenidos de antena Yagi-Uda 430 MHz, radios variables. 234
Tabla 14: Datos post - interpolación, captura móvil, antena Yagi-Uda 430 Mhz 236
Tabla 15: Datos obtenidos de antena Yagi-Uda 430 MHz, prueba móvil distancia media ... 239
Tabla 16: Datos post - interpolación, captura móvil distancia media, antena Yagi-Uda 430 Mhz 241
Tabla 17: Datos obtenidos de antena Yagi-Uda 430 MHz, prueba móvil distancia media ... 246
Tabla 18: Datos obtenidos de antena Yagi-Uda 430 MHz, prueba móvil distancia media ... 250
Tabla 19: Datos obtenidos de antena Dipolo 430 Mhz a 12.76 m 254
Tabla 20: Datos post - interpolación, antena Dipolo 430 Mhz a 12.76 m 256
Tabla 21: Datos obtenidos de antena Dipolo 430 MHz, radios variables 259
Tabla 22: Datos post - interpolación, captura móvil, antena Dipolo 430 Mhz 261
Tabla 23: Datos obtenidos de antena Yagi-Uda 430 MHz, prueba móvil larga distancia rural 265
Tabla 24: Datos obtenidos de estación FM 102.3 MHz, prueba móvil larga distancia urbana 272

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

En el contexto de las comunicaciones inalámbricas, entender cómo se difunden las ondas de radio en el mundo real es un aspecto crítico, que, aunque tenemos modelos y simulaciones muy sofisticadas que nos dicen cómo deberían comportarse las señales de una antena, la realidad es que el espacio físico presentará circunstancias que no podremos modelar matemáticamente con precisión en muchos casos. Objetos como edificios, árboles, el clima, o incluso si la antena está bien calibrada y apuntando en la dirección adecuada, pueden cambiar drásticamente la potencia y la claridad de una señal. Cuando la teoría no refleja con exactitud la realidad, el resultado puede abarcar desde una mala recepción o la pérdida de conexión, hasta un golpe económico para las empresas de telecomunicaciones.

En el contexto actual resulta común para saber cómo se irradia la energía de una antena, consultar hojas de datos del fabricante o se realizan simulaciones en software especializado. El problema es que estos no siempre revelan lo que realmente pasa una vez que la antena está instalada y funcionando. Sí bien existen equipos para medir señales, como los que usan para comunicaciones móviles, o los analizadores de espectro, a menudo están limitados a ciertas frecuencias, son equipos con elevados costos, difíciles de mover, o simplemente no pueden graficar cómo se propaga la señal en un entorno urbano real. Muchos de los mapas de cobertura que vemos en los proyectos son solo estimaciones teóricas, no la imagen de lo que sucede en el campo.

Por lo expuesto anteriormente, la presente tesis, busca diseñar e implementar una plataforma portátil que nos permita medir y analizar las señales de radiofrecuencia de antenas pasivas directamente en entornos reales. Teniendo como fin: obtener un patrón de radiación bidimensional que sea fiel a la realidad y compararlo con los modelos teóricos. Logrando entender mejor como los elementos del entorno influyen en la propagación de las ondas. Para ello se ha integrado un receptor de radio definido por software (SDR) y un computador Raspberry Pi. El resultado es una solución compacta, versátil y eficiente energéticamente, ideal para capturas en campo, procesar y visualizar estos datos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Esta plataforma innovadora nos permitirá sintonizar y capturar señales electromagnéticas en un rango de frecuencias bastante amplio y totalmente configurable por el usuario (3 MHz -3000 MHz, cubriendo bandas como HF, VHF y parte de UHF). De esta manera, será fácil generar patrones de radiación georreferenciados y estudiar cómo se distribuye la potencia de la señal en el espacio. Se realizaron pruebas tanto en ciudad como en zonas rurales, aplicando algoritmos de procesamiento, se obtiene la potencia recibida, que, servirá para estimar la potencia de las estaciones emisoras y a predecir la calidad de la señal a diferentes distancias. Además, se ha realizado el diseño y optimización de antenas pasivas específicas para las pruebas, analizando su rendimiento tanto con simulaciones como con mediciones en el campo.

La principal contribución de este sistema es su capacidad de mostrar la distribución real de la potencia de la señal en cualquier entorno. Esto lo convierte en una potente herramienta para los ingenieros que trabajan en campo, para los dueños de estaciones transmisoras y/o entidades reguladoras como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) de Perú. La combinación de las tecnologías SDR y Raspberry Pi, junto con un software propio, ofrece una alternativa práctica, accesible y muy eficiente para monitorear radios, calibrar antenas, detectar interferencias y analizar la cobertura de redes de telecomunicaciones.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la presente Tesis se busca desarrollar e implementar un sistema que nos permita obtener las intensidades de potencia y en base a estas graficar el diagrama de radiación de las antenas pasivas, con emisión en las bandas de frecuencia: HF (3 - 30 MHz), VHF (30 – 300 MHz), y una parte de la banda UHF (300 – 3000 MHz). Vendría a ser un sistema de considerable importancia debido a que la mayoría de mediciones del patrón de radiación actual de las antenas solo se encuentran en forma teórica y la única representación de estas se encuentra en las hojas de datos del fabricante, más no representaría su comportamiento en la realidad una vez implementadas y en funcionamiento.

Al aplicar este sistema con medición en tiempo real, relacionando puntos geográficos (coordenadas) y potencia de señal (dBW), permitirá obtener una representación real del diagrama de radiación de una antena y contrastar los datos obtenidos con el diagrama de radiación teórico presente en la hoja de datos del fabricante de la antena, lo cual le servirá al análisis del ingeniero de campo, al propietario de la estación transmisora y/o al ente regulador (El Ministerio de Transportes y Comunicaciones-- MTC)

1. Identificación y descripción del problema

La emisión de energía de una antena puede ser representada en función de la potencia y distancia, mediante el patrón de radiación, la cual es una gráfica que refleja como la potencia emitida varía con la distancia y la dirección. Esta visualización puede ser de tipo polar, cartesiana o tridimensional.

La propagación real de señales electromagnéticas emitidas por una antena y como se da su distribución sobre un determinado espacio geográfico, en la práctica, difícilmente coincidirá de manera completa con los patrones de radiación estimados en las simulaciones u hojas de datos, esto debido a una serie de factores, entre los más destacados tenemos:

- Atenuación por objetos: La presencia de objetos como personas, edificios u otros obstáculos puede reducir la intensidad de la señal en ciertos puntos geográficos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Atenuación por condiciones climáticas: Fenómenos atmosféricos como lluvia, niebla o tormentas pueden afectar la propagación de las ondas electromagnéticas debido a fenómenos físicos como la difracción.
- Adaptación de impedancias: Si la antena no está adecuadamente adaptada a su entorno eléctrico, puede haber pérdida de energía por reflexiones no deseadas.
- Calibración de la antena: Una calibración incorrecta puede llevar a mediciones erróneas o a un rendimiento subóptimo de la antena.
- Alineación y orientación: La dirección y el ángulo de la antena pueden influir en la forma en que se distribuye la energía radiada.
- Distorsiones: Cambios en la forma de onda de la señal pueden alterar su comportamiento esperado en la propagación.
- Ruido e interferencias: La presencia de ruido electromagnético o interferencias de otras fuentes puede afectar la calidad y la claridad de la señal transmitida.

Al presentarse por lo menos uno de estos factores, la señal resultante no será la esperada, pudiéndose generar inconvenientes, problemas de recepción, falta de conexión, incluso pérdidas monetarias para las empresas de telecomunicaciones, como son las televisoras, radiodifusoras, operadoras telefónicas, entre otras. Ante esta situación, se hace necesaria la existencia de un sistema de medición eficaz, preciso y portátil que pueda permitir detectar cómo se está viendo afectada la emisión de una señal ante los factores mencionados previamente, así como la obtención de un patrón de radiación real.

Actualmente existen equipos para medir la potencia en determinados rangos de frecuencia, como los medidores de señal de telefonía móvil, pero están limitados a un cierto rango de frecuencias del espectro radioeléctrico. Con este proyecto se busca diseñar y presentar una alternativa capaz de medir múltiples y amplios rangos de frecuencia de forma programable y automática obteniendo un patrón de radiación real, también se definirá el área de cobertura, ubicación de la señal a censar y potencia en puntos específicos determinados por el usuario.

En la práctica el patrón de radiación, estrechamente relacionado con el área de cobertura, el cual debe ser aprovechado de manera efectiva para dirigir la señal emisora hacia nuestro espacio geográfico objetivo, sin embargo, no siempre se obtiene un valor

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

óptimo de señal en los puntos de recepción deseados. Lograr una correcta directividad de la señal es esencial en numerosos escenarios, como en aplicaciones de radioenlaces donde se busca establecer comunicaciones efectivas a distancias considerables, ya que una buena directividad contribuye a minimizar las interferencias y maximizar la calidad de la señal recibida en los puntos de destino.

1.1 Situación actual

Medición de antenas en 3 tipos dependiendo de la distancia:

- Campo cercano: Un sistema de medida en campo cercano suele ser implementado en espacios cerrados (cámara anecoica), aislados de interferencias y ruidos de otras fuentes; obteniendo así señales en amplitud y fase a corta distancia y mediante métodos/técnicas de procesado permitirá obtener una estimación de su comportamiento a largas distancias.
- Campo compacto: Aquí se trata de conseguir un frente de ondas plano en un espacio mediano. En este tipo de medición se emplea un reflector el cual es el elemento que se encarga de transformar el frente de ondas de la antena.
- Campo lejano: Se realiza una medición en la cual el frente de ondas se considera plano. Se puede dar en campo abierto o interiores (cámara anecoica de grandes dimensiones).

Los sistemas de medición actuales pueden ser equipos PCE, analizadores de espectro portátiles (como los equipos Rohde & Schwarz® FSH), que miden en un punto o área geográfica específica la cantidad de energía de la onda y la interferencia entre el resto, los cálculos de cobertura y graficación de diagramas de radiación no suelen realizarse comúnmente después de instalar una antena por distintos factores como el elevado coste de los equipos de medición, la falta de un software que recopile los puntos de medición y grafique el patrón, incapacidad de movilizar un equipo de grandes dimensiones para la medición, entre otros.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La mayoría de mapas de cobertura que se entregan en proyectos son simulaciones por software, mas no una representación del resultado final una vez implementada la antena transmisora.

1.2 Situación deseada

Con este trabajo de investigación, se espera obtener una cantidad significativa de puntos de muestra, lo que permitirá generar un patrón de radiación bidimensional de manera eficiente y en un tiempo reducido. A través de la implementación de un sistema portátil y programable, se podrán obtener mediciones en múltiples ubicaciones y con la capacidad de ajustar los rangos de frecuencia, ganancia y tasas de muestreo según las necesidades del estudio. Esto facilitará una representación más precisa de la distribución de la potencia electromagnética en el espacio, proporcionando datos reales que puedan ser comparados con los patrones teóricos y utilizados para optimizar la implementación de antenas transmisoras en entornos reales.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de medición de la señal de una antena en distintas frecuencias de operación programables por el usuario, y poder censar en distintos puntos alrededor de la antena objetivo, recopilar datos que faciliten la generación de un diagrama de radiación, estimar valores de potencia de la señal a distancias configurables respecto al punto de emisión.

2.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de medición de distintas frecuencias configurables mediante software, según sea la señal objetivo de la medición, mediante Software Defined Radio (SDR).
- Almacenar los datos obtenidos en una base de datos y transportarlos a una computadora para su procesado y graficación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Analizar y contrastar los resultados obtenidos en la práctica con las hojas de datos de los fabricantes de distintas antenas.
- Predecir cómo será la calidad e intensidad de señal a distancias mayores/menores de las medidas mediante cálculos, estimaciones de pérdida de potencia y modelos de atenuación.
- Estimar la potencia irradiada en el punto de origen de la señal.

3. Variables

3.1 Cuantitativas

- Potencia de una señal electromagnética recepcionada por el SDR.
- Parámetros de GPS captados del satélite: Latitud, Longitud, Altura, etc.
- Consumo de energía del sistema.
- Precisión respecto a otros sistemas convencionales de medición de potencia.
- Errores en medición: Desviación estándar o porcentaje de error en la medición de la potencia.
- Número de puntos de medición: Cantidad de ubicaciones geográficas donde se toman las muestras de potencia.

3.2 Cualitativas

- Ventajas de uso respecto a sistemas de medición tradicional.
- Funciones adicionales e integradas en un software propio frente a otros sistemas de medición disponibles en el mercado.
- Facilidad de uso del sistema: Evaluar la curva de aprendizaje para los usuarios.
- Portabilidad: Grado de movilidad del sistema, incluyendo tamaño, peso y facilidad para transportar.
- Adaptabilidad a distintas señales: Capacidad de configuración para diferentes tipos de frecuencias sobre la marcha.
- Interfaz gráfica del software: Calidad visual y practicidad de las herramientas de graficación y análisis.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4. Alcances

Al finalizar este trabajo de investigación se espera contar con un sistema de medición de potencia y calidad de señal, siendo preciso, portátil y de fiabilidad comparable a un equipo de medición certificado, con un amplio rango de frecuencias variables y programables según la medición objetivo a realizar, teniendo los siguientes alcances:

- Desarrollar, utilizando SDR, un sistema capaz de medir la potencia y calidad de una señal; a la vez que tenga un rango de frecuencias elegibles mediante programación hasta 1.76 GHz.
- Garantizar que las mediciones recolectadas puedan ser exportadas en un formato de archivo de datos estándar, permitiendo su posterior análisis, compartición y procesamiento.
- Se desarrollará una interfaz amigable, que permitirá importar el archivo de datos que contendrá las muestras obtenidas, donde automáticamente, podrá procesar y ordenar la información para graficar el patrón de radiación.
- Se contará con la opción de mostrar cómo sería el comportamiento del mismo patrón de radiación a mayores y/o menores distancias con respecto al punto de origen de la señal, mediante cálculos de atenuación de potencia respecto a la distancia.
- Proveer al usuario la capacidad de seleccionar entre distintos modelos de atenuación de señal, adaptando los cálculos a las condiciones del entorno o los requerimientos del análisis.
- Estimar la potencia irradiada en el punto de origen de la señal, aportando datos clave para los análisis técnicos.

5. Aportaciones

Las contribuciones de la presente tesis para la ingeniería electrónica y telecomunicaciones son las que se presentan a continuación:

- Colaborar, difundir el conocimiento y resultados obtenidos con la creciente comunidad que desarrollan empleando Software Defined Radio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Presentar una alternativa portátil, asequible y de fácil uso, comparada a los sistemas convencionales de medición de señal electromagnética.
- Promoción de tecnologías de código abierto: Utilizar herramientas de software y hardware de código abierto, fomentando la replicabilidad del sistema diseñado y su personalización para diferentes necesidades.
- Creación de un prototipo de sistema para la medición de una potencia funcional, empleando un dispositivo SDR y microcomputador Raspberry Pi, los cuales en conjunto serán capaces de:
    - Graficar un diagrama de radiación electromagnética en base a distintas muestras obtenidas en diferentes ángulos y radios respecto a un origen geográfico de la señal objetivo.
    - Simulación del comportamiento de la señal: Realizar cálculos para estimar y modelar el comportamiento de la señal a distintas distancias, según lo especifique el usuario, a través de técnicas de dimensionamiento y atenuación.
    - Automatización de cálculos y visualización: Incorporar una interfaz gráfica amigable para procesar y visualizar los datos obtenidos, generando gráficos y data de manera automatizada.
    - Capacidades de predicción: Implementar algoritmos para predecir el comportamiento de la señal en condiciones específicas, permitiendo análisis prospectivos en diferentes escenarios.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1. Antecedentes de la Investigación

El proyecto de Montes & Pilar [1] tiene como objetivo la medición y ajuste de los parámetros radioeléctricos de antenas en la banda VHF y UHF y este se basa en el movimiento de la antena por medio de un sistema electromecánico manejado con un microcontrolador Pic para obtener la mejor señal posible. Este proyecto es considerado como antecedente pues es un sistema SDR, la señal de video es decodificada por software y obtenida por medio de hardware RF.

El estudio desarrollado por Medina, Díaz, Olvera, Chávez, & Velázquez [2] se centra en la determinación de la ganancia de antenas planas utilizando diferentes métodos, con el fin de identificar cuál proporciona resultados más precisos. Para ello, se emplean arreglos de antenas de 2, 3 y 4 elementos, junto con un sistema electromecánico para obtener un diagrama de radiación. Este estudio es relevante para la investigación actual, ya que ofrece un análisis comparativo de métodos de medición de ganancia.

La investigación desarrollada por Alonso & Fano [3] permite determinar el diagrama de radiación de una antena mediante un equipo electromecánico que realiza movimiento en el eje Y permitiendo caracterizar la antena medida gracias a que la señal es medida por un Analizador de Espectros y una antena fija que captará la señal recibida.

Se presenta el desarrollo de una plataforma de radio definida por software con múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO-SDR), llevada a cabo por Mizutani, Sakaguchi, Takada & Araki [4] utilizada para la implementación de sistemas de medición de transmisión y propagación MIMO. Se destaca la implementación de un sistema de medición de canal MIMO en tiempo real, así como los resultados de las mediciones iniciales. La relevancia de este antecedente radica en el uso de tecnología SDR para la medición y análisis de la propagación de señales, similar a las técnicas que se aplicarán en el estudio actual.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Los autores Roman, Marquez-Viloria, Velásquez & Botero-Valencia [5] proponen una metodología que utiliza estaciones de radio FM existentes junto con algoritmos de Deep Learning para posicionamiento y análisis de interiores mediante la intensidad de la potencia recibida y diagramas de radiación. Este enfoque es significativo porque explora el uso de señales preexistentes en el entorno, combinadas con algoritmos avanzados para la interpretación de datos, lo cual es relevante para los objetivos del presente estudio.

El trabajo realizado por Bhatt, Redmayne, Abramson, & Benke [6], analiza y compara los instrumentos de evaluación de la exposición a RF-EMF actualmente disponibles, que pueden usarse en estudios epidemiológicos en humanos. Los instrumentos de evaluación cuantitativa se basan en teléfonos móviles (aplicaciones / software modificado y hardware modificado) o exposímetros lo cual nos brindó información de cómo se realiza la separación en áreas urbanas y con gran cantidad de señales RF.

El libro Principles of Power Measurement [7] nos muestra todos los equipos y métodos usados para la medición en el ámbito industrial y urbano dentro de los parámetros claves observados tenemos

- Térmico: Se mide el efecto de calentamiento de la potencia de RF sobre un elemento sensor.
- Detector: La señal de RF se rectifica o "detecta" para producir un voltaje de CC proporcional a la amplitud de la señal.
- Receptor: Se utiliza un circuito de tipo "sintonizador" para recibir la señal, luego medir su componente de amplitud.
- Muestreo de RF: La señal de RF se trata como una señal de CA de banda base y se digitaliza directamente.

El artículo de Vijetha & Karthik [8] explora el diseño de una antena reconfigurable en frecuencia específicamente para aplicaciones de radio definida por software (SDR). Las antenas reconfigurables son adaptaciones valiosas en los sistemas SDR, ya que permiten que un solo hardware opere en múltiples bandas de frecuencia o con diferentes patrones de radiación, lo cual es esencial para la flexibilidad y adaptabilidad que caracterizan a las SDR. El diseño propuesto en el artículo utiliza una metaestructura (MS) para sintonizar la frecuencia de operación de la antena, logrando un diseño muy compacto y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de bajo perfil. La capacidad de la antena para ser reconfigurada mediante la rotación física de la metaestructura para cambiar la permitividad equivalente, o mediante la integración de diodos PIN para reconfigurar el patrón de radiación o las bandas de frecuencia.

2. Base teórica

Esta sección tiene como objetivo explicar algunos métodos y algoritmos usados para la graficación de los diagramas de radiación y obtención de las áreas de cobertura. Los cálculos y ecuaciones utilizadas por los fabricantes para la obtención teórica de estas, También definir las bases teóricas en las cuales se basan y las bases teóricas que fundamentan el proyecto.

2.1 Campo Electromagnético

Es un campo físico tensorial que se genera por elementos cargados eléctricamente y tiene la capacidad de afectar a partículas con carga eléctrica (como electrones en movimiento o iones) esta interacción entre el campo electromagnético y las partículas cargadas se explica en la ley de Coulomb, que describe la fuerza electrostática entre cargas. A partir de cargas eléctricas se forma un campo eléctrico que impulsa otras cargas en su entorno. Mientras tanto, el campo magnético surge de las cargas eléctricas en movimiento y produce acción en cualquier otra carga en movimiento. Una característica esencial del campo electromagnético es su naturaleza tensorial, las magnitudes que tienen dirección y significado en el espacio lo definen mejor. Está formado por dos elementos básicos: el campo eléctrico y el campo magnético, que forman ángulos rectos entre sí y están definidos por las leyes de Maxwell, las cuales establecen que cualquier alteración en el campo eléctrico conduce a un cambio en el campo magnético y viceversa [9].

2.2 Ley de Coulomb

La ley de Coulomb es un principio fundamental en el campo de la electrostática que describe la fuerza de atracción o repulsión entre dos cargas eléctricas puntuales. Esta ley establece que la fuerza eléctrica F entre dos cargas $\boldsymbol{q_1}$ y $\boldsymbol{q_2}$, separadas por una distancia $\boldsymbol{r}$, es directamente proporcional al producto de sus magnitudes e inversamente

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Matemáticamente, la ley de Coulomb se expresa como:

$$F = k.\frac{|q_1 . q_2|}{r^2}$$

Donde:

- F es la fuerza eléctrica entre las cargas $q_1 y\ q_2$.
- k es la constante electrostática, que depende del medio en el que se encuentran las cargas y en el SI tiene un valor de aproximadamente.
- $q_1\ y\ q_2$ son las magnitudes de las cargas eléctricas.
- r es la distancia entre las cargas.

La ley de Coulomb indica que cargas del mismo signo (positivas o negativas) se repelen entre sí, mientras que cargas de signos opuestos se atraen. Esta ley es fundamental en la comprensión de fenómenos electrostáticos y sienta las bases para entender el comportamiento de sistemas eléctricos y electromagnéticos en general [10].

2.3 Leyes de Maxwell

Estas leyes relacionan entre sí el campo eléctrico, el magnético y las cargas y corrientes que los crean. Dichas ecuaciones fueron obtenidas de forma empírica por distintos científicos a lo largo del siglo XIX, y fue precisamente James Clerk Maxwell (1831-1879) quien, aparte de introducir un nuevo término en una de ellas, se dio cuenta de que con tan sólo estas cuatro leyes se describe por completo el electromagnetismo.

Ley de Gauss: $\oint_s \vec{E}.d\vec{s} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$

Ley de Gauss para $\vec{B}$: $\oint_s \vec{B}.d\vec{S} = 0$

Ley de Faraday: $\oint_c \vec{E} * d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t}\int_S^1 \vec{B}.d\vec{s}$

Ley de Ampere-Maxwell: $\oint_c \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0(I + \varepsilon_0 \int_s \frac{\partial E}{\partial t} d\vec{S})$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La importancia de estas leyes para describir el electromagnetismo, es tanta que es comparable a las leyes de Newton en la mecánica. James Maxwell comenzó su obra del electromagnetismo complementar resultados experimentales obtenidos por Michael Faraday, estableciendo una relación matemática entre campos eléctricos y magnéticos (Faraday solo enuncio su Ley de forma cualitativa, sin un planteamiento matemático ni formal). Maxwell pudo expresar las leyes experimentales / empíricas de Coulomb, Biot-Savart, Gauss, Ampere y Faraday de forma matemática resumida, por otro lado, modificó la Ley de Ampere del magnetismo, incluyendo el término de "corriente de desplazamiento", creando una versión generalizada de la ley e incluyéndola en las ecuaciones de Maxwell. Actualmente en las leyes de Maxwell no se presenta de forma explícita la ley de Coulomb, pero se puede derivar de la ley de Gauss eléctrica y la ley de Biot-Savart puede derivarse de la ley de Ampere. Se describen a continuación las leyes de Maxwell [9]:

2.3.1 Ley de Gauss para el campo eléctrico

La ley de Gauss establece que el flujo del campo eléctrico a través de cualquier superficie cerrada es directamente proporcional a la carga eléctrica total encerrada dentro de esa superficie. Este principio es fundamental para determinar el campo eléctrico o sus fuentes, tal como se visualiza en la Fig. 1 [10].

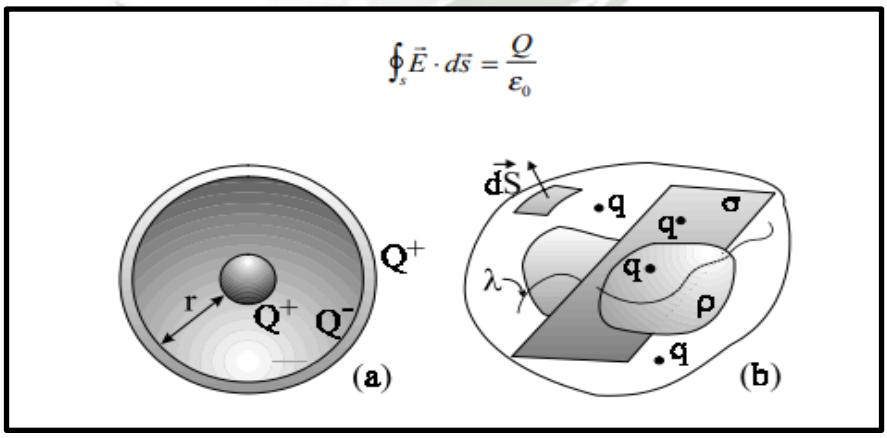


Figura 1: Campos Electromagnéticos. [11]. Recuperado de: https://books.google.com.cu/books?id=ehGiCgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.2 Ley de Gauss para campo magnético

"El flujo sobre una superficie cerrada del campo magnético siempre debe ser nulo"- Gauss [10] este enunciado nos dice que los monopolos magnéticos no existen en todo campo tiene un punto de inicio y un punto de fin (Figura 2).

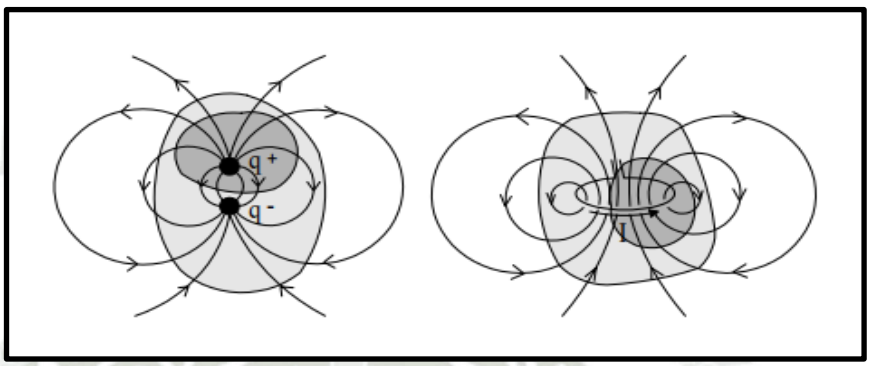


Figura 2: Flujo magnético. [11]. Recuperado de https://books.google.com.cu/books?id=ehGiCgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

2.3.3 Ley de Faraday

"La variación del flujo de campo magnético con el tiempo crea campos eléctricos" - Faraday [10] en esta afirmación nos menciona la capacidad de generar electricidad en un conductor si este se somete a un campo magnético variable (un imán en movimiento). Cabe mencionar que esta ley es la base de los generadores eléctricos Fig 3.

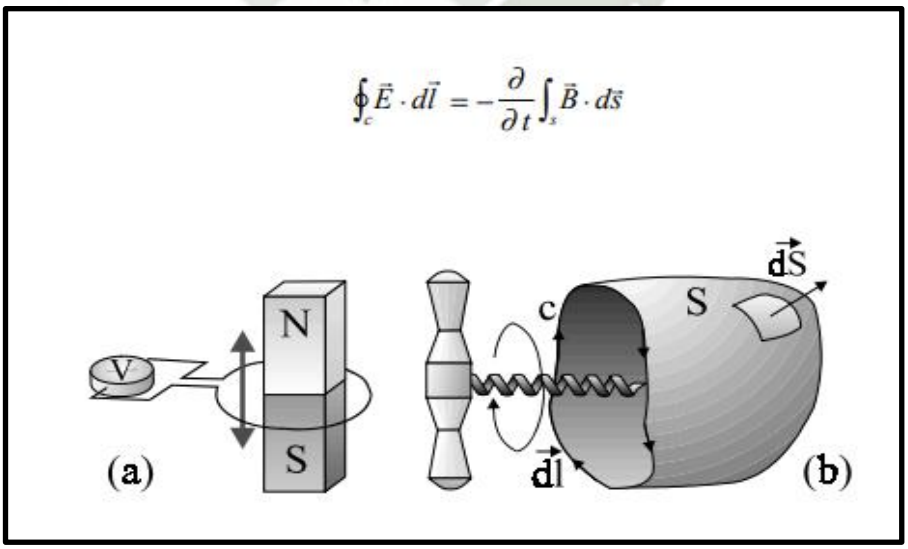


Figura 3: Ley de Faraday. Campos Electromagnéticos (recorte). [11] Recuperado de https://books.google.com.cu/books?id=ehGiCgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.4 Ley de Ampere-Maxwell

La ley de Ampere nos indica que cualquier hilo conductor por el cual circule una corriente genera un campo magnético y esta sería la base de los motores de corriente continua para luego dar pase a los motores de corriente alterna de Tesla. A esta ley Maxwell le agrega la ecuación de continuidad (Fig.4) lo que completo la ley de Ampere [11].

$$\oint_s \vec{J}\cdot d\vec{S} = -\oint_s \varepsilon_o \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\cdot d\vec{S} = -\frac{\partial}{\partial t}\varepsilon_o \oint_s \vec{E}\cdot d\vec{S} = -\frac{\partial}{\partial t}Q$$

Figura 4: Ley de Ampere. Campos Electromagnéticos(recorte). [11] Recuperado de https://books.google.com.cu/books?id=ehGiCgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

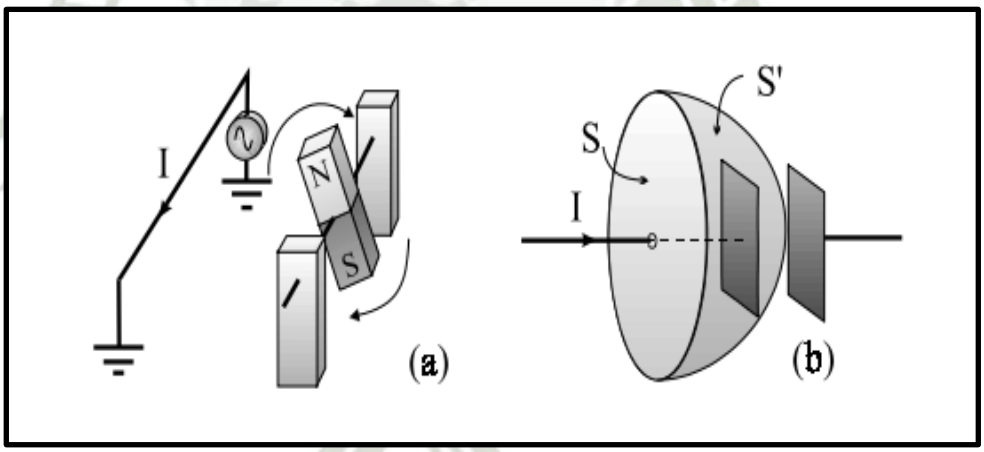


Figura 5: Campos Electromagnéticos. [11] Recuperado de http://190.186.233.212/filebiblioteca/Ciencias%20Naturales%20y%20Fisicas/Campos%20Electromagneticos.PDF

El precursor de esta ley es Hans Christian Orsted, el cual realizó un experimento crucial para el estudio del electromagnetismo: al conectar una pila y un cable, observó que alrededor del cable se manifestó un campo magnético que provocaba el giro de una aguja imantada. No fue un accidente, Orsted tenía sospechas acerca de la relación de los fenómenos eléctricos y magnéticos, finalmente con este experimento pudo encontrar la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

relación, aún sin poder plantear el resultado en una ecuación matemática, realizó descripciones tras una batería de pruebas:

- "El campo magnético era tanto más intenso cuanto mayor era la intensidad de la corriente eléctrica" (Proporcionalidad directa).
- "El campo magnético era tanto más intenso cuanto más cerca del cable era medido" (Proporcionalidad inversa a la distancia).
- "El campo magnético nunca se dirigía hacia el cable, sino que era perpendicular a él en todos los puntos, aparentemente rodeando el cable".

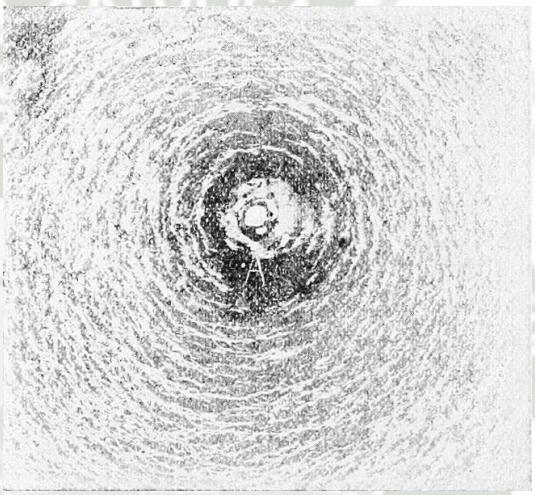


Figura 6: Limaduras de hierro orientadas alrededor de un cable (A, dirigido perpendicularmente al papel). Popular Science Monthly, 1895 (dominio público) [12].

Orsted presenció en sus experimentos que se producirá un rotacional dirigido en sentido del flujo de la propia corriente eléctrica, publicando descripciones más detalladas. Estos resultados despertaron la atención del francés André Marie Ampère, el cual publicó e incluyó resultados de otras pruebas (experimento de dos cables paralelos que pueden repelerse o atraerse dependiendo del sentido de las corrientes eléctricas). Ampere se dedicó al estudio de la electrodinámica y electromagnetismo. En 1826, publicó una ley matemática, que postulaba las corrientes eléctricas como fuentes de campo magnético, se describe así [11]:

$$\nabla \, x \, B = \mu_0 J$$

Esta la versión original de la fórmula, la ley de Ampere es la contraparte para el campo magnético de la ley de Faraday para el eléctrico, dado que las ecuaciones de Maxwell

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

van en pares. Primeramente $\nabla x B$ es el rotacional del campo magnético, luego μ_o representa la permeabilidad magnética del vacío, o también denominada, constante magnética. Se trata de una constante universal cuyo valor es $4\pi * 10^{-7} T\, m/A$ y por otro lado J representa la densidad de corriente eléctrica (indica intensidad que atraviesa por cada m2 de superficie), similar a densidad de carga eléctrica de la ley de Gauss para el campo eléctrico, J es proporcional a la intensidad de corriente eléctrico, ergo si J=0 no existe una corriente alguna en ese punto.

Para la ley planteada en primera instancia: las fuentes primarias del campo magnético son las corrientes eléctricas, es decir las cargas en movimiento. Por lo tanto, para que exista un campo eléctrico únicamente se requieren cargas, sin embargo, para que se genere un campo magnético requiere cargas en movimiento, es decir, corrientes eléctricas. La ley de Ampere no se encontraba completa, James Maxwell se percató que al igual que un campo magnético variable produce un campo eléctrico, también sucede lo opuesto: un campo eléctrico variable produce un campo magnético. La expresión matemática complementando la ley de Ampere se vuelve así [11]:

$$\nabla x B = \mu_0 J + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

De esta forma se constituye la ley de Ampere-Maxwell, describiendo que: un campo eléctrico variable, produce un rotacional del campo magnético, incluso en ausencia de corrientes.

2.4 Ondas Electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas se generan por vibraciones de campos eléctricos y magnéticos. No necesitan medio material de propagación, es decir pueden propagarse a través del vacío. Son doblemente transversales, el campo magnético y el campo eléctrico son perpendiculares entre sí y a su vez perpendiculares a la dirección de propagación. Se propagan a la velocidad de la luz (299792458 m/s). Su origen se funda en el hecho de que toda carga eléctrica acelerada emite energía en forma de radiación electromagnética.

Se diferencian unas de otras en el valor de su frecuencia. Cuanto mayor es la frecuencia de una radiación, mayor es su energía [13], se clasifican mediante el espectro electromagnético de frecuencias.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Radiaciones Ionizantes:

Una radiación es ionizante es aquella con la cual al interaccionar con la materia produce la ionización de los átomos de la misma, es decir origina partículas con carga. Son de alta frecuencia (superior a $\mathbf{10^{17}}$Hz), provocan desprendimiento de electrones.

Si la radiación ionizante interactúa con un organismo vivo, ocasionaría diferentes alteraciones en el mismo: fragmentaciones de ADN, aberraciones cromosómicas, incluso muerte celular, transformaciones en estructura química de las moléculas, mutaciones y degradación celular. [14]

Radiaciones no ionizantes:

Es toda aquella radiación, que no tiene la suficiente energía para eliminar un electrón, de un átomo o molécula. La radiación no ionizante incluye una luz visible, infrarroja y ultravioleta; las microondas; las ondas de radio y la energía de radiofrecuencia de los teléfonos móviles. [14]

Fuentes de Ondas Electromagnéticas:

Pueden ser generados por campos electromagnéticos en movimiento o pueden ser generados por cargas eléctricas en movimiento.

Un campo es una región del espacio en la que se manifiesta la acción de determinadas fuerzas: eléctricas, en un campo eléctrico, y magnéticas, en uno magnético. [15]

Dos casos particularmente interesantes son:

- Cargas en movimiento formando un dipolo eléctrico oscilante.
- Cargas en movimiento constituyendo un dipolo magnético oscilante.

Los dipolos eléctrico y magnético son, junto con las ranuras o aberturas radiantes, los tres tipos básicos de radiadores. La combinación de estos tres tipos elementales lleva a la mayoría de los tipos de antenas de uso en la técnica.

2.5 Propagación de ondas en la materia

Cuando una onda EM se propaga en un medio material cualquiera se genera fenómenos tales como dispersión, reflexión, refracción y absorción [15]:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Índice de refracción absoluto:

Es el resultado de la división de la velocidad de propagación (c) en el vacío (299 792 458 m/s) y la velocidad de propagación en un medio material (v).

$$K = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon_r * \mu_r}$$

Índice de refracción relativo:

Se define como la relación de las velocidades de la luz entre dos medios que no sean el vacío, por ejemplo, el índice de refracción entre el aire y el agua como medios de propagación.

Dispersión:

Se produce cuando una onda electromagnética interactúa con una partícula o conjunto de estas y se redistribuye en diferentes direcciones (Fig. 16), la dispersión puede ser de lo siguientes tipos:

- Dispersión de Rayleigh: Se da cuando el tamaño de las partículas con las que la onda interactúa es mucho menor que la longitud de la onda, la atmósfera terrestre produce este efecto al dispersar la luz del sol, por ejemplo.
- Dispersión de Mie: Ocurre cuando el tamaño de las partículas es similar al de la longitud de onda de la luz. Se da en las nubes con las partículas de agua, por ejemplo.
- Dispersión de Raman: Dispersión inelástica en la que la energía de las ondas electromagnéticas es transferida a las moléculas del medio. Causando un cambio en la frecuencia de la luz dispersada.

Reflexión y refracción:

El hecho de que la velocidad de propagación de una onda depende de las propiedades del medio da lugar a los fenómenos de reflexión y refracción, que ocurren cuando una onda atraviesa la superficie de separación de dos medios diferentes. La onda reflejada es una nueva onda que se propaga en el medio en el cual la onda original se estaba propagando. La onda refractada es la que se transmite al segundo medio. Cuando

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

una onda transversal está polarizada, la polarización queda afectada por la reflexión y por la refracción. (Fig. 7)

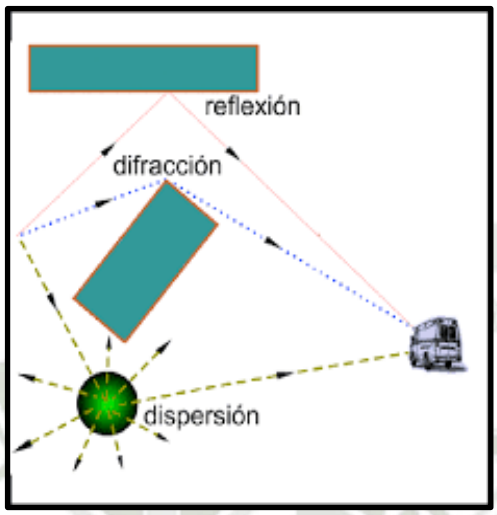


Figura 7: Propiedades físicas que afectan la propagación electromagnética. [16] Recuperado de: https://tareastelecomunicaciones.blogspot.com/2019/03/propiedades-fisicas-que-rigen-la.html

Existirá una reflexión cuando una onda incide sobre cualquier tipo de superficie, el ángulo de incidencia de la onda con la normal (proyección imaginaria perpendicular a la superficie) a la superficie reflectora es igual al ángulo de reflexión de la onda con respecto a la normal. (Fig. 8)

Es decir, si el ángulo de incidencia es de 30° con respecto a la normal, el ángulo de reflexión será también de 30°,

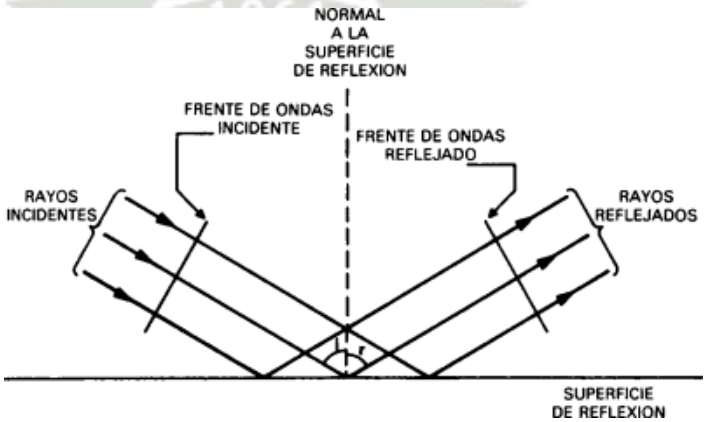


Figura 8: Reflexión de ondas en una superficie. Curso de propagación de ondas electromagnéticas. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. [15] Recuperado de: https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/27/27199/propagacion.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ley de Snell:

Determina los fenómenos físicos de refracción cuando la onda pase de un medio a otro. Establece la relación entre los senos de los ángulos incidentes y refractados, siendo igual a la relación inversa de los índices de refracción de ambos medios:

$$\frac{sen\ i}{sen\ i'} = \frac{n_2}{n_1}$$

Por lo cual el ángulo de refracción será menor al incidente cuando se pasa de un medio con índice de refracción (n) menor a otro mayor (Fig.9)

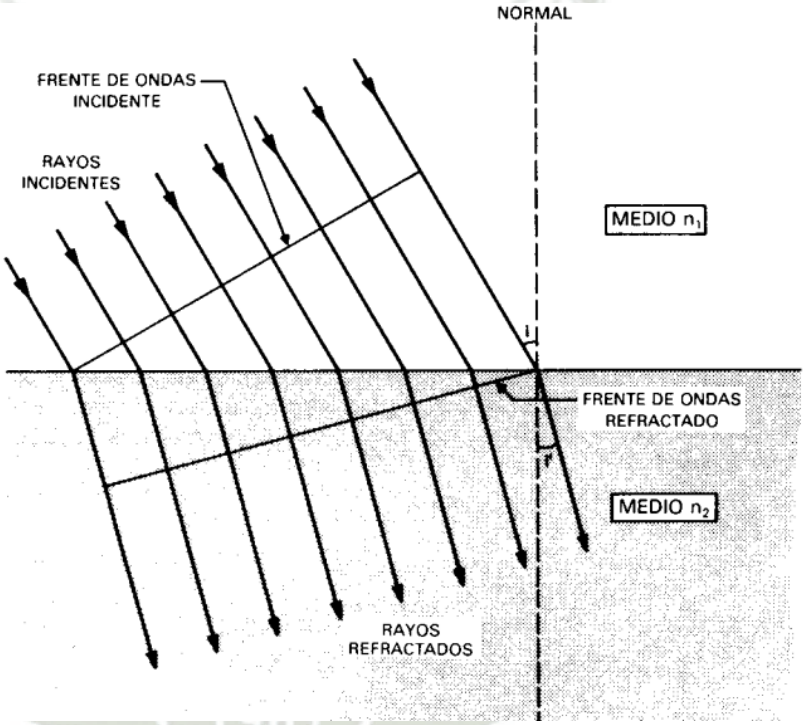


Figura 9: Refracción de Ondas al cambiar un medio. Curso de propagación de ondas electromagnéticas. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. [15] Recuperado de: https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/27/27199/propagacion.pdf

En el caso contrario cuando n1 > n2, el ángulo refractado es menor al incidente, se presentará un "ángulo límite de incidencia" en el cual la refracción será paralela a la superficie de separación de ambos medios. Cuando el ángulo se mayor al "ángulo límite", ya no existirá el fenómeno de refracción, se volverá reflexión total [15].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

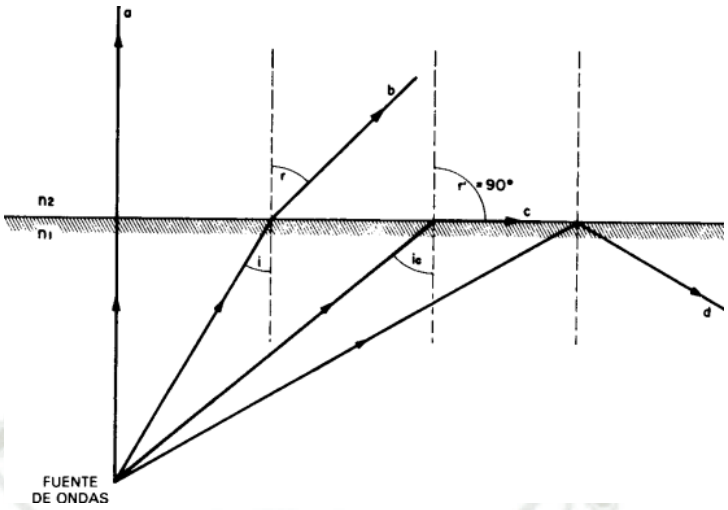


Figura 10: Refracción y Reflexión total de ondas. Curso de propagación de ondas electromagnéticas. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Recuperado de: https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/27/27199/propagacion.pdf

Absorción:

Se presenta cuando las ondas electromagnéticas se propagan por un medio y van perdiendo energía en su trayecto, influye la capacidad de los materiales para ofrecer resistencia al paso de ondas electromagnéticas dependiendo de la frecuencia el porcentaje de atenuación puede variar [17]:

Materiales conductores:

Los conductores electromagnéticos son materiales que permiten el paso de corriente eléctrica y, al mismo tiempo, interactúan con campos magnéticos. Son fundamentales en la creación de dispositivos eléctricos y electrónicos, así como en la transmisión de energía eléctrica. Los conductores electromagnéticos suelen estar compuestos por metales como el cobre y el aluminio debido a sus propiedades conductoras. Cuando una corriente eléctrica pasa a través de un conductor electromagnético, genera un campo magnético alrededor de este. De la misma forma, cuando un conductor electromagnético se encuentra en un campo magnético externo, puede experimentar fuerzas y movimientos debido a la interacción entre ambos campos [16].

Materiales aislantes:

Son materiales que tienen la capacidad de bloquear o disminuir significativamente la transmisión de ondas electromagnéticas a través de él (sin cargas libres). La función principal de un aislante electromagnético es proteger dispositivos,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

equipos o áreas específicas de señales electromagnéticas no deseadas o de la exposición a campos electromagnéticos dañinos/peligrosos. Estos materiales se pueden diseñar usando propiedades físicas específicas que les permiten actuar como barreras para las ondas electromagnéticas. Algunas características incluyen:

- Alta permeabilidad magnética: El material tiene una baja capacidad para permitir que los campos magnéticos penetren a través de él, atenuando o bloqueando las ondas electromagnéticas.
- Alta permeabilidad eléctrica: Los aislantes electromagnéticos también suelen tener una alta resistividad eléctrica, lo que significa que no permiten fácilmente el paso de corriente eléctrica a través de ellos. Esto es importante para evitar la conducción de corrientes indeseadas que podrían interferir con dispositivos sensibles.
- Capacidad de absorción: Algunos aislantes electromagnéticos también pueden absorber parte de la energía de las ondas electromagnéticas en lugar de simplemente reflejarlas o transmitirlas. Esto ayuda a reducir aún más la exposición a la radiación electromagnética.
- Estructura y composición adecuadas: La estructura molecular y la composición del material también son importantes para determinar su capacidad como aislante electromagnético. Por ejemplo, algunos materiales compuestos o laminados se diseñan específicamente para bloquear ciertas frecuencias de radiación electromagnética mientras permiten el paso de otras.

Los aislantes electromagnéticos se emplean en una variedad de aplicaciones, como en la fabricación de jaulas de Faraday para proteger equipos electrónicos sensibles, en la fabricación de dispositivos de protección personal contra radiación, en la industria aeronáutica/aeroespacial para proteger satélites de la radiación solar, o en aplicaciones médicas para protegerse de la exposición a campos electromagnéticos durante procedimientos [16].

Dieléctricos:

Los dieléctricos son materiales que no conducen electricidad fácilmente debido a la ausencia o baja densidad de portadores de carga móviles (como electrones libres).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Cuando se colocan en un campo eléctrico, los dieléctricos polarizan, lo que significa que sus moléculas o átomos se alinean de manera que crean una separación de carga dentro del material. Suele contar con una resistividad muy elevada, pero bajo ciertas condiciones podría conducir electricidad, a diferencia del aislante que impide totalmente la conductividad.

En el contexto del electromagnetismo, un dieléctrico electromagnético es aquel que no solo responde a campos eléctricos, sino también a campos magnéticos. Son importantes en aplicaciones como la óptica, las telecomunicaciones y la electrónica, donde se utilizan para modificar las propiedades de las ondas electromagnéticas según las necesidades del sistema [16].

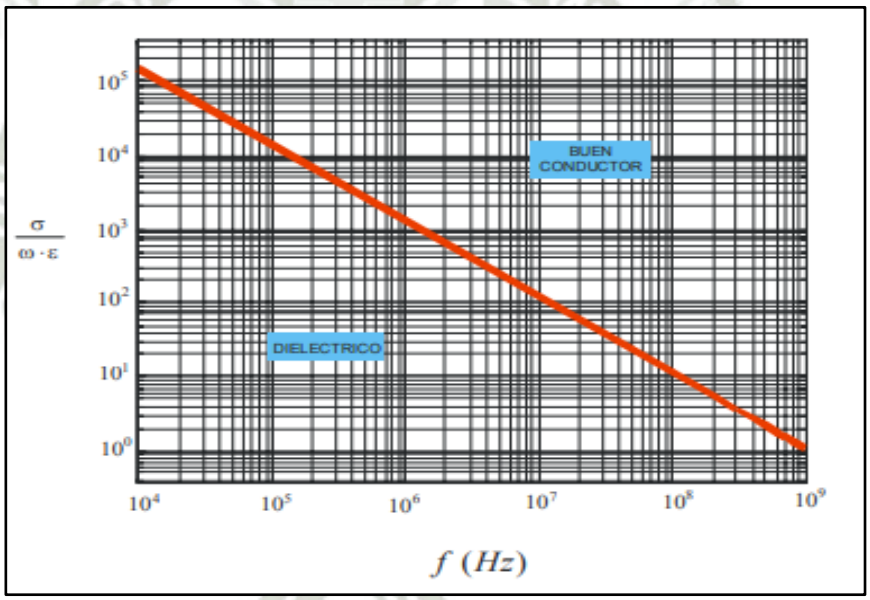


Figura 11: Respuesta de conductor/dieléctrico frente a frecuencia. [18] Recuperado de: http://www.uco.es/organiza/departamentos/ing-electrica/documentos/ONDAS_EM_CONCEPTOS_BASICOS.pdf>

Se observa que para f > 100 MHz el agua de mar comienza a dejar de ser buen conductor y para f > 1GHz ya se comporta como dieléctrico, aunque con pérdidas (Fig. 11)

2.6 Espectro Radioeléctrico

"El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado y de alta demanda, fundamental en materia de telecomunicaciones inalámbricas. Se trata de un bien intangible, por lo que su descripción resulta un tanto compleja; puede ser entendido

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

como parte del espacio aéreo que, a través del mismo, sirve como el medio en el que viajan las ondas electromagnéticas empleadas para transmitir información y así proveer diferentes servicios de telecomunicaciones y radiodifusión.” [19]

El autor Fontal [9] nos indica que la luz y radiación forman parte de un rango muy amplio denominado el Espectro Electromagnético. Este espectro se ha dividido en diferentes regiones, pero que no tienen fronteras rígidas entre sus regiones adyacentes. Los parámetros usados para definir las secciones del espectro electromagnético son: frecuencia y longitud de onda.

“El espectro radioeléctrico constituye la porción del espectro electromagnético (fenómeno por el cual se transmiten las ondas electromagnéticas) que se utiliza para las telecomunicaciones (radio, televisión, telefonía móvil, radares, satélites, etc.). El espectro radioeléctrico convencionalmente se fijó entre los 8,3 kHz y los 3,000 GHz y se dividió en bandas de frecuencia que son atribuidas a los diferentes servicios de telecomunicaciones. Esta atribución considera para cada banda sus características específicas en términos de propagación de la señal, lo que las hace más adecuadas para la provisión de servicios específicos.” [20]

En el archivo UCO.ES [21] El término espectro electromagnético se refiere al conjunto de las posibles longitudes de onda o de frecuencias de la radiación EM. La longitud de onda λ, la frecuencia f y la energía E de un fotón están relacionadas por las ecuaciones:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad , \quad E = h.f$$

En la normativa internacional el espectro asociado a ondas sub-ópticas (radio ondas), se extiende convencionalmente desde 30 Hz a 300 GHz. La International Telecommunications Union (ITU) ha dividido el espectro en bandas como se indica en la tabla 1. [20].

Banda	Rango de Frecuencias	Alcance	Utilización Común	Ancho de Banda	Interferencia
VLF (ondas milimétricas)	3-30 kHz	1000 km	Radionavegación de largo alcance	Muy estrecha	De amplia distribución
LF (ondas kilométricas)	30-300 kHz	1000 km	Radionavegación de largo alcance	Muy estrecha	De amplia distribución
MF (ondas hectométricas)	300-3000 kHz	2-3000 km	Radionavegación de largo alcance	Moderada	De amplia distribución

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

HF (ondas decamétricas)	3-30 MHz	Hasta 1000 km	Fijos punto a punto y Radio-difusión a nivel mundial	Amplia	De amplia distribución
VHF (ondas métricas)	30-300 MHz	2-300 km	Radiodifusión, Móviles, WAN	Muy amplia	Confinada
UHF (ondas decimétricas)	300-3000 MHz	<100 km	Radiodifusión, Móviles, satelital	Muy amplia	Confinada
SHF (ondas centimétricas)	3-30 GHz	30-2000 km	Fijos, Radiodifusión, móviles, WAN, comunicaciones por satélite, GHz	Muy amplia hasta 1 GHz	Confinada
EHF (ondas milimétricas)	30-300 GHz	20-2000 km	Radiodifusión, fijos punto a punto, móviles, comunicaciones por satélite	Muy amplia hasta 10 GHz	Confinada

*Tabla 1: Gestión del espectro radioeléctrico. ITU 2011 Regulation Toolkit.**[20].***

2.7 Radiocomunicación y Radiación

La radiocomunicación es la comunicación no guiada entre dos o más puntos por medio de la radiación de ondas electromagnéticas comprendidas en el espectro radioeléctrico todo por medio de la modulación de una onda portadora y la señal de información, sus partes son [22]:

2.7.1 Partes de un sistema de Radiocomunicación

Transmisor: es el origen de una sesión de comunicación. El transmisor es un equipo que emite una señal electromagnética, código o mensaje a través de un medio. El transmisor de radio tiene como soporte físico de la comunicación las ondas electromagnéticas. El transmisor tiene como función codificar señales ópticas, mecánicas o eléctricas, amplificarlas, y emitirlas como ondas electromagnéticas a través de una antena.

Receptor: Es el fin de una sesión de comunicación, el receptor es un equipo encargado de recibir la onda portadora modulada para después obtener la información incrustada de esta. Los receptores deberán de ser selectivos, deberán de ser capaces de sintonizar o recibir exclusivamente la señal de interés. Mientras mayor sea su capacidad de seleccionar un ancho de banda dentro del espectro menor será la separación espectral entre transmisiones adyacentes.

Canales de transmisión: se puede definir canal como el enlace entre dos puntosde un trayecto de comunicaciones. Este canal se puede describir a como una banda de frecuencias específica, utilizada para transmisión y recepción de señales de radio. Utilizados para gestionar y ordenar las comunicaciones a través del espectro electromagnético. Estos canales son asignados y regulados mediante legislaciones de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

cada país, para evitar interferencias y garantizar una comunicación eficiente y confiable entre usuarios del sistema. Las propiedades del canal al transmitir del punto inicial al final son las mismas que transmitiendo del punto final a la inicial, a su vez son invariantes con el tiempo, es decir no cambian.

Señal: La señal recibida es una suma de versiones atrasadas y atenuadas (o amplificadas) de la señal transmitida. Será no lineal si ocurre lo contrario, por ejemplo, si en el camino la señal se amplifica con un dispositivo cercano a la saturación. Por otra parte, se considerará que un cambio en frecuencia, aun siendo una transformación inherentemente no lineal, es lineal si la señal convertida es una versión lineal de la primera desplazada en frecuencia.

Medio de transmisión: Es el medio físico o espacio por el cual se propagan las ondas electromagnéticas. Puede ser espacio libre, cableado, fibra óptica o cualquier medio físico que permita la radiocomunicación.

2.7.2 Parámetros de Interés en un sistema de Radiocomunicación

Sensibilidad:

Es el valor de potencia mínimo para el que el receptor presenta una buena calidad de señal a la salida es uno de los parámetros más importantes de un sistema de radiocomunicación. Generalmente es el ruido el que limita este valor.

La fórmula de Friss se emplea para calcular el factor de ruido total de etapas en serie, cada etapa con su respectiva pérdida o ganancia, en conjunto permiten calcular el ruido total, expresado en la siguiente fórmula:

$$F_{total} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G1} + \frac{F3 - 1}{G1G2} + \frac{F_4 - 1}{G1G2G3} + \cdots + \frac{F_n - 1}{G1G2 \ldots G_{n-1}}$$

donde F_n y G_n son el factor de ruido y la ganancia en potencia disponible, respectivamente en una etapa "n".

$$F_{receptor} = F_{LNA} + \frac{F_{resto} - 1}{G_{LNA}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde $\boldsymbol{F_{resto}}$ es el facto de ruido total de las etapas subsecuentes. De acuerdo a la ecuación, la cifra de ruido total, $\boldsymbol{F_{receptor}}$, es dominada por la cifra de ruido del amplificador de bajo ruido ($\boldsymbol{F_{LNA}}$), si la ganancia es lo bastante alta. [22]

Selectividad:

Los niveles de señales que se reciben en los distintos canales incluidos los adyacentes pueden ser muy distintos, el receptor es más selectivo cuanto más robusto (insensible) es a este efecto. Se puede entender como la capacidad del receptor para seleccionar la estación deseada y discriminar o minimizar señales de canales adyacentes no deseados. Se puede determinar mayormente por la respuesta en frecuencia que presentan algunos circuitos que anteceden al detector, especialmente a los filtros de selección de Frecuencia Intermedia (FI). El tipo de rechazo de señales en un receptor se puede realizar en forma estática o dinámica [22]:

- Dinámica: Emplean dos generadores de frecuencia, uno se sintoniza a la frecuencia nominal del receptor con un nivel cercano al de sensibilidad útil; mientras que el segundo generador se sintoniza a la frecuencia del canal adyacente, ajustando el nivel de salida de este segundo para que la relación SRD/RD se degrade entre 12 a 6 dB, el rechazo es especificado por la diferencia en dB entre ambos generadores.
- Estática: Consiste en evaluar el rechazo de señales no deseadas midiendo la respuesta del receptor ante señales constantes (no variables en el tiempo) provenientes de canales adyacentes. Realizado mediante la utilización de un único generador de frecuencia que se ajusta primero a la frecuencia nominal del receptor para establecer una referencia, y luego se desplaza a las frecuencias de los canales adyacentes. El nivel de atenuación o rechazo de estas señales adyacentes se determina en función de la capacidad del receptor para minimizar su impacto sin afectar la calidad de recepción de la señal deseada. Esta medición está directamente relacionada con el diseño de los filtros en la etapa de Frecuencia Intermedia (FI) y su respuesta.

Margen dinámico:

En el mismo canal el receptor debe poder admitir grandes variaciones de nivel de potencia recibida. Debido a la posición respecto al transmisor estos niveles pueden

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

presentar diferencias de 60-70 dB. Para poder recibir valores grandes, se recurre a variar la ganancia total del receptor mediante el CAG para evitar saturaciones en los dispositivos activos que provocan una distorsión alta [22].

Radiación:

La radiación electromagnética se entiende como una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, transportando, a través del espacio, energía de un lugar a otro. Se comprende cómo las ondas electromagnéticas generadas por las fuentes del campo electromagnético y que se propagan a la velocidad de la luz. La radiación electromagnética se puede propagar en el vacío, a diferencia de las ondas mecánicas, estas no necesitan un medio físico. Las ondas electromagnéticas pueden ser generadas por distintas fuentes como: cargas aceleradas, dipolos oscilantes, corrientes variables en distintos tipos de antenas entre otras. La forma de propagación de las ondas electromagnéticas depende de la forma física de la fuente generadora y de la distancia recorrida por las mismas [22].

2.8 Antenas

Son elementos conductores metálicos capaz de radiar y recibir ondas E.M. del espacio o dispositivos que adaptan ondas guiadas, desde conductores o guías al espacio libre. Las características de las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida. Si las dimensiones de la antena son mucho más pequeñas que la longitud de onda las antenas se denominan elementales, si tienen dimensiones del orden de media longitud de onda se llaman resonantes, y si su tamaño es mucho mayor que la longitud de onda son directivas [23].

2.8.1 Tipos de antenas

Dipolo: El dipolo es la configuración más elemental en el diseño de antenas y sirve como base para muchos otros tipos de antenas. Consta de dos conductores metálicos rectos de la misma longitud, generalmente un cuarto de la longitud de onda de la señal que se desea transmitir o recibir, dispuestos de forma lineal y simétrica respecto a un punto de alimentación central. Este punto de alimentación suele ser donde se conecta el transmisor o receptor. El dipolo radia de manera más eficiente en un patrón de figura de ocho, lo que implica que tiene dos lóbulos principales de radiación en direcciones

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

opuestas. Esta característica lo hace ideal para aplicaciones de radiofrecuencia en las que se requiere una cobertura amplia en direcciones opuestas, pero con una reducción de radiación hacia los extremos [24].

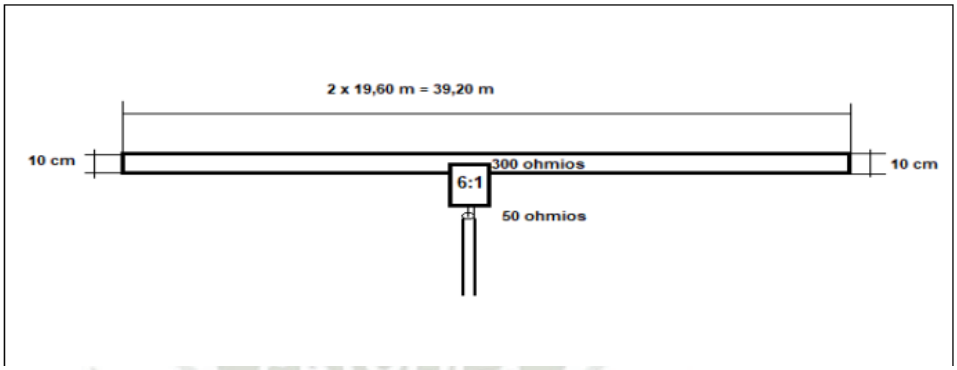


Figura 12: Antena dipolo optimizada para banda de 80m. [24]

Dipolo Multi Elemento: El dipolo multi elemento es una antena que amplía el concepto del dipolo básico al agregar múltiples elementos adicionales, que están orientados y alineados en fase con el dipolo original. Estos elementos adicionales, conocidos como directores y reflectores, no están conectados eléctricamente al punto de alimentación, pero interactúan con las ondas electromagnéticas para modificar el patrón de radiación de la antena. Al agregar estos elementos, se incrementa la directividad y la ganancia, lo que permite una transmisión más enfocada y eficiente en una dirección específica. Este tipo de antena es particularmente útil en aplicaciones donde es necesario minimizar las interferencias de señales provenientes de otras direcciones, como en sistemas de comunicación punto a punto y televisión [24].

Panel Flat o Flat Panel: Las antenas de panel plano, conocidas también como Flat Panel, representan un diseño avanzado que se diferencia por su estructura compacta y delgada. Estas antenas están formadas por un arreglo de radiadores, que son pequeños elementos emisores de señales, dispuestos en una superficie plana y respaldados por un reflector metálico que optimiza la eficiencia de la radiación. La geometría de estas antenas permite que el haz de radiación sea controlado con gran precisión, logrando un patrón de radiación altamente direccional que reduce las pérdidas por dispersión. Esto las convierte en una opción preferida para aplicaciones en las que el espacio es limitado, como en estaciones base de telecomunicaciones, redes de datos inalámbricas de alta

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

capacidad, y comunicaciones por microondas, donde la precisión y la eficiencia son críticas [24].



Figura 13: Antena Flat Panel. Ilustración de Gabriel Antenna (2024) [25]. Recuperado de: www.gabrielantenna.com

Yagi-Uda: Las antenas Yagi-Uda, comúnmente denominadas Yagi, son una clase de antena direccional que combina un dipolo activo con varios elementos directores y, en algunos casos, un reflector. El diseño básico de una antena Yagi incluye un solo dipolo alimentado, que actúa como el radiador principal, y varios elementos pasivos colocados en una estructura lineal, que sirven para redirigir y concentrar las ondas de radio.

Los directores, que se ubican delante del dipolo, incrementan la directividad de la antena, mientras que el reflector, ubicado detrás del dipolo, refuerza la señal hacia adelante y minimiza la radiación hacia atrás. La antena Yagi es altamente eficiente para aplicaciones en las que se requiere una señal enfocada en una dirección específica, como en la recepción de señales de televisión, radiocomunicaciones de largo alcance, y en algunos sistemas de radar [24].

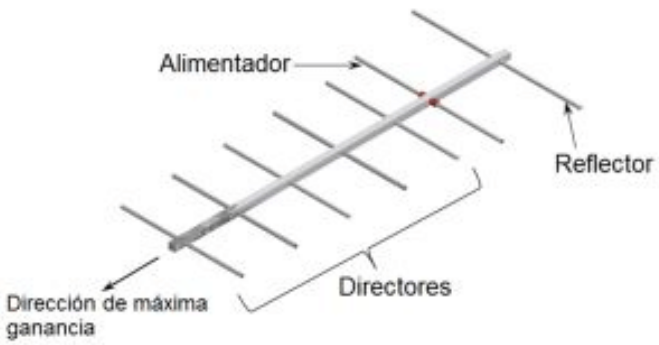


Figura 14: Antena Yagi-Uda y sus partes. Propuestas de antenas activas para la recepción de la televisión digital terrestre en cuba, por Tuan Cordoví, 2016. Recuperado de:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Caracteristicas-fisicas-de-la-antena-Uda-Yagi-Estas-antenas-poseen-como_fig1_312056716

Parabólica: Las antenas parabólicas son sistemas de alta precisión diseñados para maximizar la ganancia y la direccionalidad en la recepción y transmisión de ondas electromagnéticas. Su estructura principal es un reflector parabólico, cuya forma geométrica permite concentrar las ondas de radio que inciden sobre su superficie en un punto focal preciso, donde generalmente se coloca el receptor o el emisor de la señal, conocido como feed horn.

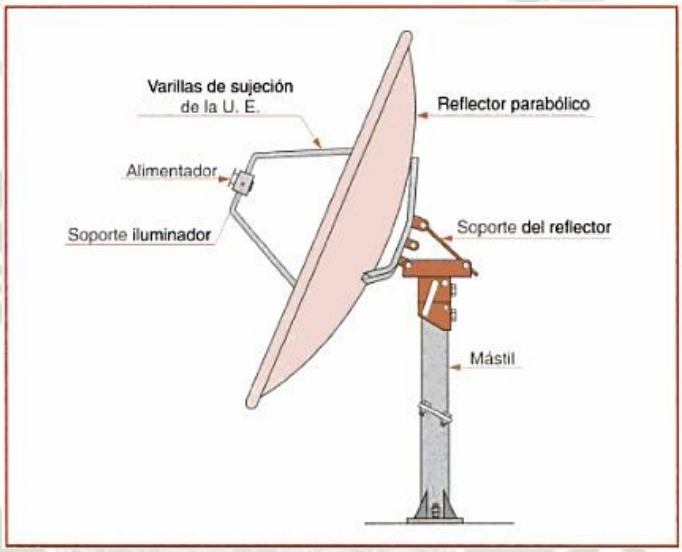


Figura 15: Antena parabólica y sus partes. Recuperado de "Tipos de antenas", por Antenas13, s.f., Blogspot. Recuperado de https://antenas13.blogspot.com/p/tipos-de-antenas.html

Debido a esta capacidad de concentración de señales, las antenas parabólicas son excepcionalmente útiles en aplicaciones que requieren la recepción de señales débiles desde distancias muy grandes, como en comunicaciones por satélite, exploración espacial, radioastronomía, y sistemas de telecomunicaciones terrestres de alta capacidad. La direccionalidad extrema de estas antenas también las hace ideales para minimizar las interferencias y maximizar la relación señal/ruido en entornos congestionados [24].

Microstrip: Las antenas de Microstrip, conocidas también como antenas de parche, son antenas planas y de bajo perfil, ideales para aplicaciones donde el espacio y el peso son factores críticos. Estas antenas se componen de un parche conductor situado sobre un material dieléctrico, que a su vez descansa sobre un plano de tierra metálico. El parche,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

usualmente hecho de cobre o aluminio, es responsable de la radiación electromagnética cuando se le aplica una señal de radiofrecuencia, con la frecuencia de operación determinada principalmente por sus dimensiones y las propiedades del dieléctrico. Una de las mayores ventajas de las antenas de Microstrip es su capacidad para integrarse fácilmente con circuitos impresos, lo que facilita la creación de dispositivos compactos y ligeros. Además, su fabricación es sencilla y económica, lo que permite la producción en masa. Sin embargo, presentan algunas limitaciones, como un ancho de banda relativamente estrecho y una eficiencia que puede verse afectada por las pérdidas en el material dieléctrico y las corrientes superficiales, lo que las hace menos efectivas en comparación con otros tipos de antenas.

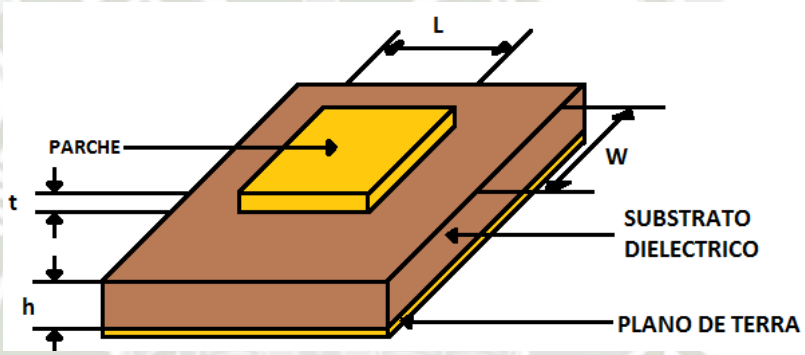


Figura 16: Antena Microstrip. Simulation and Analysis of the Radiation Pattern of Microstrip Patch-Type Antenna. (Febrero de 2013). [26].

Estas antenas se utilizan ampliamente en sistemas donde el tamaño y la facilidad de integración son esenciales, como en dispositivos móviles, sistemas GPS, comunicaciones satelitales, y antenas RFID. A pesar de sus limitaciones, su perfil bajo y su capacidad de fabricación masiva las hacen una opción popular en una variedad de aplicaciones tecnológicas avanzadas [24].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

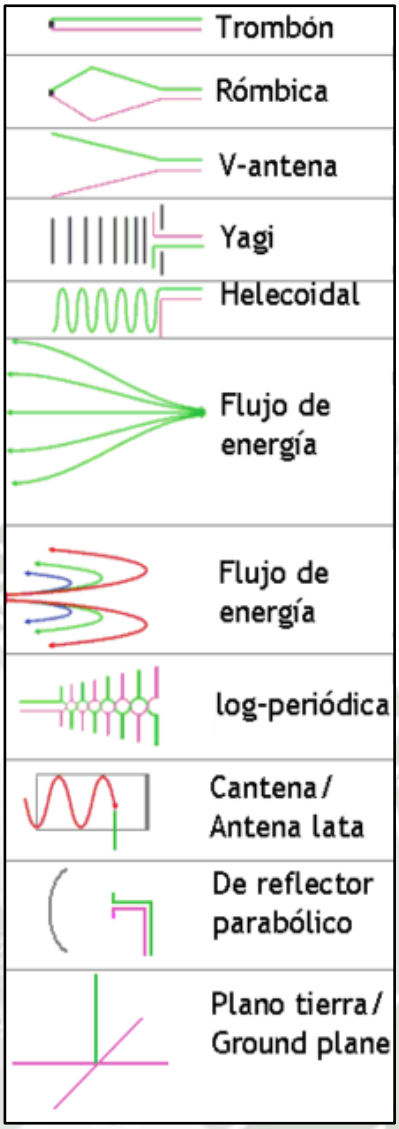


Figura 17: Representación de tipos de Antenas. [27]

2.8.2 Patrón de radiación

El patrón de radiación de una antena es una representación gráfica que describe cómo se distribuye la energía electromagnética que ésta emite en el espacio. Este gráfico puede presentarse de forma bidimensional o tridimensional, y es fundamental para entender la eficiencia y el alcance de la antena en diferentes direcciones. Un patrón de radiación bidimensional normalmente se proyecta en un plano, ya sea horizontal o vertical, mostrando cómo varía la intensidad de la señal en relación con la posición angular alrededor de la antena. Estos patrones se ilustran comúnmente mediante diagramas polares, que permiten visualizar las zonas de mayor y menor radiación, proporcionando una visión clara de la directividad de la antena [28].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Existen dos tipos de representaciones:

- Patrón de elevación: Este tipo de representación muestra la distribución de la radiación desde un ángulo lateral o de perfil, lo que permite observar cómo se emite la energía en el plano vertical. Nos permite analizar cómo la antena proyecta su señal hacia el horizonte o hacia el cielo, especialmente en aplicaciones de comunicación que requieren cobertura en varias altitudes. El patrón de elevación es particularmente útil para antenas instaladas en torres o estructuras elevadas, donde la cobertura en el plano vertical es un factor determinante. (Fig. 18a)

- Patrón de Azimuth: Este tipo de representación muestra la distribución de la radiación desde un ángulo lateral o de perfil, lo que permite observar cómo se emite la energía en el plano vertical. Esta vista permite para analizar cómo la antena proyecta su señal hacia el horizonte o hacia el cielo, especialmente en aplicaciones de comunicación que requieren cobertura en varias altitudes. El patrón de elevación es particularmente útil para antenas instaladas en torres o estructuras elevadas, donde la cobertura en el plano vertical es un factor determinante. (Fig. 18b)

Cuando se combinan estos dos patrones, el resultado es una representación tridimensional que ofrece una imagen completa de cómo la antena irradia su señal en el espacio circundante. Esta combinación permite evaluar la performance de la antena en todas las direcciones posibles, proporcionando una herramienta integral para el diseño y optimización de sistemas de comunicación. La visualización tridimensional (Fig. 18c) es esencial para aplicaciones avanzadas, como el diseño de antenas para satélites o sistemas de radar, donde es fundamental entender cómo la energía se distribuye en un entorno tridimensional complejo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

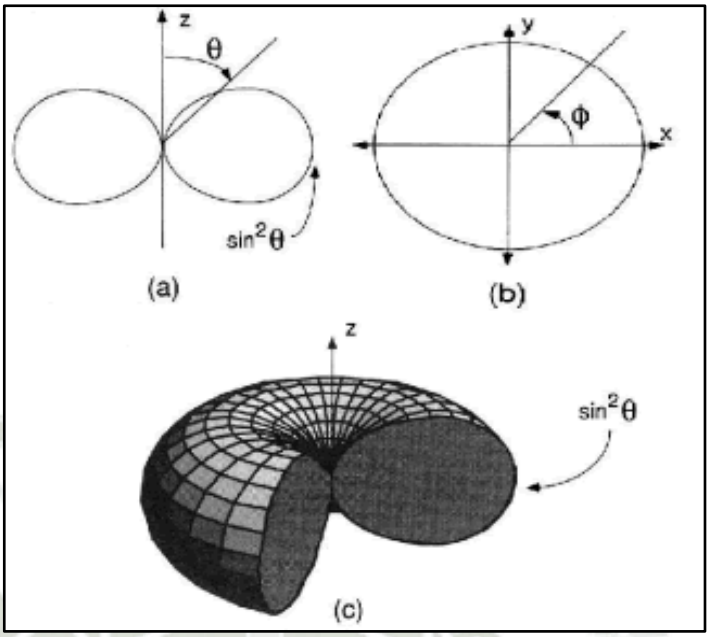


Figura 18: Representación de Patrones de radiación. Tipos de antenas, características y funcionamiento [29],

2.8.3 Características de las antenas

Ganancia:

La ganancia de una antena es una de las características más fundamentales e importantes en el diseño y análisis de sistemas de radiocomunicaciones. Este parámetro indica cuán eficiente es una antena al dirigir la energía electromagnética en una dirección específica en comparación con una antena isotrópica, que es un modelo teórico que irradia uniformemente en todas las direcciones con igual intensidad. La ganancia se define como la relación entre la potencia radiada en una dirección específica y la potencia que se hubiera radiado por una antena isotrópica ideal en las mismas condiciones de entrada. Matemáticamente, la ganancia (G) de una antena en una dirección particular se expresa como [28]:

$$\boldsymbol{G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}}$$

Donde:

- **G:** representa la ganancia de la antena. Este término mide la eficiencia con la cual la antena dirige la energía electromagnética en una dirección específica en comparación con una antena isotrópica, que es una fuente teórica que radia igualmente en todas las direcciones.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Ae:** es el área efectiva de la antena, también conocida como área de apertura efectiva. Este parámetro cuantifica la capacidad de la antena para captar o radiar energía electromagnética. Cuanto mayor sea el área efectiva, mayor será la energía que la antena puede recibir o emitir en una dirección determinada.
- **λ:** Longitud de onda de la señal electromagnética que recibe o transmite, está determinada por $\lambda=c/f$, donde c es la velocidad de la luz en el vacío.
- **4π**: Es el factor geométrico que surge de la consideración de la radiación en un espacio tridimensional. Este factor se relaciona con la superficie de una esfera en coordenadas esféricas, que es 4π estereorradianes, y se utiliza para normalizar la ganancia respecto a una antena isotrópica que irradia uniformemente en todas las direcciones.

Polarización:

La polarización es una característica que describe la orientación del campo eléctrico de las ondas electromagnéticas que una antena emite o recibe. Esta propiedad determina cómo interactúa la señal con el entorno y con otras antenas. La elección de la polarización adecuada puede influir significativamente en la eficiencia de la transmisión y recepción de señales. Puede ser de los siguientes tipos **[28]**:

- Vertical: El campo eléctrico se orienta perpendicularmente al horizonte terrestre. Este tipo de polarización es común en sistemas de radiocomunicaciones terrestres y móviles. Su orientación vertical permite una mejor interacción con estructuras y objetos verticales, como edificios y árboles, lo que puede mejorar la propagación de la señal en entornos urbanos densos.
- Horizontal: Aquí, el campo eléctrico se alinea paralelo al horizonte terrestre. Esta polarización es especialmente útil en áreas abiertas o sobre superficies planas, como cuerpos de agua, ya que reduce los efectos adversos de las reflexiones del suelo. Esto contribuye a una mayor estabilidad y claridad de la señal en dichas condiciones, siendo ideal para aplicaciones donde la superficie de propagación es predominantemente horizontal.
- Circular: Para este caso el campo eléctrico gira a lo largo del tiempo, describiendo un movimiento circular en el plano de propagación. Este giro puede ser en sentido horario o antihorario, dependiendo de la dirección de rotación. La polarización circular es ventajosa en aplicaciones donde la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

orientación relativa entre la antena emisora y receptora cambia continuamente, como en sistemas de comunicaciones móviles o satelitales, asegurando que la señal mantenga su integridad independientemente de la alineación de la antena receptora.

- Elíptica: Similar a la polarización circular, la polarización elíptica se caracteriza por una variación en la magnitud del campo eléctrico en diferentes direcciones, formando una elipse en lugar de un círculo. Esta polarización puede resultar de imperfecciones en el diseño de la antena o en el medio de propagación. Aunque menos común, es relevante en aplicaciones donde la precisión de la polarización es crítica para el rendimiento del sistema, ya que cualquier desalineación o variación puede impactar la eficiencia y calidad de la transmisión.
- Doble Polarización: Este tipo de polarización permite que una antena opere simultáneamente en dos polarizaciones ortogonales, generalmente vertical y horizontal. La doble polarización es especialmente útil en sistemas MIMO (Multiple Input Multiple Output) y en comunicaciones que requieren la transmisión y recepción de múltiples señales independientes en un solo canal. Esta configuración mejora la eficiencia espectral y la capacidad de las comunicaciones al reducir la interferencia y permitir la transmisión de más datos a través de distintos caminos de polarización.

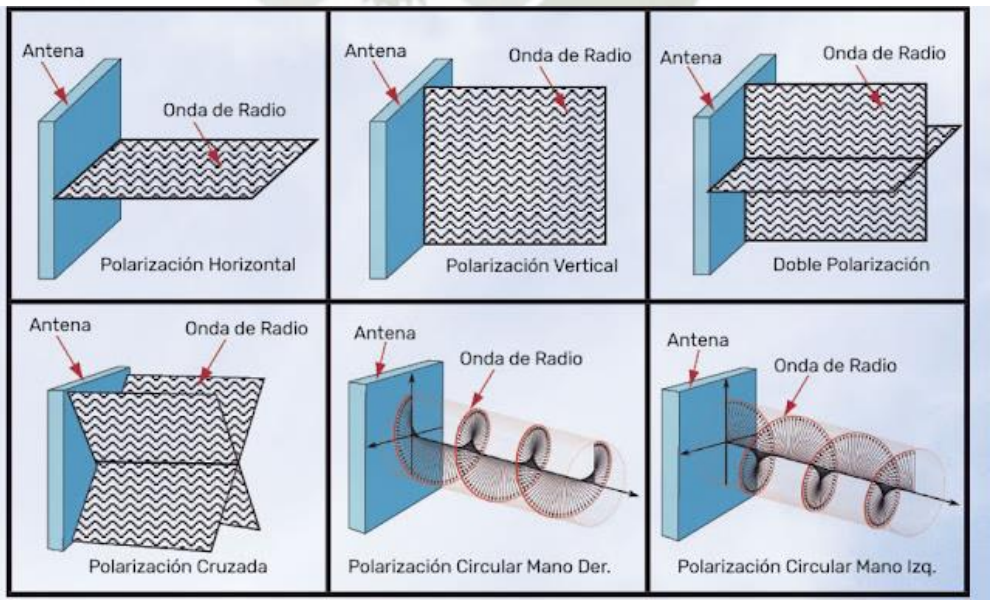


Figura 19: Tipos de polarización de antenas y su propagación. Polarización de las antenas [30].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ancho de haz:

El ancho angular del haz principal determina como se concentra la energía en una dirección particular. Se refiere al ángulo que abarca el haz principal de radiación de la antena, siendo una medida directa de la directividad y la precisión con la que la antena puede enfocar la señal. Este concepto se define con mayor precisión a través del ancho de haz a media potencia o ancho de haz a -3 dB, el cual es el ángulo comprendido entre dos puntos en el haz donde la potencia se reduce en 3 dB con respecto al valor máximo alcanzado en el centro del haz.

Este ancho de haz a media potencia es particularmente importante porque determina la capacidad de la antena para diferenciar entre señales provenientes de direcciones cercanas. Un haz más estrecho significa que la antena está concentrando más energía en una dirección específica, lo que se traduce en una mayor directividad y, por lo tanto, en una mejor capacidad para enfocar y recibir señales en esa dirección. Por el contrario, un haz más amplio indica que la energía se distribuye en un área mayor, lo que puede ser deseable en aplicaciones que requieren una cobertura más extensa en lugar de una alta precisión direccional.

En la Fig. 20 se muestra cómo se identifica este ancho de haz a media potencia, destacando los puntos en el patrón de radiación donde la potencia cae a 3 dB por debajo del máximo. [28]

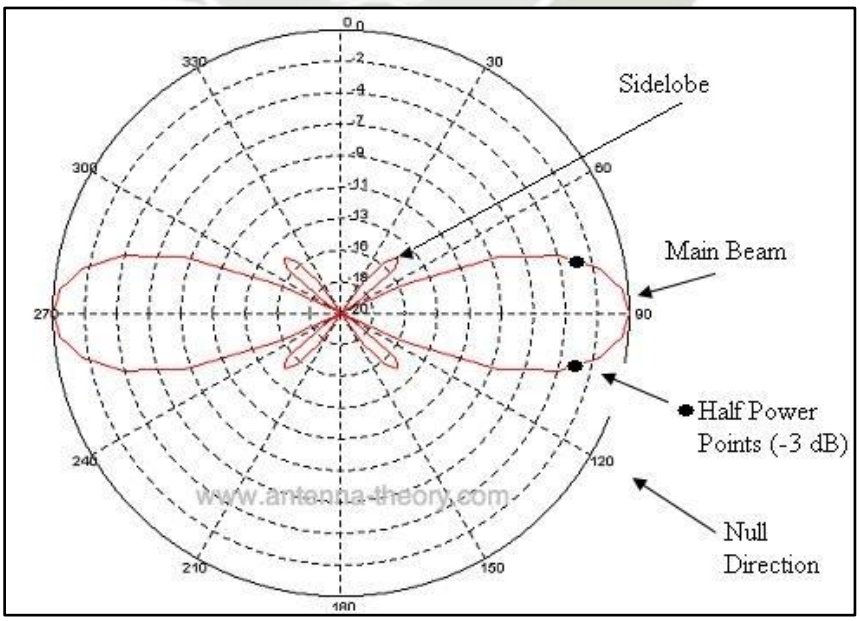


Figura 20: Patrón polar de radiación. Antenna theory. [30]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.8.4 Parámetros de Scattering

Los parámetros de dispersión o scattering(S), constituyen una de las metodologías más empleadas en la caracterización de antenas y sistemas de radiofrecuencia en términos de transmisión y reflexión de señales electromagnéticas. Debido a que, en altas frecuencias, es complejo medir con precisión los voltajes y corrientes de forma directa, los parámetros S describirán las relaciones de entrada-salida de las ondas de potencia entre puertos de una red eléctrica. Estos parámetros se fundamentan en la teoría de redes de ondas viajeras, proporcionando una descripción matemática del comportamiento de una antena ante excitaciones externas, considerando las pérdidas, acoplamientos y adaptaciones de impedancia en el dominio de la frecuencia. Cuando una onda electromagnética se encuentra con una obstrucción o cruza un medio dieléctrico diferente, se "dispersa", debido a que se presenta una discontinuidad entre elementos o una red, lo que origina un desajuste de impedancia, también parte de la energía se ve reflejada, mientras que el resto se transmite, resultando finalmente en una atenuación o amplificación de señal [31].

Dado un sistema de N puertos, los parámetros $\boldsymbol{S_{ij}}$ se definen como la relación entre las ondas reflejadas y transmitidas en cada puerto. Para una red de dos puertos, la relación entre las ondas incidentes y reflejadas son expresadas como:

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{b_1} \\ \boldsymbol{b_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{S_{11}} & \boldsymbol{S_{12}} \\ \boldsymbol{S_{21}} & \boldsymbol{S_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{a_1} \\ \boldsymbol{a_2} \end{bmatrix}$$

Donde:

- $\boldsymbol{a_n}$ representa la onda incidente en el puerto n.
- $\boldsymbol{b_n}$ representa la onda reflejada en el puerto n.
- $\boldsymbol{S_{ij}}$ es el parámetro de dispersión que describe la transferencia de energía desde el puerto *j* a puerto *i*.

Cada parámetro $\boldsymbol{S_{ij}}$ está definido como:

$$\boldsymbol{S_{ij}} = \left.\frac{\boldsymbol{b_i}}{\boldsymbol{a_j}}\right|_{\boldsymbol{a_k=0, k\neq j}}$$

Y se interpreta como: $\boldsymbol{S_{ij}}$ es la relación entre la onda reflejada en el puerto $\boldsymbol{i}$ cuando se presenta una onda incidente en el puerto $\boldsymbol{j}$, manteniendo los demás puertos terminados

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

en carga adaptada para evitar reflexiones externas. Cada coeficiente tiene $\boldsymbol{S_{ij}}$ tiene una interpretación física en términos de transmisión y reflexión de señales:

1. $\boldsymbol{S_{11}}$- Coeficiente de reflexión de entrada:

   Representa el coeficiente de reflexión en el puerto 1 cuando no hay señal incidente en el puerto 2. Indica cuánta energía de la onda incidente en el puerto 1 es reflejada debido a desadaptaciones de impedancia. En antenas, este valor está representa la cantidad de señal reflejada en la entrada de la antena debido a desadaptación de impedancia y se encuentra directamente relacionado con el retorno de pérdidas (RL), expresado en dB como:

   $$\boldsymbol{RL = -20 * \log |S_{11}|}$$

2. $\boldsymbol{S_{21}}$- Coeficiente de transmisión directa:

   Indica cuánta energía de la señal inyectada en el puerto 1 es transferida al puerto 2. En una antena, puede representar la eficiencia con la que una señal es radiada o recibida en condiciones de espacio libre. Definido como:

   $$\boldsymbol{S_{21} = \frac{b_2}{a_1}}$$

3. $\boldsymbol{S_{12}}$- Coeficiente de transmisión inversa:

   Representa la transmisión de la señal en sentido opuesto. En sistemas pasivos sin acoplamiento direccional, $\boldsymbol{S_{12}}$es igual a $\boldsymbol{S_{21}}$ debido a la reciprocidad.

   $$\boldsymbol{S_{11} = \frac{b_1}{a_2}}$$

4. $\boldsymbol{S_{22}}$- Coeficiente de reflexión de salida:

   Indica el nivel de reflexión en el puerto 2 cuando se inyecta una señal en ese puerto, describiendo la adaptación de impedancia en la salida del sistema. En el caso de sistemas de múltiples antenas, puede indicar cómo se reflejan las señales entre ellas.

   $$\boldsymbol{S_{22} = \frac{b_2}{a_2}}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.8.5 Relación de Onda Estacionaria de Voltaje (VSWR)

La Relación de Onda Estacionaria de Voltaje (VSWR, por sus siglas en inglés: Voltage Standing Wave Ratio) que mide el nivel de desadaptación de impedancia entre una línea de transmisión y su carga (antena u otro dispositivo). Un VSWR alto indica que una parte significativa de la señal es reflejada hacia la fuente, mientras que un VSWR bajo indica que la mayor parte de la energía es transmitida a la carga sin reflejos significativos hacia el transmisor. Está definido en términos del coeficiente de reflexión **Γ**, el cual es la relación entre la onda reflejada y la onda incidente en un punto de la línea de transmisión [32]:

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Donde:

- Z_L es la impedancia de carga (por ejemplo, la antena).
- Z_0 es la impedancia característica de la línea de transmisión.

Luego, el VSWR se expresa como:

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

Si no existe desadaptación, $Z_L = Z_0$, entonces $\Gamma = 0$ y VSWR=1, indicaría una transferencia de energía perfecta de la señal. En el caso contrario si la desadaptación de impedancias es severa, ($Z_L \to \infty$ *o* $Z_L \to 0$), entonces $|\Gamma| \to 1$ y VSWR tenderá a infinito, significando que toda la energía será reflejada al emisor de la señal.

Para aplicaciones prácticas [15], el VSWR es usado para evaluar la eficiencia de la antena o cualquier carga conectada a una línea de transmisión según su valor:

VSWR	Nivel de adaptación	Pérdida por reflexión
1.0:1	Adaptación ideal	0% de potencia reflejada
1.5:1	Alto nivel de adaptación	~4% de potencia reflejada
2.0:1	Aceptable	~**11**% de potencia reflejada
3.0:1	Baja	~**25**% de potencia reflejada

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

10:1	Severa desadaptación	~**67**% de potencia reflejada

Tabla 2: Interpretación práctica de VSWR RTL2832U. Elaboración Propia.

El VSWR está relacionado con el parámetro de dispersión $\boldsymbol{S_{11}}$, que mide la cantidad de energía reflejada en la entrada de un dispositivo:

$$\boldsymbol{S_{11}(en\ dB) = 20\log\ |\Gamma|}$$

Para convertir $\boldsymbol{S_{11}}$en VSWR:

$$\boldsymbol{VSWR = \frac{1 + 10^{S_{11}/20}}{1 - 10^{S_{11}/20}}}$$

2.9 Global Positioning System (GPS)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es una red de satélites que proporciona servicios de localización y tiempo, permitiendo a los usuarios determinar su posición con alta precisión en cualquier parte del mundo. Este sistema, desarrollado inicialmente por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, opera de manera continua, independientemente de las condiciones meteorológicas, y es fundamental en aplicaciones civiles y militares.

El GPS consta de tres segmentos principales: el segmento espacial, el segmento de control, y el segmento del usuario. El segmento espacial está formado por una constelación de al menos 24 satélites distribuidos a lo largo de seis órbitas circulares con una inclinación de 55 grados respecto al plano ecuatorial y una altitud de aproximadamente 20,200 kilómetros. Cada satélite completa una órbita alrededor de la Tierra aproximadamente cada 12 horas. Estos satélites emiten señales en dos frecuencias principales: L1 (1575.42 MHz) y L2 (1227.60 MHz), que transportan la información necesaria para el cálculo de la posición, como las efemérides (información precisa de la órbita del satélite) y el almanaque (información de la órbita de todos los satélites del sistema) [33].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.9.1 Efemérides

Las efemérides son datos precisos sobre la posición y la velocidad de un satélite específico en un momento determinado. Este conjunto de información se transmite directamente desde cada satélite y se actualiza con frecuencia, normalmente se da cada 30 segundos. La efeméride incluye detalles sobre la órbita actual del satélite, la hora exacta de la transmisión, y otros parámetros necesarios para calcular con precisión la posición del satélite en el espacio.

La información contenida en la efeméride es crucial porque permite al receptor GPS calcular la distancia exacta al satélite, lo que es fundamental para la trilateración. Debido a que la posición del satélite en su órbita puede cambiar ligeramente debido a perturbaciones gravitacionales y otros factores ambientales, las efemérides deben ser lo más precisas posible para evitar errores en el cálculo de la posición del receptor [34].

2.9.2 Almanaque

El almanaque, por otro lado, es un conjunto de datos más general que incluye información aproximada sobre la órbita de todos los satélites en la constelación GPS (o en otras constelaciones GNSS en caso de receptores multi-GNSS). A diferencia de las efemérides, que se actualizan con frecuencia, el almanaque se actualiza aproximadamente cada 12,5 minutos, y contiene datos más imprecisos.

El almanaque ayuda al receptor GPS a localizar rápidamente qué satélites están disponibles y dónde se encuentran aproximadamente en el cielo en un momento dado. Esto es particularmente útil cuando el receptor se enciende por primera vez y necesita una estimación inicial de forma rápida para saber hacia dónde apuntar su antena para recibir señales de los satélites correctos. Con esta información, el receptor puede comenzar a buscar señales específicas y descargar las efemérides correspondientes para esos satélites.

Mientras que el almanaque proporciona una visión general de la ubicación de los satélites, permitiendo al receptor saber qué satélites son visibles, las efemérides brindan la información detallada necesaria para realizar cálculos de posición precisos. Ambos conjuntos de datos son esenciales para que los receptores GPS determinen la ubicación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

geográfica con alta precisión. El segmento de control está compuesto por estaciones terrestres ubicadas en diferentes puntos del mundo. Estas estaciones monitorean la órbita y el estado de los satélites GPS, calculan correcciones y actualizan los datos de los satélites. La estación de control principal se encuentra en la base de la fuera aérea en Colorado Springs, EE.UU., y es responsable de la sincronización de los relojes atómicos a bordo de los satélites, asegurando la precisión temporal esencial para el funcionamiento del sistema. La sincronización temporal es crítica, ya que un error de un nanosegundo puede traducirse en un error de posición de aproximadamente 30 centímetros en el mapa.

El segmento del usuario incluye todos los dispositivos que reciben y procesan las señales GPS para determinar su posición. Estos receptores captan las señales de al menos cuatro satélites para calcular su ubicación en tres dimensiones (latitud, longitud y altitud) mediante un proceso llamado trilateración. La trilateración se basa en el cálculo de las distancias a cada satélite, determinado por el tiempo que tarda la señal en viajar desde el satélite hasta el receptor, multiplicado por la velocidad de la luz (aproximadamente 299,792,458 m/s). Para lograr esto, el receptor GPS necesita conocer la hora exacta en la que la señal fue transmitida, lo cual es posible gracias a los relojes atómicos de alta precisión instalados en los satélites.

Cada satélite GPS transmite dos tipos de código: C/A code (Coarse/Acquisition) en la frecuencia L1, utilizado para aplicaciones civiles, y P(Y) code (Precise) en las frecuencias L1 y L2, utilizado para aplicaciones militares con mayor precisión y resistencia a interferencias. Los receptores más avanzados pueden utilizar correcciones diferenciales, como el DGPS (Differential GPS), para mejorar la precisión de la posición a un nivel centimétrico. Estos sistemas diferenciales utilizan una red de estaciones de referencia fijas cuya posición es conocida con alta precisión. Comparando las señales recibidas por estas estaciones con las predichas, se calculan correcciones que se transmiten a los usuarios cercanos para mejorar la precisión de sus mediciones.Además, para compensar los efectos ionosféricos que afectan la propagación de las señales de radio, los receptores GPS de doble frecuencia (L1 y L2) pueden comparar la diferencia en el tiempo de llegada de las señales en ambas frecuencias y corregir el error inducido

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

por la ionosfera. Esto es particularmente importante en aplicaciones donde la precisión es crítica, como en la navegación aérea o en estudios geodésicos.

El GPS también es integrable con otros sistemas de navegación global por satélite, como GLONASS (Rusia), Galileo (Europa), y BeiDou (China), permitiendo a los receptores multi-GNSS mejorar la disponibilidad y precisión de las mediciones. Esta integración es fundamental para aplicaciones que requieren alta precisión y disponibilidad, como la agricultura de precisión, la geodesia, y la navegación autónoma [35].

2.10. QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)

El Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) es un sistema de navegación por satélite desarrollado por Japón, diseñado para mejorar el rendimiento del GPS en la región de Asia-Pacífico. Los satélites de QZSS operan en órbitas altamente elípticas con una inclinación de aproximadamente 43 grados, lo que les permite mantenerse en una posición casi cenital sobre Japón durante la mayor parte del día. Esta configuración orbital proporciona una mejora significativa en la disponibilidad y calidad de la señal en áreas donde los obstáculos físicos, como edificios altos y montañas, pueden interferir con las señales de otros satélites GNSS.

QZSS transmite señales en la banda L1 C/A, que es la misma banda utilizada por el sistema GPS para su señal de código de acceso civil. Esta compatibilidad permite a los dispositivos de navegación combinar las señales de QZSS con las de GPS, lo que resulta en una mayor precisión y fiabilidad. Además de la señal L1 C/A, QZSS también transmite señales en las bandas L2C y L5, utilizadas para mejorar la precisión y reducir el efecto de la ionosfera en la propagación de la señal. Actualmente, la constelación de QZSS incluye cuatro satélites operativos, y se espera que aumente en el futuro para proporcionar aún más cobertura y mejorar la precisión en toda la región [36].

2.11 GLONASS (Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema)

GLONASS, desarrollado por Rusia, es un sistema de navegación global por satélite que ofrece una alternativa o complemento al GPS. La constelación GLONASS consiste en 24 satélites activos distribuidos en tres planos orbitales con una inclinación de 64.8 grados y una altitud aproximada de 19,100 kilómetros. Estos satélites operan en órbitas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

circulares medias y están dispuestos de manera que cualquier punto de la Tierra esté cubierto por al menos cinco satélites en todo momento, lo que garantiza una cobertura global continua.

Las señales GLONASS se transmiten en la banda L1OF, que corresponde a la frecuencia de 1602 MHz, y en la banda L2OF en 1246 MHz. Los satélites GLONASS también utilizan una técnica de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), lo que significa que cada satélite transmite en una frecuencia diferente dentro de las bandas L1 y L2. Esta estructura permite que los receptores identifiquen y rastreen múltiples satélites simultáneamente. La combinación de señales de GLONASS con otros sistemas GNSS, como GPS o BeiDou, mejora la precisión y la robustez del posicionamiento, especialmente en entornos urbanos densamente poblados o en latitudes altas donde las señales de GPS pueden ser menos efectivas [37].

2.12 BeiDou

Es el sistema de navegación por satélite desarrollado y operado por China, que ha evolucionado desde un sistema regional en su primera fase hasta un sistema global completo en su versión más reciente, BeiDou-3. La constelación de BeiDou está compuesta por más de 30 satélites, incluyendo satélites en órbitas geoestacionarias (GEO), órbitas inclinadas geoestacionarias (IGSO), y órbitas medias terrestres (MEO). Esta combinación de órbitas proporciona cobertura global con una alta densidad de satélites visibles en la región de Asia-Pacífico.

Las señales de BeiDou se transmiten en varias bandas, siendo la B1 (1561.098 MHz) la principal utilizada para aplicaciones civiles. Además de B1, BeiDou también utiliza las bandas B2 (1207.140 MHz) y B3 (1268.520 MHz) para mejorar la precisión y permitir aplicaciones de posicionamiento de alta precisión, como en la topografía y la geodesia. Los satélites en órbitas GEO de BeiDou proporcionan una cobertura constante sobre Asia, mientras que los satélites en órbitas MEO y IGSO contribuyen a la cobertura global. La integración de BeiDou con otros sistemas GNSS permite una mayor redundancia y fidelidad, lo que es particularmente ventajoso en aplicaciones críticas como la gestión de flotas y la navegación de vehículos autónomos [38].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.13 SBAS (Satellite-Based Augmentation Systems)

Los Sistemas de Aumentación Basados en Satélites (SBAS) son tecnologías de augmentación diseñadas para mejorar la precisión, integridad, y disponibilidad de los sistemas GNSS tradicionales mediante la transmisión de correcciones en tiempo real. Estos sistemas utilizan satélites geoestacionarios para enviar datos de corrección que ajustan las señales de los satélites GNSS, mejorando significativamente la precisión del posicionamiento. Los sistemas SBAS más conocidos incluyen:

- WAAS (Wide Area Augmentation System): Operado en América del Norte, WAAS proporciona correcciones de ionosfera, reloj y órbita para mejorar la precisión de los receptores GPS, logrando una precisión horizontal de hasta 1 metro.
- EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service): EGNOS es el sistema europeo de augmentación, que mejora la precisión y fiabilidad de las señales GNSS sobre Europa. Al igual que WAAS, EGNOS transmite en la banda L1 C/A y es crucial para aplicaciones que requieren precisión submétrica.
- MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System): MSAS es el sistema japonés que ofrece servicios de augmentación similares a WAAS y EGNOS, mejorando la precisión del GPS en la región de Asia-Pacífico.

Los sistemas SBAS operan principalmente en la banda L1 C/A (1575.42 MHz) y están diseñados para aplicaciones que requieren alta precisión, como la navegación aérea de precisión (PBN), donde la seguridad y la exactitud son críticas. Estos sistemas son esenciales en la aviación para el aterrizaje de precisión, permitiendo a las aeronaves aterrizar en condiciones de visibilidad reducida, y son cada vez más importantes en otras aplicaciones civiles como la agricultura de precisión y la gestión de recursos naturales [39].

3. Software y Herramientas

3.1 Dispositivo SDR

El Dispositivo de Radio Definida por Software (SDR, por sus siglas en inglés) constituye un sistema de radio que se distingue por realizar funciones tradicionalmente implementadas en hardware mediante procesos controlados por software. A diferencia de las radios convencionales, que dependen de circuitos específicos para operaciones

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

como la modulación, demodulación, filtrado y amplificación de señales, un SDR utiliza componentes de hardware genéricos, como conversores analógico-digitales (ADC) y digitales-analógicos (DAC). Estos componentes, en combinación con un software adecuado, permiten que el dispositivo ejecute una amplia gama de funciones, adaptándose a diferentes estándares de comunicación y frecuencias sin la necesidad de modificaciones físicas en su estructura [40].

La principal ventaja de un dispositivo SDR radica en su notable flexibilidad y capacidad de adaptación. En un contexto en el que las tecnologías de telecomunicaciones evolucionan constantemente, la capacidad de un SDR para actualizar y modificar sus características a través de software, sin necesidad de cambios en el hardware, lo convierte en una herramienta indispensable. Esta característica es particularmente valiosa en el ámbito de la investigación y desarrollo, donde la versatilidad del SDR permite a los ingenieros experimentar con nuevos esquemas de modulación y transmisión, superando las limitaciones inherentes al hardware tradicional.

Además, el desarrollo y la masificación de dispositivos SDR han democratizado el acceso a tecnologías avanzadas de radiofrecuencia. El costo relativamente bajo de estos dispositivos, combinado con la disponibilidad de software de código abierto como GNU Radio y bibliotecas como RTL-SDR, ha permitido que tanto profesionales como entusiastas de la radio puedan diseñar y construir sistemas de radio personalizados. Estas herramientas han facilitado la creación de soluciones innovadoras en diversas aplicaciones, desde proyectos de radioaficionados hasta investigaciones avanzadas en comunicaciones y procesamiento de señales.



Figura 21: SDR compactos con conexión USB [41].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El rol de los SDR en la transición hacia sistemas de comunicación definidos por software ha sido fundamental en los últimos años. En áreas como el monitoreo del espectro, la guerra electrónica y las comunicaciones seguras, la capacidad de los SDR para operar en un amplio rango de frecuencias y adaptarse rápidamente a nuevos estándares representa una ventaja estratégica significativa. Esta capacidad de evolución y actualización continua subraya la importancia de los SDR en el presente y futuro de las telecomunicaciones, posicionándolos como una tecnología clave en un entorno en constante cambio.

3.2 RTL2832

El RTL2832 es un chip receptor de señales de radiofrecuencia desarrollado por Realtek, originalmente diseñado para ser utilizado en dongles USB de televisión digital terrestre (DVB-T). Es capaz de recibir y procesar señales en un amplio rango de frecuencias, típicamente desde 24 MHz hasta 1.7 GHz, dependiendo del modelo y la configuración del sintonizador asociado. Este rango cubre una gran cantidad de bandas de radio utilizadas en comunicaciones comerciales, amateur, aviación, meteorología y muchas otras aplicaciones. El chip incluye un demodulador DVB-T, pero su característica más destacada para SDR es su capacidad para enviar datos I/Q sin procesar directamente al ordenador, permitiendo así el análisis y decodificación de señales en tiempo real mediante software especializado. Se encuentra configurado comúnmente con un sintonizador como el R820T o R820T2, que son ampliamente compatibles y permiten ajustar con precisión las frecuencias dentro del rango operativo del RTL2832.

Estos sintonizadores ofrecen una buena relación señal/ruido y permiten la recepción de señales con una resolución de hasta 8 bits por muestra, lo que es suficiente para la mayoría de las aplicaciones SDR. El RTL2832 funciona en modos de operación diferentes, lo que incluye la recepción de señales AM, FM, y banda lateral única (SSB), además de señales digitales como DVB-T, ADS-B (para seguimiento de aeronaves), AIS (para monitoreo de tráfico marítimo), y otros modos de radiocomunicaciones digitales. Su capacidad para decodificar una amplia gama de señales lo convierte en una herramienta versátil en la investigación y experimentación de radiofrecuencia [41].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

También es conocido por su bajo consumo de energía, lo que lo hace ideal para ser utilizado en dispositivos portátiles o embebidos. Su interfaz USB lo convierte en un receptor fácil de usar y conectar, compatible con una amplia variedad de sistemas operativos y software SDR, como GNU Radio, SDR#, HDSDR, entre otros. Además, el soporte para el RTL2832 en plataformas de desarrollo como Python con bibliotecas específicas, permite a los usuarios el desarrollo de aplicaciones personalizadas para analizar y procesar las señales de radio.



Figura 22: RTL-SDR 2832U, case de aluminio [42].

Debido a su versatilidad y costo accesible, el RTL2832 ha sido adoptado por entusiastas de la radiofrecuencia para una variedad de proyectos que incluyen la captura y decodificación de señales de radio, monitoreo de espectros, estudios de propagación, y la construcción de receptores personalizados para aplicaciones específicas como la vigilancia de frecuencias, radioastronomía, y más. Su capacidad de operar en un amplio rango de frecuencias y la flexibilidad proporcionada por el software SDR lo convierten en una herramienta invaluable para la experimentación y educación en el campo de las comunicaciones inalámbricas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

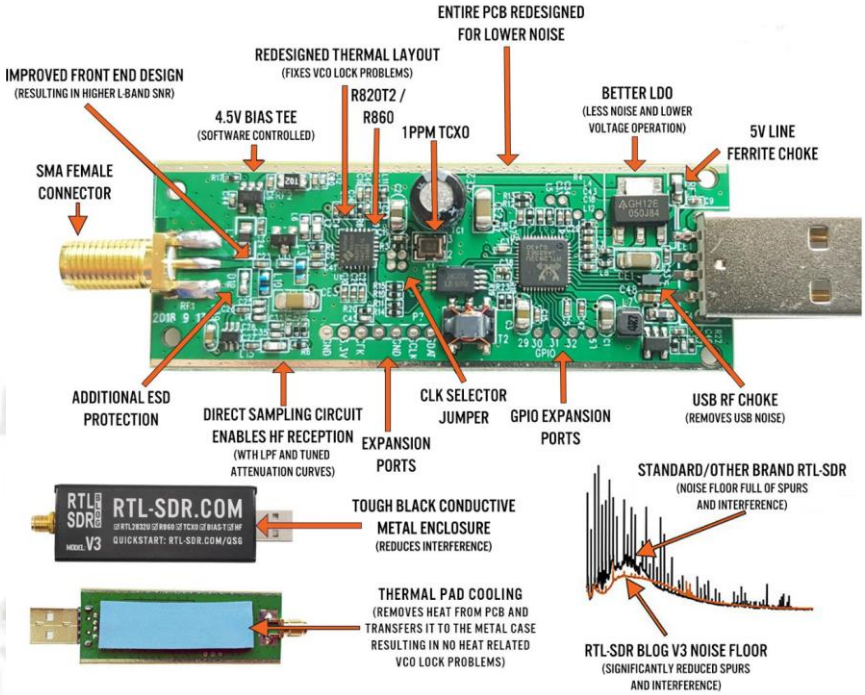


Figura 23: Componentes de Dongle SDR-RTL 2832U V. [42] Recuperado de: https://sdr.in.ua/product/rtl-sdr-v4ant/

Entre sus principales fortalezas destaca la flexibilidad de programación en cuanto a software y la compatibilidad con múltiples librerías y software de desarrollo, sin mencionar el constante apoyo y crecimiento de la comunidad de este chip.

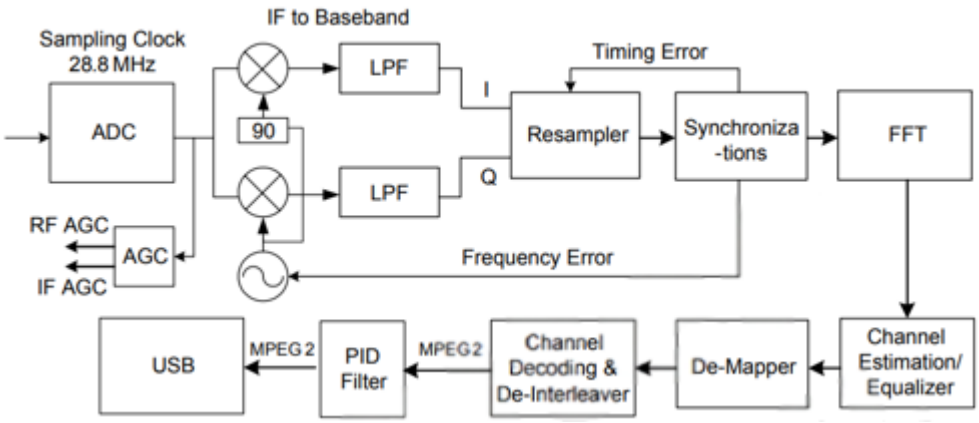


Figura 24: Diagrama de bloques Realtek RTL2832U. Recuperado de Realtek Datasheet [43]

En la Fig.24 se presenta el diagrama de bloques del chip, muestra el flujo de procesamiento de señales en el RTL2832U. A continuación, se describen los bloques y etapas clave [43]:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1. ADC (Conversor Analógico-Digital): Captura la señal analógica recibida y la convierte en datos digitales mediante un reloj de muestreo de 28.8 MHz.
2. Control de Ganancia Automático (RF AGC/IF AGC): Ajusta dinámicamente la ganancia de la señal para optimizar la recepción, compensando variaciones en la intensidad de la señal.
3. Demodulación I/Q: Convierte la señal RF a baseband utilizando mezcladores con una señal de referencia a 90° de diferencia (I y Q), descomponiendo la señal en dos componentes ortogonales.
4. Filtros Pasabajo (LPF): Procesa los componentes I y Q de la señal para eliminar las frecuencias no deseadas.
5. Resampler y Sincronización: Reajusta la tasa de muestreo para sincronizar la señal correctamente, corrigiendo errores de tiempo y frecuencia.
6. FFT (Transformada Rápida de Fourier): Transforma la señal en el dominio de la frecuencia, facilitando el análisis de su contenido espectral.
7. Decodificación y Desentrelazado: Extrae la información útil de las señales digitales recibidas, utilizando un filtro PID y técnicas de decodificación como MPEG2.
8. Canal de Estimación y Ecualización: Corrige distorsiones introducidas por el canal de transmisión, estimando el comportamiento del canal y aplicando técnicas de ecualización.
9. Interfaz USB: Finalmente, los datos procesados se envían al dispositivo anfitrión (computadora o Raspberry Pi) para almacenamiento y análisis adicional.

El RTL2832U tiene un conversor Analogico Digital (ADC) de 8 bits y un DSP. Es capaz de conversión digital descendente (DDC) de FI a banda base a través de mezcladores I/Q, filtrado digital de paso bajo, remuestreo I/Q y envía los datos I/Q de 8 bits a través del puerto USB. En este sistema, se utiliza para recolectar señales de radiofrecuencia, que luego son procesadas y analizadas. A continuación, sus especificaciones técnicas:

Características Técnicas	Descripción
Rango de frecuencia	500 KHz – 1.766 GHz
Tamaño	12.7 x 6.91 x 1.19 cm

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Peso	32 gramos
Disipación	Pasiva: Carcasa de Aluminio
Conectividad	USB 2.0 Tipo A
Sistema operativo compatible	Windows, Linux, Android
Sintonizador	ADS-B, DAB
Resolución	ADC de 8 bits
Velocidad de muestreo	Hasta 3.2 MS/s
Impedancia de entrada	~ 50 ohm
Tensión de alimentación	5V a través de USB
Corriente típica de operación	270 – 280 mA
Interfaz	Programable a través de librerías, GNU Radio, SDRSharp entre otros.
Demodulaciones soportadas	AM, FM, SSB, CW, DAB, DVB-T, ADS-B, entre otros.
Ancho de banda	Hasta 2.4MHZ (configurable)
Entrada de antena	Conector SMA
Modos de operación	Receptor de señales electromagnéticas en tiempo real.
Temperatura de operación	Hasta 80° C
Compatibilidad de software	Soporta software de procesamiento de señales como GNU Radio, SDR#, y CubicSDR
Sensibilidad de recepción	Máximo -110 dBm, dependiendo de la frecuencia

Tabla 3: Especificaciones técnicas de Dongle RTL2832U ***[42]***

El dongle SDR seleccionado, permitirá una conexión directa mediante los puertos del Raspberry PI, el cual, a su vez, será capaz de proveer el voltaje para un funcionamiento correcto dentro de los parámetros de captura de datos.

3.2.1 Ganancia configurable

El parámetro gain en un software de SDR (Software Defined Radio) controla la amplificación de las señales recibidas por el dispositivo SDR. En términos sencillos,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ajustar el gain equivale a aumentar o disminuir la sensibilidad del receptor para captar señales más débiles o evitar saturación de señales fuertes. Según su tipo puede ser [41]:

- Automática (Automatic Gain Control – AGC): El SDR ajusta automáticamente el nivel de ganancia en función de la intensidad de la señal recibida. Es útil cuando se trabaja con señales de diferentes niveles sin cambiar manualmente la configuración.
- Manual: Permite un control más preciso de la amplificación, ajustando el nivel de acuerdo con las necesidades específicas del análisis. Utilizado comúnmente para experimentos o análisis detallados donde la AGC podría introducir ruido o distorsión.

El parámetro ganancia se mide en decibelios (dB) y la influencia que tiene en el análisis de señales dependiendo su nivel será:

- Bajo Gain: Útil para evitar la saturación cuando se reciben señales fuertes. Sin embargo, las señales más débiles pueden no ser detectadas o ser superadas por el ruido de fondo, por otro lado, produce un rango dinámico más limpio, útil para señales fuertes o cuando se necesita precisión.
- Alto Gain: Amplifica señales débiles, haciéndolas más fáciles de procesar y analizar. Sin embargo, puede introducir ruido y distorsionar señales cercanas debido a la saturación.

3.2.2 Bandwith

El ancho de banda determina la cantidad de espectro alrededor de la frecuencia central que el SDR capturará. A continuación, se muestran las bandas de frecuencia soportadas por el RTL2832 junto a sus anchos de banda recomendados:

Rango de Frecuencia (MHz)	Bandas Principales	Ancho de Banda Típico (kHz - MHz)	Aplicaciones
24 – 88 MHz	Banda Baja de VHF	200 kHz – 2 MHz	Radiodifusión FM, meteorología NOAA
88 – 108 MHz	Banda de FM Comercial	200 kHz – 400 kHz	Estaciones FM
108 – 137 MHz	Banda Aérea	8.33 kHz – 25 kHz	Comunicaciones aeronáuticas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

137 – 174 MHz	Banda Alta de VHF	12.5 kHz – 25 kHz	Comunicaciones amateurs, meteorología (APT)
174 – 230 MHz	Banda VHF-TDT (TV Digital)	5 MHz – 8 MHz	Radiodifusión digital y analógica
230 – 300 MHz	Sub-VHF	10-50 kHz	Radioastronomía, investigación científica, algunas aplicaciones satelitales de baja frecuencia.
300-350 MHz	UHF Baja	25-50 kHz	Comunicaciones militares, experimentación amateur, y enlaces de datos básicos.
350 - 400 MHz	UHF Baja - Comunicaciones Especializadas	25 kHz - 200 kHz	Comunicaciones militares, sistemas satelitales de telemetría y enlaces de datos de baja velocidad.
400 - 470 MHz	Banda UHF	6.25 kHz – 25 kHz	Radios bidireccionales, PMR, sistemas trunking, walkie talkies
470 - 862 MHz	Banda UHF (TV Digital y Otros)	6 MHz – 8 MHz	TDT, servicios LTE
862 - 890 MHz	Banda de extensión de UHF	100-500 kHz	Comunicaciones móviles extendidas, sistemas de radio digital, y enlaces de datos rurales.
890 - 915 MHz	Banda GSM (Subida - Uplink)	200 kHz	Comunicaciones móviles GSM y enlaces de voz/datos en redes celulares.
915 - 960 MHz	Banda GSM (Bajada - Downlink)	200 kHz	Comunicaciones móviles GSM, redes LTE (parcialmente), y algunos sistemas IoT de largo alcance.
960 – 1300 MHz	Banda L	200 kHz – 2 MHz	GNSS (GPS/GLONASS/Galileo), radar
1300 – 1700 MHz	Banda Satelital	2 MHz – 3 MHz	Comunicaciones satelitales
1700-1780 MHz	Banda AWS (Advanced Wireless Services)	1-5 MHz	Comunicaciones móviles 4G/5G, servicios de banda ancha móvil, transmisiones de datos.
1780-1805 MHz	Banda PCS (Personal Communication Service)	1-2 MHz	Redes de telefonía móvil, servicios de datos, conectividad de voz y datos en celulares.
1805-1880 MHz	Banda GSM 1800 MHz (uplink y downlink)	200 kHz	Redes GSM, LTE, y otros servicios móviles, incluyendo la transmisión de voz y datos.
1880 - 2025 MHz	Banda DECT (Digital Enhanced Cordless Telecom)	1.728 MHz	Teléfonos inalámbricos, comunicación de datos, sistemas de intercomunicación en edificios.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2025 – 2110 MHz	Banda IMT (International Mobile Telecommunications)	5-10 MHz	Servicios 3G, 4G y 5G móviles, transmisión de voz, datos, y multimedia.
2110 – 2170 MHz	Banda LTE (Long-Term Evolution)	10 MHz	Comunicaciones LTE, servicios de datos y voz en 4G, con una mayor capacidad de ancho de banda.
2170 – 2200 MHz	Banda de comunicaciones satelitales y militares	10-50 MHz	Enlaces de comunicaciones satelitales, sistemas de monitoreo, y aplicaciones militares.
2200 – 2300 MHz	Banda S (satélite y comunicaciones terrestres)	500 kHz - 10 MHz	Comunicaciones satelitales, TV por satélite, enlaces de datos de largo alcance, monitoreo meteorológico.
2300 - 2400 MHz	Banda LTE / Wi-Fi / WLAN	10 MHz	Comunicaciones Wi-Fi, LTE, sistemas de acceso inalámbrico de alta velocidad y redes de datos locales (WLAN).

Tabla 4: Relación de bandas del espectro radioeléctrico compatibles con RTL2832. Elaboración propia.

3.2.3 Frecuencia central (Center Frequency)

Se refiere al punto medio del rango de frecuencias que un sistema de radio o un receptor SDR (Software-Defined Radio) puede captar y procesar. Es un valor que determina la posición del espectro que se está analizando. En el caso de un SDR como el RTL-SDR2832, este valor fija el centro del rango de frecuencia dentro del cual se demodularán las señales y se tomarán las muestras de potencia.

Cuando se configura el valor de la frecuencia central, se indica al SDR que concentre su capacidad de recepción en las frecuencias cercanas a esa posición. El rango efectivo se extiende desde la frecuencia central hacia arriba y hacia abajo, limitado por el ancho de banda configurado, por ejemplo, si el ancho de banda está configurado como 2 MHZ el SDR captará señales 1MHz por debajo y 1MHz encima de la frecuencia central elegida [41].

3.3 Raspberry Pi

El Raspberry Pi es un sistema de computación de bajo costo y tamaño reducido que ha ganado popularidad tanto en el ámbito educativo como en proyectos de investigación y desarrollo. A pesar de su tamaño compacto, este dispositivo es un ordenador completo, capaz de ejecutar un sistema operativo y realizar tareas complejas. Originalmente diseñado con fines educativos, para enseñar programación y conceptos de computación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

básica, el Raspberry Pi ha trascendido con creces sus intenciones iniciales, encontrando aplicaciones en una variedad de campos, incluyendo la automatización, la robótica, y las telecomunicaciones.

Una de las características más destacadas del Raspberry Pi es su versatilidad. Equipado con un procesador ARM, puertos USB, interfaces de red y una variedad de pines digitales GPIO (General Purpose Input/Output), este dispositivo es capaz de interactuar con una amplia gama de periféricos y sensores. Esta capacidad de expansión permite a los usuarios adaptar el Raspberry Pi a diversas necesidades específicas, lo que lo convierte en una herramienta útil para la experimentación y el desarrollo de prototipos desde entornos educativos, industriales e investigación.

El ecosistema de software que rodea al Raspberry Pi también ha contribuido significativamente a su adopción en contextos más allá de la educación básica. La posibilidad de ejecutar sistemas operativos basados en Linux, como Raspbian, y su compatibilidad con un amplio espectro de lenguajes de programación, lo posiciona como una plataforma ideal para el desarrollo de aplicaciones que requieren tanto flexibilidad como potencia computacional en un formato accesible. Además, el soporte de una activa comunidad de desarrolladores y entusiastas garantiza una fuente continua de recursos, documentación y proyectos colaborativos que enriquecen su funcionalidad y aplicación.

En el contexto de la investigación, el Raspberry Pi se ha utilizado en una variedad de proyectos innovadores y experimentales, desde la recolección de datos en tiempo real hasta la implementación de sistemas de control embebidos. Su bajo costo, alta disponibilidad, junto con su capacidad de ejecutar software personalizado, lo hace particularmente atractivo para investigadores que buscan soluciones rentables sin sacrificar la funcionalidad.

Para el desarrollo del sistema propuesto, se empleará el modelo “Rapsberry Pi 3 Model B”, el cual está equipado con un procesador Broadcom BCM2837, un SoC (System on Chip) que integra un CPU ARM Cortex-A53 de 64 bits y cuatro núcleos, operando a

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

una velocidad de 1.2 GHz. Esta arquitectura de 64 bits proporciona un rendimiento mejorado y permite al dispositivo manejar aplicaciones más complejas y exigentes en términos de procesamiento. Acompañando a la CPU, el Raspberry Pi 3 B cuenta con 1 GB de memoria LPDDR2-900 SDRAM, que, aunque limitada en comparación con sistemas más grandes, es suficiente para manejar múltiples procesos simultáneamente en el entorno optimizado de Raspbian.

En términos de conectividad, el Raspberry Pi 3 B incluye Wi-Fi 802.11n y Bluetooth 4.1, lo que elimina la necesidad de módulos externos para la conexión inalámbrica, facilitando su integración en redes y proyectos IoT. También está equipado con un puerto Ethernet 10/100 para conexiones por cable más estables. Adicionalmente, cuenta con cuatro puertos USB 2.0 para la conexión de periféricos, y una salida HDMI que soporta resoluciones de hasta 1080p, lo que lo hace adecuado para proyectos multimedia. Los 40 pines GPIO proporcionan una interfaz flexible para la conexión de sensores y dispositivos electrónicos, mientras que un conector CSI permite la conexión de cámaras, y un conector DSI facilita la conexión de pantallas táctiles [44].

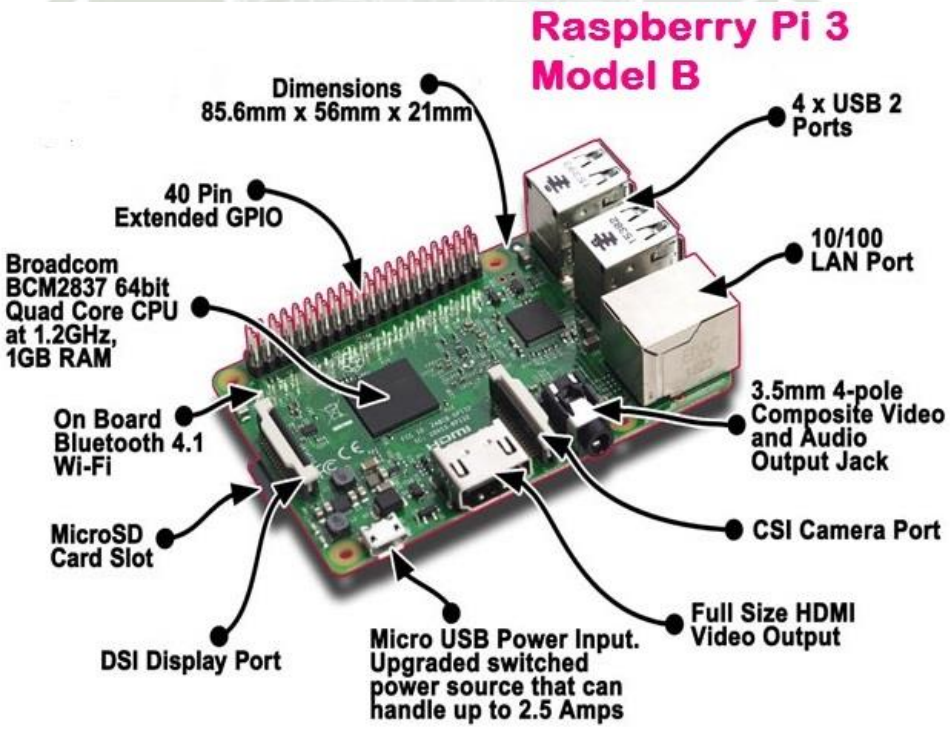


Figura 25: Partes de Raspberry Pi 3 Model B. Introduction of Raspberry Pi 3 Model B. Binary Updates. [45]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La Raspberry Pi 3 Model B fue seleccionada como unidad central de procesamiento debido a su capacidad para ejecutar eficientemente los scripts necesarios para controlar tanto el SDR como el módulo GPS, gracias a su procesador ARM Cortex-A53 de cuatro núcleos y 1 GB de RAM. Este hardware proporciona un equilibrio ideal entre potencia de procesamiento y bajo consumo energético, lo cual es esencial para aplicaciones portátiles como la captura y análisis de señales electromagnéticas. Además, su interfaz GPIO permite la fácil integración con módulos externos y sensores, también su conectividad integrada Wi-Fi y Bluetooth facilita la transmisión de datos a estaciones de control remoto sin necesidad de hardware adicional.

Entre las principales ventajas que justifican su selección se encuentra su tamaño compacto que optimiza su uso en campo, y la extensa comunidad de desarrolladores que ofrece un soporte constante, además de un ecosistema de software de código abierto. Todo esto convierte a la Raspberry Pi en una herramienta flexible, accesible y potente para proyectos de análisis de señales en tiempo real y procesamiento de datos geoespaciales. Se presentarán las especificaciones técnicas:

Características Técnicas	Descripción
Procesador	Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
Memoria RAM	1 GB RAM
Conectividad inalámbrica	BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board
Ethernet	100 Mbps Fast Ethernet
Puertos I/O	40-pin GPIO
Puertos USB	4 puertos USB 2.0
Salida audio y video	4-pole estéreo y puerto de video compuesto
HDMI	Puerto HDMI estándar
Puerto de cámara CSI	Puerto CSI para conectar cámara Raspberry Pi
Puerto de pantalla DSI	Puerto DSI para pantalla táctil Raspberry Pi
Almacenamiento	Puerto micro SD para cargar el sistema operativo y almacenar datos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Fuente de alimentación	Fuente de alimentación micro USB conmutada, con capacidad de hasta 2.5A

Tabla 5: Especificaciones técnicas de Raspberry Pi 3 Model B [44].

3.4 Raspbian

Raspbian es un sistema operativo basado en Debian, diseñado específicamente para optimizar el rendimiento del hardware del Raspberry Pi. Desde su lanzamiento, Raspbian ha sido el sistema operativo preferido para la mayoría de los usuarios de Raspberry Pi debido a su equilibrio entre simplicidad, eficiencia y robustez. Este sistema operativo se ha desarrollado con el objetivo de proporcionar un entorno completo y amigable para la programación y la educación, al tiempo que ofrece todas las herramientas necesarias para proyectos más avanzados en diversos campos de la ingeniería y la informática.

Una de las principales fortalezas de Raspbian radica en su optimización específica para el hardware del Raspberry Pi. A pesar de las limitaciones inherentes a un sistema de bajo costo como el Raspberry Pi, Raspbian maximiza el rendimiento del dispositivo al aprovechar al máximo los recursos disponibles. Esto incluye la utilización eficiente de la memoria y el procesamiento, así como la compatibilidad con las distintas versiones del Raspberry Pi, desde los modelos más antiguos hasta los más recientes. Esta optimización se traduce en un sistema operativo que no solo es estable, sino también ágil, permitiendo a los usuarios ejecutar aplicaciones y scripts de manera fluida, incluso en tareas que requieren un procesamiento intensivo.

Además, Raspbian incluye una amplia gama de software preinstalado, que abarca desde herramientas de desarrollo y lenguajes de programación hasta aplicaciones educativas y utilidades de sistema. Este entorno completo facilita tanto el aprendizaje de conceptos de programación como la realización de proyectos complejos, sin la necesidad de realizar configuraciones extensas. Adicionalmente, Raspbian mantiene un enfoque en la seguridad y la estabilidad, con actualizaciones regulares que aseguran la compatibilidad con nuevos hardware y la resolución de vulnerabilidades, lo que refuerza su idoneidad en aplicaciones críticas [44].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

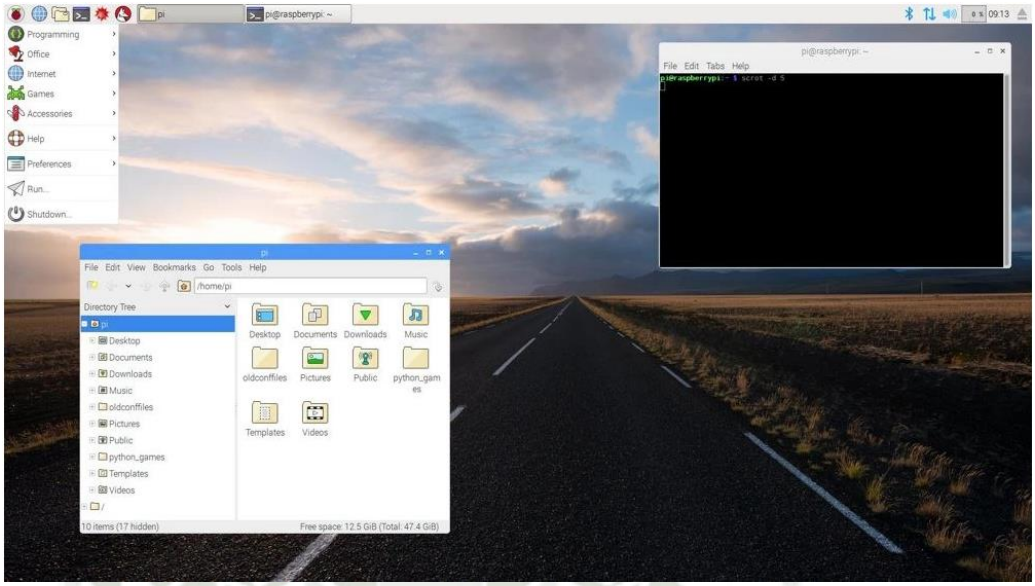


Figura 26: Raspbian Desktop. Genbeta [46].

Raspbian es respaldado por una comunidad activa y una extensa documentación, lo que lo convierte en un sistema operativo accesible tanto para principiantes como para usuarios avanzados. La comunidad contribuye con tutoriales, soluciones a problemas comunes, y nuevos desarrollos que expanden las capacidades del sistema operativo. En el contexto de la investigación, Raspbian ha demostrado ser una plataforma confiable para la implementación de soluciones experimentales, desde la automatización de procesos hasta el monitoreo y control en tiempo real, ofreciendo una base sólida sobre la cual se pueden construir aplicaciones innovadoras.

3.5 Python 3

Python 3 es la versión más reciente y avanzada del lenguaje de programación Python, ampliamente reconocido por su simplicidad, legibilidad y versatilidad. Este lenguaje de programación de alto nivel ha sido diseñado para ser fácil de aprender y usar, lo que lo convierte en una herramienta ideal tanto para principiantes como para desarrolladores experimentados. Python 3 introduce mejoras significativas en comparación con las versiones anteriores, especialmente Python 2, mejorando la eficiencia, la consistencia y la claridad del código, a la vez que elimina ciertas ambigüedades y características obsoletas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Una de las principales ventajas de Python 3 es su enfoque en la claridad y legibilidad del código, lo que facilita la colaboración y el mantenimiento a largo plazo de los proyectos. Su sintaxis intuitiva permite escribir código de manera concisa y expresiva, favoreciendo la producción de software libre de errores y fácil de entender. Python 3 es compatible con una amplia gama de bibliotecas y frameworks, lo que permite su uso en múltiples disciplinas, incluyendo el desarrollo web, la ciencia de datos, la inteligencia artificial, y el control de hardware. Además, la comunidad de Python ha adoptado ampliamente esta versión, proporcionando un soporte continuo y una vasta colección de recursos que facilitan la resolución de problemas y la implementación de soluciones innovadoras.

Desde un punto de vista técnico, Python 3 introduce mejoras fundamentales en la gestión de cadenas de caracteres (strings), que ahora son unicode por defecto, lo que mejora la compatibilidad y la interoperabilidad en aplicaciones internacionales. Además, la gestión de excepciones, la iteración, y las funcionalidades relacionadas con las entradas/salidas han sido refinadas para ofrecer un rendimiento más consistente y predecible. Python 3 también incorpora un recolector de basura mejorado y optimizaciones en la ejecución de código que resultan en un rendimiento más eficiente, especialmente en aplicaciones que requieren la manipulación intensiva de datos o la ejecución de algoritmos complejos.

En el contexto de proyectos de investigación, Python 3 es particularmente valorado por su capacidad para integrarse con otras tecnologías y sistemas, incluyendo el Raspberry Pi y plataformas de Internet de las Cosas (IoT). Su facilidad de uso, combinada con su potencia y flexibilidad, lo convierte en una herramienta fundamental para la implementación de prototipos y la experimentación con nuevas ideas. Python 3 no solo facilita el desarrollo rápido de aplicaciones, sino que también proporciona un entorno sólido para la realización de análisis y procesamiento de datos, lo que lo hace indispensable en campos como la ciencia, la ingeniería y las matemáticas [47].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Para el desarrollo de este sistema se ha optado por el uso de Python como el lenguaje de programación principal para los scripts que automatizan la captura, procesamiento y almacenamiento de datos. Python es una elección ideal en este proyecto de captura de datos en Raspberry Pi con SDR debido a su versatilidad, simplicidad sintáctica y extensa colección de librerías compatibles con el análisis de señales y manejo de hardware. Python es altamente compatible con el entorno de Raspbian y se integra de manera efectiva con los periféricos del Raspberry Pi, lo cual facilita el acceso a los pines GPIO y a dispositivos USB como el SDR (RTL-SDR) y el módulo GPS M8N. Además, Python cuenta con librerías especializadas, que permiten el control directo del receptor SDR, posibilitando la adquisición y decodificación de señales de radiofrecuencia. Estas librerías proporcionan funciones optimizadas para la recepción de señales, lo cual reduce la complejidad del desarrollo y permite una gestión eficiente de los datos capturados.

Otra ventaja significativa de Python es su capacidad para realizar procesamiento de datos en tiempo real. Con librerías como NumPy y SciPy, Python permite procesar grandes volúmenes de datos de forma rápida y eficiente, aplicando algoritmos matemáticos y transformaciones útiles para el análisis de las señales. Además, para la visualización y almacenamiento de los datos recolectados, librerías como Matplotlib y Pandas ofrecen herramientas robustas para graficar patrones y registrar los datos en formatos estructurados como CSV, facilitando el análisis y la interpretación de la información recolectada.

Finalmente, su documentación detallada hace que sea una opción confiable para proyectos en tiempo real. Python no solo ofrece un entorno de desarrollo ágil y adaptable, sino que también facilita el mantenimiento y actualización del software, permitiendo una rápida implementación de mejoras y ajustes en el sistema. Estas características consolidan a Python como el lenguaje óptimo para la captura, procesamiento y almacenamiento de datos en este proyecto basado en Raspberry Pi y SDR.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.6 PYRTLSDR

Biblioteca de Python diseñada específicamente para interactuar con dispositivos de radio definida por software (SDR) basados en el receptor RTL-SDR. Esta librería proporciona una interfaz sencilla y directa para capturar y procesar señales de radiofrecuencia (RF) utilizando Python, facilitando la implementación de aplicaciones que van desde la simple recepción de radio hasta proyectos avanzados de análisis y demodulación de señales. La facilidad de integración de pyrtlsdr con otros componentes del ecosistema Python lo convierte en una herramienta poderosa para investigadores y desarrolladores que trabajan en proyectos de radiofrecuencia.

La librería pyrtlsdr se basa en la librería librtlsdr, que actúa como puente entre el hardware del RTL-SDR y el software de control. Esta biblioteca permite acceder a funciones clave del dispositivo, como la configuración de la frecuencia central, la tasa de muestreo, y el ancho de banda de recepción. Además, pyrtlsdr permite la captura de muestras de señales RF directamente en el entorno Python, lo que permite su posterior procesamiento utilizando una variedad de herramientas y bibliotecas disponibles en el ecosistema Python, como NumPy, SciPy, Matplotlib entre otros. Esto es particularmente útil en aplicaciones que requieren análisis espectral, filtrado digital de señales, y demodulación.

Una de las características destacadas de PyRTLSDR es su capacidad para manejar múltiples dispositivos RTL-SDR simultáneamente, lo que permite realizar tareas complejas como la recepción de señales en diferentes frecuencias o la realización de estudios comparativos entre distintas fuentes de señal. Además, la biblioteca soporta la configuración y uso de los diversos parámetros de recepción, incluyendo el ajuste fino de la frecuencia y el control de la ganancia automática o manual, proporcionando un control granular sobre el comportamiento del dispositivo SDR [48].

En el contexto de proyectos de investigación, pyrtlsdr se ha utilizado en una amplia gama de aplicaciones, desde la simple recepción de señales de radio FM hasta proyectos más complejos de monitoreo del espectro, análisis de señales digitales, y estudios de propagación de ondas. La combinación de pyrtlsdr con otras bibliotecas de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

procesamiento de señales en Python provee a investigadores desarrollar soluciones personalizadas y realizar experimentos avanzados sin tener la necesidad de invertir en costosos equipos de radiofrecuencia.

3.7 Módulo GPS M8N

El módulo GPS M8N, basado en el motor u-blox M8 de 72 canales, representa un avanzado receptor GNSS capaz de operar con múltiples sistemas de navegación simultáneamente, incluidos GPS/QZSS, GLONASS, y BeiDou, en sus respectivas bandas (L1 C/A para GPS/QZSS, L10F para GLONASS, y B1 para BeiDou). Esta capacidad multiconstelación asegura una cobertura global robusta y una mejora en la precisión del posicionamiento, alcanzando una precisión de hasta 2,0 metros (CEP). Adicionalmente, el M8N está preparado para el sistema Galileo, específicamente para las señales E1B/C, lo que lo convierte en una opción flexible para aplicaciones futuras de navegación. La capacidad del módulo de realizar actualizaciones de navegación GNSS individuales a una tasa de hasta 18 Hz y GNSS concurrente hasta 10 Hz, lo hace idóneo para aplicaciones dinámicas que requieren una alta frecuencia de actualización de datos de posición.



Figura 27: Módulo GPS M8N con brújula. [49]

En términos de adquisición y sensibilidad, el M8N sobresale por su capacidad de iniciar el rastreo en condiciones desafiantes. En un arranque en frío, el módulo tarda aproximadamente 26 segundos, mientras que con asistencia puede reducirse a 2 segundos y en reasignaciones a 1,5 segundos. Su sensibilidad es igualmente

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

impresionante, con valores de -167 dBm en rastreo y navegación, -148 dBm en arranques en frío y -156 dBm en arranques en caliente, lo que le permite funcionar en entornos con señal débil. Este módulo también ofrece compatibilidad con sistemas de asistencia como AssistNow, que puede operar en modos en línea, fuera de línea y autónomo, extendiendo la duración de la asistencia hasta 35 días en el modo fuera de línea.

El diseño del M8N incorpora componentes avanzados para mejorar su rendimiento, como un oscilador TCXO que garantiza la estabilidad de la frecuencia y un cristal RTC incorporado para mantener el tiempo de manera precisa. Además, incluye un LNA de bajo ruido, lo que mejora la recepción de señales débiles, y un filtro de paso de banda SAW para eliminar interferencias. Este módulo está disponible en configuraciones con memoria ROM o Flash, y es compatible con antenas tanto activas como pasivas, lo que le brinda flexibilidad en su integración con diferentes tipos de sistemas.

En cuanto a su construcción y robustez, el M8N está diseñado para operar en un amplio rango de temperaturas, desde -40 °C hasta 85 °C, lo que lo hace apto para aplicaciones en ambientes extremos. También cumple con normativas como RoHS y está calificado bajo la norma ISO 16750, asegurando su durabilidad y conformidad con estándares de calidad automotriz, como la certificación AEC-Q100. La tensión de alimentación requerida varía de 2,7 V a 3,6 V y consumo de energía eficiente: 23 mA a 3,0 V en modo continuo y hasta 5 mA en modo de ahorro de energía, lo que permite su integración en sistemas de bajo consumo energético. Además, su capacidad de manejar una fuente de alimentación externa entre 1,4 y 3,6 V y la función de pulso de tiempo configurable de 0,25 Hz a 10 MHz, proporcionan una gran versatilidad en su aplicación.

El módulo GPS M8N permite obtener coordenadas geográficas precisas en tiempo real para cada punto de medición de señales. Las coordenadas (latitud, longitud y altura) son fundamentales para analizar cómo se propagan las señales en distintas ubicaciones geográficas y condiciones ambientales. Además, ofrece una alta precisión en la adquisición de datos geográficos, lo que facilita la correlación entre los datos obtenidos y el entorno físico en el que se realiza la captura de señales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El módulo GPS M8N fue elegido por su capacidad para ofrecer alta precisión, bajo consumo de energía y rápida adquisición de satélites. Esto es especialmente útil en aplicaciones donde se requiere una localización precisa, como el análisis de patrones de radiación de señales. Además, es compatible con diversas plataformas, incluido el Raspberry Pi, lo que facilita su integración en el sistema de captura de señales. Su compatibilidad con sistemas de posicionamiento global como GPS, GLONASS y Galileo también proporciona una ventaja al aumentar la cantidad de satélites disponibles para obtener mejores coordenadas en diferentes áreas geográficas [50].

Características Técnicas	Descripción
Frecuencia de actualización	1 a 10 Hz
Protocolos soportados	GPS, GLONASS, Galieo, BeiDou
Sensibilidad	-167 dBm (seguimiento), -164 dBm(adquisición)
Precisión horizontal	2.5 metros
Consumo de energía	25 mA @ 3.3 V – 5 V
Voltaje de operación	2.7V a 3.6V
Interfaces de comunicación	UART, I2C, SPI
Cold Start	< 30 segundos
Warm Start	< 5 segundos
Hot Start	< 1 segundo
Dimensiones	16 x 12.2 x 2.4mm

Tabla 6: Especificaciones técnicas de GPS M8N [49].

3.8 Batería LIPO

La batería de polímero de litio, comúnmente conocida como batería LiPo, es una de las fuentes de energía más populares y ampliamente utilizadas en aplicaciones portátiles y de alta eficiencia energética. Su composición química se basa en la utilización de polímeros de litio, que le permiten almacenar una gran cantidad de energía en un formato compacto y ligero, lo que las hace ideales para su integración en dispositivos electrónicos de consumo, vehículos aéreos no tripulados (drones), robots, sistemas de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

radio control, y en proyectos electrónicos y de desarrollo que requieren fuentes de energía recargables [51].

3.8.1 Ventajas

Las baterías LiPo se destacan por su alta densidad energética, que típicamente varía entre 150 y 200 Wh/kg, lo que significa que pueden almacenar más energía por unidad de peso en comparación con otras tecnologías de baterías como las de níquel-cadmio (NiCd) o níquel-hidruro metálico (NiMH). Este alto rendimiento energético permite una mayor duración operativa de los dispositivos que las utilizan, lo que es crucial en aplicaciones donde el tamaño y el peso son factores limitantes.

Otra ventaja técnica significativa es su capacidad para suministrar altas corrientes de descarga, lo que las hace especialmente adecuadas para aplicaciones que requieren picos de energía elevados, como en los motores de alta velocidad de drones o en sistemas de radio control. Las baterías LiPo están diseñadas con una estructura multicelda, permitiendo configuraciones en serie y paralelo para ajustar el voltaje y la capacidad a las necesidades específicas de la aplicación. Por ejemplo, una batería 3S LiPo consta de tres celdas conectadas en serie, proporcionando un voltaje nominal de 11.1V, lo cual es común en muchas aplicaciones electrónicas.

3.8.2 Desventajas

A pesar de sus numerosas ventajas, las baterías de polímero de litio (LiPo) también presentan una serie de desventajas que deben ser consideradas, especialmente en aplicaciones críticas. Una de las principales desventajas es su sensibilidad a las condiciones de carga y descarga. Las baterías LiPo son susceptibles a daños si se sobrecargan o sobre descargan, lo que puede no solo reducir significativamente su vida útil, sino también provocar situaciones peligrosas, como incendios o explosiones. Esto hace que sea crucial utilizar cargadores específicos para LiPo que ofrezcan funciones de balanceo y protección contra sobrecargas.

3.8.3 Aplicaciones

Las baterías de polímero de litio (LiPo) se han convertido en una opción preferida en diversas aplicaciones gracias a su combinación de alta densidad energética, peso ligero, y capacidad de suministrar altas corrientes. Una de las áreas donde las baterías LiPo son

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

más utilizadas es en vehículos aéreos no tripulados (drones). En estos dispositivos, la capacidad de la batería para proporcionar una fuente de energía potente y de larga duración es crucial, ya que permite tiempos de vuelo prolongados y la capacidad de alimentar motores de alto rendimiento que requieren picos de energía significativos durante el despegue, el vuelo y las maniobras.

Otra aplicación importante de las baterías LiPo es en robots y sistemas de control remoto. Estos sistemas, utilizados tanto en hobbies como en investigación, se benefician enormemente de la capacidad de las baterías LiPo para entregar corrientes de descarga altas, necesarias para la operación de motores y actuadores de alta velocidad. Además, su perfil delgado y ligero permite una integración sin aumentar significativamente el peso del sistema, lo que es esencial para mantener la agilidad y la eficiencia energética.

Las baterías LiPo también son comúnmente empleadas en dispositivos electrónicos portátiles, como teléfonos inteligentes, tabletas, y otros gadgets que requieren una fuente de energía compacta pero duradera. La capacidad de estas baterías para almacenar una gran cantidad de energía en un espacio reducido las convierte en la opción ideal para mantener la portabilidad de estos dispositivos sin comprometer su autonomía.

Finalmente, en el ámbito de los proyectos electrónicos y de desarrollo, como en el uso de microcontroladores y plataformas de desarrollo como Arduino y Raspberry Pi, las baterías LiPo son ampliamente utilizadas. Su capacidad para ser recargadas múltiples veces, junto con su tamaño compacto, las hace perfectas para alimentar prototipos y proyectos móviles que necesitan una fuente de energía confiable y portátil.

3.8.4 Precauciones

Sin embargo, las baterías LiPo también requieren un manejo y mantenimiento cuidadoso debido a su naturaleza química sensible. Son propensas a daños por sobrecarga, sobre descarga, o exposición a temperaturas extremas, lo que podría resultar en la degradación de la batería o, en casos más graves, en incendios o explosiones. Por lo tanto, es esencial utilizar cargadores diseñados específicamente para baterías LiPo, que cuenten con protección contra sobrecargas y que permitan la carga equilibrada de cada celda, asegurando que todas las celdas alcanzan el mismo voltaje durante el proceso de carga.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El almacenamiento de las baterías LiPo también debe realizarse con precaución. Se recomienda almacenarlas a un voltaje de almacenamiento (generalmente alrededor de 3.7V por celda) y mantenerlas en un lugar fresco y seco para prolongar su vida útil. Además, la manipulación física debe ser cuidadosa para evitar daños estructurales a la batería, como perforaciones o deformaciones, que podrían comprometer su integridad.

En resumen, las baterías LiPo ofrecen una solución eficiente y potente para alimentar una amplia gama de dispositivos portátiles y proyectos electrónicos, siempre que se manejen con el cuidado adecuado para evitar riesgos y maximizar su rendimiento y durabilidad.

3.9 Archivos CSV

Los archivos CSV (Comma-Separated Values), son un formato de archivo ampliamente utilizado para almacenar y transferir datos estructurados en forma de texto plano. Este formato se caracteriza por su simplicidad y versatilidad, lo que lo convierte en una herramienta fundamental para la gestión de datos en una amplia variedad de aplicaciones. En un archivo CSV, cada línea representa un registro de datos, y los campos dentro de cada registro están separados por comas, lo que facilita la organización y procesamiento de grandes volúmenes de información [52].

3.9.1 Estructura y Formato

Un archivo CSV está compuesto por una serie de líneas, donde cada línea corresponde a un registro o una fila de datos. Dentro de cada línea, los valores individuales están separados por un delimitador, que normalmente es una coma, aunque en algunas variantes puede utilizarse otro carácter, como un punto y coma o una tabulación. El primer registro de un archivo CSV suele contener los nombres de los campos o las columnas, lo que proporciona un encabezado descriptivo que define la estructura de los datos. Por ejemplo, en un archivo CSV que almacena información de contacto, el encabezado podría incluir campos como "Nombre", "Apellido", "Correo Electrónico", y "Teléfono".

El formato CSV es particularmente útil para su interoperabilidad entre diferentes sistemas y plataformas, ya que puede ser leído y editado por una amplia variedad de programas, desde simples editores de texto hasta aplicaciones más sofisticadas como

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

hojas de cálculo, bases de datos, y software de análisis de datos. Esta capacidad de ser interpretado por diversas herramientas hace que los archivos CSV sean una opción popular para el intercambio de datos entre sistemas que utilizan diferentes tecnologías.

3.9.2 Aplicaciones y Usos Comunes

Los archivos CSV son utilizados en una variedad de contextos, desde la exportación e importación de datos entre aplicaciones de software hasta el almacenamiento de grandes conjuntos de datos que requieren una estructura ordenada y legible. En el ámbito empresarial, los archivos CSV se emplean comúnmente para gestionar y compartir datos relacionados con ventas, inventarios, clientes, y transacciones financieras. Por ejemplo, las plataformas de comercio electrónico pueden utilizar archivos CSV para exportar listados de productos, mientras que los sistemas de gestión de relaciones con clientes (CRM) los utilizan para manejar listas de contactos y datos de clientes.

En el contexto de la programación y el análisis de datos, los archivos CSV son frecuentemente utilizados para almacenar datos que luego serán procesados por scripts o programas. Lenguajes de programación como Python ofrecen bibliotecas específicas, como csv, que permiten la lectura y escritura de archivos CSV de manera eficiente, facilitando la manipulación de datos para tareas de análisis, visualización, o importación en bases de datos.

3.9.3 Desventajas y Consideraciones

A pesar de su simplicidad y popularidad, los archivos CSV también presentan algunas limitaciones. Una de las principales desventajas es la falta de soporte para tipos de datos complejos, como estructuras jerárquicas o anidadas, lo que puede hacer que este formato no sea adecuado para representar datos más complejos. Además, los archivos CSV no incluyen metadatos, lo que significa que la interpretación de los datos depende en gran medida del conocimiento previo sobre la estructura y el significado de cada campo.

Otra consideración importante es que los archivos CSV pueden ser propensos a errores si los datos contienen comas u otros caracteres especiales que puedan ser interpretados incorrectamente como delimitadores. Esto puede dar lugar a la corrupción de los datos o a la pérdida de información durante el proceso de importación o exportación. Para

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

mitigar estos riesgos, es común que los datos sensibles o que contienen delimitadores se encuadren entre comillas dobles, lo que ayuda a preservar la integridad del archivo.

Para ilustrar cómo funciona un archivo CSV, a continuación, se presenta un ejemplo simple de un archivo que podría utilizarse para almacenar información de contacto. Este archivo contiene los siguientes campos: "Nombre", "Apellido", "Correo Electrónico" y "Teléfono". Cada registro corresponde a una persona diferente y los valores de cada campo están separados por comas.

```
Nombre,Apellido,Correo Electrónico,Teléfono
Juan,Pérez,juan.perez@example.com,123456789
María,Gómez,maria.gomez@example.com,987654321
Carlos,López,carlos.lopez@example.com,555666777
Ana,Rodríguez,ana.rodriguez@example.com,444555666
```

Figura 28: Ejemplo de archivo ".csv". Elaboración propia

Nombre	Apellido	Correo Electrónico	Teléfono
Juan	Pérez	juan.perez@example.com	123456789
María	Gómez	maria.gomez@example.com	987654321
Carlos	López	carlos.lopez@example.com	555666777
Ana	Rodríguez	ana.rodriguez@example.com	444555666

Tabla 7: Representación de archivo .csv en tabla. Elaboración propia.

En este ejemplo, el archivo CSV comienza con una línea de encabezado que define los nombres de los campos o columnas: "Nombre", "Apellido", "Correo Electrónico" y "Teléfono". Cada línea posterior representa un registro individual, donde los valores están ordenados en el mismo formato que los campos del encabezado.

Por ejemplo, la primera línea de datos, "Juan, Pérez, juan.perez@example.com, 123456789", representa a una persona llamada Juan Pérez con su correspondiente correo electrónico y número de teléfono. Las comas separan cada valor, lo que permite que programas o sistemas interpreten correctamente el contenido y lo estructuren en una tabla como la que se muestra arriba.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Este formato de archivo es ideal para exportar o importar datos entre aplicaciones de diferentes sistemas, como bases de datos, hojas de cálculo, o cualquier software que necesite procesar y analizar datos tabulares. Además, los archivos CSV son fácilmente legibles por humanos, lo que permite una revisión rápida y sencilla del contenido.

3.10 JavaScript

JavaScript es un lenguaje de programación de alto nivel y multiparadigma que se utiliza principalmente para el desarrollo de aplicaciones web. Desde su creación en 1995 por Brendan Eich mientras trabajaba en Netscape Communications, JavaScript ha evolucionado sustancialmente, convirtiéndose en uno de los lenguajes más influyentes y ampliamente utilizados en la industria del desarrollo de software. Gracias a su integración nativa con los navegadores web y su habilidad para manipular el Document Object Model (DOM), se ha establecido como el estándar predominante para el desarrollo de experiencias interactivas en la web. JavaScript es uno de los pilares en el desarrollo de la interfaz interactiva de la presente tesis, ofreciendo un entorno ideal para la visualización y el análisis de datos de señales como la potencia y la posición geográfica. A través de JavaScript, es posible desarrollar una interfaz accesible y dinámica que permite cargar, procesar y visualizar los datos de forma continua y en tiempo real. Su integración con el Modelo de Objeto de Documento (DOM) facilita la manipulación de elementos visuales en la página, crucial para construir una experiencia fluida en la representación de señales sobre gráficos y mapas [53].

JavaScript resulta particularmente adecuado para este proyecto gracias a su capacidad para desarrollar aplicaciones accesibles desde cualquier lugar, en cualquier dispositivo con conexión a Internet, brindando flexibilidad al momento de analizar datos de señales desde ubicaciones remotas. Además, el amplio ecosistema de JavaScript incluye una gran variedad de bibliotecas y herramientas que amplían sus capacidades. Herramientas como Plotly.js y Leaflet.js ofrecen gráficos interactivos y mapas dinámicos que permiten estudiar el comportamiento de las señales en diferentes ubicaciones y condiciones, proporcionando un entorno visual eficaz para interpretar patrones complejos de radiación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Otra ventaja clave de JavaScript es su habilidad para gestionar datos de manera asíncrona. Esto permite que los archivos de datos, como los CSV, puedan ser procesados sin interrupciones, sin recargar la página, y optimizando el flujo de trabajo. La combinación de todas estas cualidades convierte a JavaScript en una elección sólida para crear aplicaciones que integren y presenten datos de señal de manera interactiva y accesible, haciendo posible un análisis exhaustivo y adaptable de los patrones de radiación, sin mencionar que puede proveer una interfaz gráfica altamente personalizable.

3.10.1 Características Fundamentales

A continuación, se presentan las características destacadas de JavaScript [53]:

Lenguaje Interpretado y Dinámico:

JavaScript es un lenguaje interpretado, lo que significa que el código es ejecutado por un intérprete en tiempo de ejecución, en lugar de ser compilado previamente. Esto le permite a los desarrolladores realizar cambios y ver los resultados inmediatamente, sin necesidad de un ciclo de compilación, lo que acelera el proceso de desarrollo. Además, JavaScript es un lenguaje dinámico, lo que significa que los tipos de datos pueden cambiar en tiempo de ejecución y las variables no necesitan ser declaradas con un tipo específico. Esta flexibilidad es una de las razones por las cuales JavaScript es tan popular, aunque también puede introducir complejidades en la gestión del código.

Programación Orientada a Objetos:

Uno de los aspectos más potentes de JavaScript es su capacidad para manejar eventos, lo que permite la programación orientada a eventos. Esto significa que JavaScript puede responder a interacciones del usuario, como clics de botones, movimientos del ratón, o entradas de teclado, en tiempo real. Esta característica es fundamental para la creación de interfaces de usuario interactivas que responden de manera instantánea a las acciones del usuario, proporcionando una experiencia más fluida y dinámica sin tener que recargar la interfaz.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Herencia prototípica:

JavaScript implementa un modelo de herencia basado en prototipos, en lugar de la herencia basada en clases que se encuentra en muchos otros lenguajes orientados a objetos. En lugar de definir estructuras de clases tradicionales, JavaScript permite que los objetos hereden propiedades y métodos directamente de otros objetos. Esto proporciona un enfoque más flexible y dinámico para la creación de objetos y permite la reutilización de código sin la necesidad de una jerarquía de clases rígida.

Soporte para Programación Funcional:

JavaScript también proporciona un robusto soporte para la programación funcional, que es considerada una de las características más poderosas y versátiles del lenguaje. En JavaScript, las funciones son tratadas como “ciudadanos de primera clase”, significa que pueden ser asignadas a variables, almacenadas en estructuras de datos, pasadas como argumentos a otras funciones, e incluso retornadas desde otras funciones. Este enfoque permite la creación de funciones de orden superior, que son funciones que toman otras funciones como parámetros o las devuelven, permitiendo así patrones de desarrollo más complejos.

La programación funcional en JavaScript promueve la creación de código más modular, reutilizable y fácil de probar. Entre las características clave que soportan la programación funcional en JavaScript se encuentran las clausuras, que permiten que una función "recuerde" el entorno en el que fue creada, y las funciones anónimas, que se pueden definir sin un nombre explícito y son particularmente útiles en situaciones en las que una función solo se necesita una vez.

Además, JavaScript introduce las funciones de flecha, una sintaxis más concisa para escribir funciones anónimas que, además, no vinculan su propio valor de “this”, lo que evita problemas comunes en el manejo del contexto dentro de funciones. Junto con métodos funcionales incorporados en arrays como .map(), .filter(), .reduce(), entro otros, JavaScript ofrece una poderosa plataforma para implementar paradigmas de programación funcional, lo que hace que el código sea no solo más simple, sino también más eficiente y menos propenso a errores, convirtiendo a JavaScript en un lenguaje de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

elección para desarrolladores que buscan adoptar un estilo funcional en su código, especialmente en el desarrollo de aplicaciones modernas y complejas [53].

3.10.2 Evolución y Estándares

ECMAScript:

JavaScript está regulado y estandarizado bajo el nombre de ECMAScript (ES), cuya especificación es mantenida y desarrollada por Ecma International. La evolución del lenguaje ha sido marcada por varias versiones clave, pero la actualización más notable y transformadora fue ECMAScript 2015, comúnmente conocida como ES6. Esta versión introdujo mejoras significativas y nuevas características que han redefinido la forma en que los desarrolladores abordan el código en JavaScript. Entre las innovaciones destacadas se incluyen las clases, que facilitan la implementación de patrones de programación orientada a objetos; la desestructuración, que simplifica la extracción de valores de arrays y objetos; las plantillas literales, que ofrecen una sintaxis más conveniente para el manejo de cadenas; y los módulos, que permiten una mejor organización del código y la reutilización de componentes.

Desde el lanzamiento de ES6, ECMAScript ha adoptado un ciclo de actualizaciones anuales, cada una trayendo consigo nuevas características que siguen ampliando las capacidades del lenguaje. En la versión ES8, se introdujo async/await, una adición que revolucionó la forma en que se maneja la programación asíncrona en JavaScript, simplificando el código y haciéndolo más legible y manejable. Estas actualizaciones continuas aseguran que JavaScript permanezca relevante, adaptable y equipado para enfrentar los desafíos del desarrollo web moderno [54].

Compatibilidad y Transpilación:

A medida que JavaScript ha avanzado con nuevas versiones y características, ha surgido un desafío considerable: garantizar que el código desarrollado con las últimas funcionalidades del lenguaje sea compatible con todos los navegadores, incluidos aquellos más antiguos que no soportan las mejoras recientes. Este problema de compatibilidad es especialmente relevante en un ecosistema tan fragmentado como el de los navegadores web, donde los usuarios pueden estar utilizando una amplia gama de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

versiones, desde las más actualizadas hasta aquellas que no han recibido soporte hace años. Para superar este inconveniente, los desarrolladores recurren a herramientas de transpilación, siendo Babel una de las más destacadas en este ámbito. Babel es un transpilador que emplea el código JavaScript escrito en las versiones más recientes del lenguaje, incluyendo características avanzadas introducidas en ECMAScript, y lo convierte en un código equivalente y que es compatible con versiones anteriores del mismo estándar. Este proceso de transpilación asegura que el código puede ser ejecutado de manera efectiva en navegadores más antiguos, sin que los desarrolladores tengan que sacrificar las ventajas de las últimas innovaciones en el lenguaje.

El uso de herramientas como Babel permite a los desarrolladores adoptar un enfoque progresivo en la programación, beneficiándose de las características más modernas de JavaScript, como las clases, los módulos ES6, y async/await, mientras garantizan que su código sigue siendo accesible y funcional para todos los usuarios, independientemente del entorno o dispositivo que utilicen. Esto no solo facilita la adopción de nuevas tecnologías, sino que también promueve mejores prácticas en el desarrollo, como la modularización del código, sin dejar de lado una amplia compatibilidad y accesibilidad en muchos casos del mundo real [55].

JavaScript en el Desarrollo Moderno:

Manipulación del DOM:

Uno de los usos más comunes de JavaScript es la manipulación del DOM, que es una representación en memoria de la estructura de un documento HTML. JavaScript permite a los desarrolladores acceder y modificar elementos HTML y sus atributos, estilos, y contenido en respuesta a las interacciones del usuario o a otros eventos. Esto es fundamental para la creación de aplicaciones web dinámicas, donde la interfaz puede actualizarse sin necesidad de recargar la página completa [53].

Desarrollo del Lado del Servidor:

En sus inicios, JavaScript fue diseñado para ejecutarse en el entorno del navegador, actuando principalmente en el lado del cliente para gestionar la interacción con el usuario, manipular el DOM y comunicarse con servidores a través de tecnologías

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

como AJAX. Sin embargo, la evolución del lenguaje dio un giro significativo con la introducción de Node.js en 2009. Node.js revolucionó el uso de JavaScript al permitir que el lenguaje fuera ejecutado del lado del servidor, una capacidad previamente reservada para lenguajes como Java, PHP o Python.

Node.js está desarrollado sobre el motor V8 de Google Chrome, un motor de JavaScript de alto rendimiento que compila y ejecuta el código a velocidades sorprendentes. Esta base en V8, combinada con la arquitectura asincrónica y orientada a eventos de Node.js, permite la creación de aplicaciones de servidor altamente escalables y de alto rendimiento. A diferencia de los servidores tradicionales, que a menudo necesitan manejar múltiples hilos para gestionar conexiones concurrentes, Node.js opera en un solo hilo utilizando un modelo de entrada/salida no bloqueante. Esto le permite manejar miles de conexiones simultáneamente con un uso de recursos significativamente menor, lo que lo hace ideal para aplicaciones en tiempo real, como chats, juegos en línea, y APIs RESTful.

Con Node.js, JavaScript ha trascendido su rol original y se ha consolidado como un lenguaje de propósito general, capaz de gestionar tanto la lógica del cliente como la del servidor. Esta unificación del desarrollo front-end y back-end en un solo lenguaje facilita enormemente el desarrollo de aplicaciones full-stack, donde la misma base de código y paradigmas de programación pueden aplicarse en ambos entornos. Además, Node.js ha dado lugar a un vasto ecosistema de herramientas, frameworks y bibliotecas que optimizan el desarrollo del lado del servidor, como Express.js para la creación de aplicaciones web, y Socket.io para la comunicación en tiempo real. Como resultado, JavaScript ha ampliado significativamente su alcance, siendo una opción robusta y versátil para la construcción de aplicaciones modernas y complejas [53].

3.10.3 Frameworks y Biblioteca

JavaScript se ha convertido en la base de una amplia variedad de frameworks y bibliotecas que han transformado la manera en que se desarrollan aplicaciones web. Entre los ejemplos más destacados se encuentran React, Angular y Vue.js, cada uno de los cuales ha jugado un papel fundamental en la popularización y evolución de las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

aplicaciones de una sola página (Single Page Application o SPA). Estos frameworks ofrecen a los desarrolladores herramientas con alto potencial para construir interfaces de usuario interactivas y altamente dinámicas, permitiendo una gestión eficiente del estado de la aplicación y una experiencia de usuario más fluida y coherente. A continuación, se presentan algunos de los frameworks más populares:

React:

Desarrollado por Facebook, React introdujo el paradigma del desarrollo basado en componentes, donde las interfaces de usuario se dividen en bloques reutilizables y modulares. Este enfoque no solo facilita el mantenimiento y la escalabilidad del código, sino que también permite a los desarrolladores crear aplicaciones más organizadas y predecibles. React se destaca por su capacidad para renderizar componentes de manera eficiente utilizando un Virtual DOM, lo que optimiza el rendimiento de las aplicaciones y permite experiencias de usuario rápidas, fluidas y reactivas [56].

Angular:

Fue creado por los ingenieros de Google Misko Hevery y Adam Abrons, y lanzado de forma oficial como AngularJS en el año 2012, actualmente mantenido por Google, Angular es un framework completo que ofrece una solución integral para la construcción de aplicaciones complejas. Angular incorpora características como la fuerte tipificación de datos con TypeScript, inyección de dependencias, y un sistema de templates avanzado. Su arquitectura basada en módulos facilita la organización del código y promueve un desarrollo escalable, por otro lado, su soporte nativo para la programación reactiva, mediante RxJS, lo convierte en una opción robusta y confiable para aplicaciones que requieren manejar datos en tiempo real [57].

Vue.js:

Creado por el desarrollador Evan You, es conocido por su flexibilidad y su facilidad de integración. A pesar de ser más ligero que otros frameworks como Angular, Vue.js ofrece una rica funcionalidad y es altamente adaptable, lo que lo convierte en una opción atractiva tanto para proyectos pequeños como grandes. Su enfoque progresivo permite a los desarrolladores adoptar sus características de manera incremental,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

comenzando desde una simple mejora de HTML hasta la construcción de aplicaciones completas. Vue.js es también apreciado por su documentación clara y su comunidad de soporte activa [58].

Svelte:

Svelte es un framework más reciente que ha ganado popularidad debido a su enfoque único en el desarrollo de aplicaciones web. A diferencia de otros frameworks que operan principalmente en tiempo de ejecución, Svelte realiza la mayor parte de su trabajo en el momento de la compilación, eliminando código innecesario y resultando en aplicaciones finales rápidas y eficientes. Svelte se destaca por su simplicidad y su capacidad para generar código altamente optimizado, lo que permite a los desarrolladores crear aplicaciones con un rendimiento superior y un menor tamaño de archivo [59].

Estos frameworks y bibliotecas han simplificado enormemente el desarrollo de interfaces de usuario complejas. Además, han promovido prácticas de desarrollo modernas, como la separación de preocupaciones, la reutilización de código, y la adopción de patrones arquitectónicos como MVC (Modelo-Vista-Controlador) y MVVM (Modelo-Vista-VistaModelo). A través de estas herramientas, JavaScript ha avanzado más allá de simples scripts para páginas web, convirtiéndose en el núcleo de aplicaciones sofisticadas y robustas, adaptadas a las necesidades del desarrollo moderno y la evolución continua de la tecnología web.

3.10.4 Seguridad

Vulnerabilidades Comunes:

JavaScript, como cualquier lenguaje de desarrollo, presenta ciertos desafíos en términos de seguridad. Una de las vulnerabilidades más difundidas es el Cross-Site Scripting (XSS), un tipo de ataque donde los actores malintencionados inyectan código dañino en páginas web a través de entradas de usuario no aseguradas. Este código puede ejecutarse en el navegador de otros usuarios, lo que podría permitir al atacante robar información, alterar la interfaz del sitio o redirigir a los usuarios hacia sitios fraudulentos. Para minimizar estos riesgos, es vital se adopten prácticas de seguridad

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

rigurosas, como la validación exhaustiva de todas las entradas de usuario, el uso de técnicas de escape para caracteres peligrosos en las salidas de datos y la implementación de Políticas de Seguridad de Contenidos (CSP), las cuales limitan las fuentes desde las que se puede subir contenido a una aplicación [53].

Ejecución en el Navegador:

El hecho de que JavaScript se ejecute directamente en el navegador del usuario le otorga acceso a una variedad de recursos y funcionalidades del sistema, como la manipulación del DOM, el manejo de cookies y la realización de solicitudes HTTP. Aunque estas capacidades permiten la creación de aplicaciones web dinámicas e interactivas, también introducen riesgos significativos relacionados con la privacidad y la seguridad. Un ejemplo de ello es la posibilidad de que un script malicioso intente acceder a cookies de sesión almacenadas en el dispositivo o realice acciones no autorizadas en nombre del usuario. Para mitigar estos riesgos, los navegadores modernos han implementado diversas medidas de seguridad, tales como el sandboxing, que aísla el código JavaScript de recursos sensibles del sistema, y la política Same-Origin, la cual restringe las interacciones entre scripts de distintos orígenes, evitando que un sitio no seguro interfiera con los datos de otro de fuentes diferentes.

A medida que JavaScript continúa evolucionando, también lo hacen las herramientas y prácticas diseñadas para reforzar su seguridad. Es fundamental que los desarrolladores se mantengan informados sobre las vulnerabilidades emergentes y adopten un enfoque preventivo en la implementación de medidas de protección. Esto incluye utilizar bibliotecas confiables y actualizadas, aplicar cifrado en las comunicaciones y realizar auditorías regulares del código para identificar y corregir posibles fallas de seguridad.

3.11 React Framework

React es una biblioteca de JavaScript desarrollada y mantenida por Facebook/Meta, que se utiliza principalmente para la construcción de interfaces de usuario (UI) interactivas y dinámicas. Lanzado en 2013, React ha ganado una gran popularidad en la comunidad de desarrollo web debido a su enfoque en la creación de componentes reutilizables, su rendimiento optimizado y su ecosistema en constante evolución [56].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.11.1 Características

A continuación, se describen las principales características de React [56]:

Componentes:

Una de las principales características de React es su enfoque en componentes. Un componente en React es una pieza independiente y reutilizable de la UI. Estos componentes pueden ser tan pequeños como un botón o tan complejos como un formulario completo. Cada componente puede tener su propio estado y lógica de forma independiente, lo que permite a los desarrolladores construir interfaces de usuario complejas a partir de piezas más simples, mantenibles, reutilizables y escalables.

Propiedades (Props) de los Componentes:

Las props en React son valores que se transmiten desde un componente padre a un componente hijo. Las props son inmutables, lo que significa que no pueden ser cambiadas por el componente que las recibe, es decir solo se puede acceder como lectura. Este enfoque permite que los componentes sean más predecibles y fáciles de depurar, ya que su comportamiento depende completamente de las props que reciben.

Validación de Props:

React proporciona una herramienta de validación llamada PropTypes, que permite a los desarrolladores especificar el tipo de las props que un componente debería recibir. Esto ayuda a evitar errores al garantizar que los componentes reciban los tipos de datos correctos.

Propagación de Props:

Las props se pueden utilizar para pasar funciones de callback desde el componente padre al hijo, lo que permite al componente hijo comunicar eventos o cambios de estado de nuevo al padre.

Ciclo de Vida de los Componentes:

El ciclo de vida de un componente en React se refiere a las fases por las que pasa un componente desde que se crea hasta que se elimina de la interfaz de usuario. React

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

proporciona métodos específicos llamados "métodos del ciclo de vida" que permiten a los desarrolladores ejecutar código en distintos puntos de este ciclo. El ciclo de vida se divide en tres fases principales:

1. Montaje (Mounting):

   Esta es la fase en la que un componente se crea y se inserta en el DOM. Los métodos clave durante esta fase incluyen:

   constructor(): Se invoca cuando se instancia el componente, ideal para inicializar el estado y enlazar métodos.

   render(): Es obligatorio y devuelve el JSX que se renderizará en el DOM.

   componentDidMount(): Se llama justo después de que el componente se ha montado en el DOM, lo que lo convierte en un lugar ideal para realizar solicitudes de datos, inicializar suscripciones, o interactuar con APIs externas.

2. Actualización (Updating):

   Durante esta fase, un componente responde a cambios en las propiedades (props) o el estado (state). Entre los métodos más relevantes tenemos:

   shouldComponentUpdate(nextProps, nextState): Permite optimizar el rendimiento determinando si el componente debe actualizarse en respuesta a cambios en las props o el estado.

   componentDidUpdate(prevProps, prevState): Se ejecuta después de que el componente ha sido actualizado en el DOM, y se utiliza para realizar tareas adicionales en respuesta a las actualizaciones.

3. Desmontaje (Unmounting):

   Esta fase ocurre cuando un componente se elimina del DOM. El método principal aquí es componentWillUnmount(): se invoca justo antes de que el componente se elimine del DOM, lo que permite limpiar recursos como temporizadores, suscripciones, o cualquier otro proceso que deba detenerse para evitar fugas de memoria.

Estado (State) de los Componentes:

El estado en React es un objeto que contiene datos que pueden cambiar con el tiempo y que afectan la renderización de un componente. A diferencia de las props, que son

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

valores transferidos al componente desde su padre y son inmutables, el estado es mutable y está controlado internamente por el propio componente.

- Inicialización del Estado: El estado de un componente se define en su constructor y se inicializa mediante this.state = {}. A medida que cambia el estado, React vuelve a renderizar el componente para reflejar los nuevos datos en la interfaz de usuario.
- Actualización del Estado: Para cambiar el estado, se utiliza el método this.setState(), que asegura que React vuelva a renderizar el componente con el nuevo estado. Este método también puede aceptar una función como argumento, que recibe el estado anterior y las props actuales, lo que permite actualizaciones más complejas.

Funciones y Métodos del Ciclo de Vida Adicionales

Además de los métodos básicos del ciclo de vida, React ofrece métodos adicionales para manejar situaciones específicas:

- getDerivedStateFromProps(): Se utiliza para actualizar el estado interno de un componente en respuesta a un cambio en las props.
- getSnapshotBeforeUpdate(): Permite capturar información del DOM (por ejemplo, la posición de un scroll) justo antes de que los cambios actuales se apliquen, y luego esa información puede ser utilizada en componentDidUpdate para cambios circunstanciales.

3.11.2 Composición y Jerarquía de Componentes

La composición es un principio clave en React, donde componentes más grandes se construyen combinando componentes más pequeños y reutilizables. Esto promueve una arquitectura modular, donde la lógica y la UI se dividen en piezas manejables. Los componentes padres pueden delegar tareas específicas a los componentes hijos, mientras que los hijos pueden emitir eventos para notificar a los padres de cambios o interacciones del usuario [56].

- HOC (Higher-Order Components): Son componentes que toman un componente y devuelven un nuevo componente, agregando funcionalidades adicionales sin

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

modificar el componente original. Esto permite la reutilización de lógica de una manera limpia y desacoplada.

- Render Props: Es un patrón en el que se pasa una función como prop a un componente, y esa función se utiliza para determinar qué renderizar. Esto proporciona un enfoque flexible para compartir lógica entre componentes.

JSX (JavaScript XML):

React utiliza un lenguaje de plantilla llamado JSX, que permite a los desarrolladores escribir HTML dentro de archivos JavaScript. JSX facilita la creación de estructuras de UI declarativas y hace que el código sea más legible y expresivo. Aunque JSX es opcional, se ha convertido en una práctica estándar debido a su capacidad para simplificar la codificación y mejorar la experiencia de desarrollo [56].

Virtual DOM:

React implementa un concepto conocido como Virtual DOM, que es una representación ligera del DOM real. Cuando el estado de un componente cambia, React actualiza el Virtual DOM en lugar del DOM real, calculando la diferencia (diff) entre la versión anterior y la nueva. Solo las partes del DOM que han cambiado se actualizan, lo que resulta en una mejora significativa en el rendimiento, especialmente en aplicaciones grandes y complejas. Esto representa transiciones más fluidas y mejor experiencia de uso para el usuario final [56].

3.11.3 Ventajas

Las Ventajas de React.js para el desarrollo son [56]:

- Velocidad y rendimiento: Gracias a la optimización del Virtual DOM, React es capaz de manejar grandes volúmenes de datos y actualizaciones frecuentes sin afectar negativamente el rendimiento de la aplicación.
- Escalabilidad: React se adapta bien a aplicaciones tanto pequeñas como grandes. Gracias a su estructura modular y su soporte para herramientas de construcción como *React Router* y *Code Splitting*, es fácil escalar una aplicación a medida que crecen las necesidades del proyecto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Compatibilidad con otras tecnologías: React no está atado a ninguna tecnología específica del lado del servidor, lo que le permite integrarse sin problemas con otros frameworks y lenguajes, como Node.js, Express, o incluso soluciones como GraphQL. Esto otorga flexibilidad en cuanto a la arquitectura y las decisiones tecnológicas del proyecto.
- Desarrollo móvil con React Native: En caso de que el proyecto necesite expandirse a aplicaciones móviles, React Native permite reutilizar gran parte del código para desarrollar aplicaciones nativas para iOS y Android, lo que ahorra tiempo y recursos al no tener que desarrollar aplicaciones móviles desde cero.
- Unidireccionalidad del Flujo de Datos: React sigue un modelo de flujo de datos unidireccional, donde los datos fluyen de los componentes padres a los hijos a través de las propiedades (props). Esto hace que el seguimiento del estado de la aplicación y el flujo de datos sea más predecible y fácil de depurar, reduciendo la complejidad asociada con la gestión del estado en aplicaciones grandes.
- React Developer Tools: React cuenta con una herramienta de desarrollo llamada React Developer Tools, que permite a los desarrolladores inspeccionar la estructura de los componentes, ver sus estados y propiedades, y realizar un seguimiento de las actualizaciones de la UI en tiempo real. Esta herramienta es extremadamente útil para depurar y optimizar aplicaciones React en tiempo real.
- Interactividad avanzada: React facilita la creación de interfaces de usuario interactivas y reactivas. Gracias a sus hooks y su sistema de estados, es posible manejar eventos y realizar cambios en la interfaz en tiempo real, lo cual es esencial para proyectos donde la experiencia de usuario es prioritaria.
- Desarrollo de Single Page Applications (SPA): React facilita la creación de SPA, lo cual es ideal para mejorar la experiencia de usuario. En una SPA, la navegación entre páginas se realiza sin recargar toda la página, sino que se actualizan solo los componentes necesarios. Esto permite transiciones rápidas y fluidas entre secciones de la aplicación, proporcionando una experiencia similar a la de una aplicación nativa.
- Desarrollo progresivo: React permite comenzar con una aplicación pequeña e ir ampliándola a medida que evolucionan los requisitos del proyecto. Esto es especialmente útil para proyectos que requieren un enfoque ágil y flexible, donde

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

las características pueden ser agregadas o modificadas con facilidad sin interrumpir la base del código.

- Componentes: Al permitir la creación de componentes autónomos y reutilizables, React facilita la gestión de aplicaciones grandes, ya que cada componente puede evolucionar y cambiar de forma independiente. Esto reduce la complejidad y mejora la mantenibilidad del código.

3.11.4 Limitaciones y Desafíos

Curva de Aprendizaje:

Aunque React simplifica muchos aspectos del desarrollo de interfaces de usuario, también presenta una curva de aprendizaje significativa, especialmente para los desarrolladores que son nuevos en conceptos como el estado, los componentes y el ciclo de vida de los componentes. Además, React es solo la capa de vista en el patrón de diseño MVC, lo que significa que los desarrolladores deben aprender otras tecnologías y bibliotecas que complementan para manejar el enrutamiento, la gestión del estado global, y las operaciones asincrónicas [56].

Integración con Bibliotecas y Frameworks:

Dado que React se centra únicamente en la capa de vista, los desarrolladores a menudo necesitan integrar otras bibliotecas o frameworks para gestionar aspectos como el enrutamiento (con React Router), la gestión del estado global (con Redux o Context API), y la manipulación del DOM (con herramientas como jQuery). Esta flexibilidad puede ser un desafío para quienes buscan una solución todo en uno, ya que requiere la toma de decisiones cuidadosas sobre qué tecnologías adicionales incorporar .

3.11.5 Ecosistema y Comunidad

React Native:

Uno de los mayores éxitos derivados de React es React Native, una plataforma que permite a los desarrolladores construir aplicaciones móviles nativas utilizando React. React Native utiliza los mismos principios de componentes y estado que React, pero en lugar de renderizar en el DOM, se traduce en vistas nativas específicas de la plataforma (iOS o Android). Esto ha permitido a los desarrolladores expandir sus

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

habilidades al desarrollo móvil sin tener que aprender un nuevo lenguaje de programación [60].

Comunidad y Soporte:

React cuenta con una comunidad global activa, lo que significa que hay una gran cantidad de recursos disponibles, incluidos tutoriales, bibliotecas de terceros, y foros de discusión. Facebook, que sigue dando soporte continuamente a React, también asegura actualizaciones regulares y soporte para nuevas funcionalidades y mejoras de rendimiento [56].

Casos de Uso y Aplicaciones Reales:

React ha sido adoptado por una amplia gama de empresas y proyectos, desde startups hasta gigantes tecnológicos como Facebook, Instagram, Netflix, y Airbnb. Estas aplicaciones requieren interfaces de usuario dinámicas, rápidas y escalables, lo que hace de React la elección ideal. Por ejemplo, Facebook utiliza React para su plataforma web, lo que permite a los usuarios interactuar con la interfaz de manera rápida y eficiente, sin la necesidad de recargar la página completa.

React es una biblioteca poderosa y flexible para construir interfaces de usuario modernas. Su enfoque en componentes reutilizables, su rendimiento optimizado a través del Virtual DOM, y su ecosistema robusto lo convierten en una de las herramientas más valiosas para los desarrolladores actuales, por otra parte, como con cualquier tecnología, es importante entender sus limitaciones y desafíos para poder aprovechar al máximo sus capacidades.

3.12 Librerías

3.12.1 Serial

La librería serial se usa para la comunicación serial en Python. Permite interactuar con puertos serie como los utilizados por dispositivos como microcontroladores (por ejemplo, Arduino) o módulos GPS como el que será empleado en el presente prototipo. Proporciona métodos para leer y escribir datos a través de puertos COM, facilitando la interacción con hardware. Las funcionalidades destacadas son [61]:

- Conexión y Configuración del Puerto Serie: permite abrir, configurar y cerrar conexiones con puertos serie. Los parámetros configurables incluyen:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Puerto: El puerto serie específico (como COM3 en Windows o /dev/ttyUSB0 en Raspbian).
- Baudrate: La velocidad de transmisión (bits por segundo). Los valores comunes son 9600, 115200, etc., y deben coincidir con los del dispositivo al que se conecta.
- Paridad, Bits de datos, Bits de parada, y Control de Flujo: Permiten ajustar parámetros avanzados que dependen de la configuración del dispositivo.

```
import serial
ser = serial.Serial('COM3', 9600, timeout=1)
```

Figura 29: Ejemplo de definición de puerto serial COM3, Elaboración Propia.

- Lectura y escritura de Datos: permite leer y escribir datos a través del puerto serie.
  - Lectura (ser.read, ser.readline, ser.read_until): Permite recibir datos del dispositivo conectado, que suelen ser cadenas de texto o datos binarios.
  - Escritura (ser.write): Permite enviar comandos o datos desde Python al dispositivo. Los datos suelen enviarse en formato de bytes, por lo que es común codificar cadenas antes de enviarlas.
- Manejo de Timeout (Tiempo de Espera): Es un parámetro que controla cuánto tiempo esperará serial antes de dar por finalizada una operación de lectura o escritura. Si se establece en None, esperará indefinidamente; si se establece un valor en segundos, terminará después de ese tiempo, lo cual es útil para evitar bloqueos si el dispositivo tarda en responder ante cierta operación.
- Control de Señales de Estado: Algunos dispositivos requieren señales de control de hardware, como DTR (Data Terminal Ready) y RTS (Request to Send). La librería permite activar o desactivar estas señales, útil en protocolos de comunicación que dependen de ellas.
- Lectura y Escritura de Datos Binarios: permite tanto la lectura y escritura de datos binarios como de texto. Esto es útil cuando se necesita enviar comandos codificados o datos en formatos específicos, como estructuras de bytes, en lugar de texto simple.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Interrupción y Cierre de la Conexión: Una vez finalizadas las comunicaciones, se recomienda cerrar la conexión con ser.close(). Esto libera el puerto para que otros programas o scripts puedan usarlo y previene conflictos de recursos en el sistema, sobretodo si se manejan múltiples dispositivos.

3.12.2 time

La librería time proporciona funciones relacionadas con el tiempo. Permite trabajar con fechas y horas, medir tiempos de ejecución de código, y generar retardos en la ejecución (mediante sleep()), entre sus capacidades están [62]:

- Medir Duración de Ejecuciones y Tiempos de Respuesta: Con time.time(), time.perf_counter(), y time.monotonic(), es posible medir el tiempo de ejecución de un segmento de código o el tiempo transcurrido desde un punto en particular. Aplicado donde es necesario calcular tiempos de procesamiento, latencia de respuestas, o medir el rendimiento.
- Generar Retardos con sleep(): time.sleep() es útil para pausar la ejecución del programa por un periodo específico, en segundos. Utilizado en bucles donde se requiere que las operaciones se ejecuten con una frecuencia específica o en aplicaciones que interactúan con dispositivos de hardware y necesitan esperar entre comandos.
- Trabajar con Timestamps y Fechas en Formato Unix: time.time() devuelve la cantidad de segundos desde el Epoch (1 de enero de 1970), conocido como timestamp. Este valor es ampliamente utilizado en aplicaciones que requieren realizar cálculos de tiempo, comparar tiempos, o almacenar fechas de eventos.
- Formateo y Conversión de Fechas y Horas: time.strftime() permite formatear una fecha u hora en una cadena con el formato deseado, como YYYY-MM-DD o HH:MM:SS. time.strptime() realiza la operación inversa, convirtiendo una cadena a un objeto de tiempo.
- Obtener la Fecha y Hora Actual: time.ctime() y time.asctime() devuelven una representación en texto de la fecha y hora actual, facilitando la creación de logs o mensajes de estado que incluyen la hora en que ocurrieron los eventos.
- Conversión entre Fechas y Timestamps: time.mktime() convierte una estructura de tiempo (como la devuelta por localtime()) en un timestamp. Esto es útil

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

cuando se necesita realizar cálculos de tiempo o registrar eventos con una precisión en segundos.

3.12.3 string

string es una librería que ofrece una colección de funciones y constantes útiles para manipular cadenas de texto. Incluye herramientas como [63]:

- Constantes de Caracteres Comunes: string incluye varias constantes que representan conjuntos de caracteres frecuentemente utilizados, facilitando el acceso a tipos específicos de caracteres sin necesidad de escribir manualmente cada uno. Estas constantes incluyen:
    - string.ascii_letters: Todos los caracteres alfabéticos (abcdefghijklmnopqrstuvwxyzABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ).
    - string.ascii_lowercase: Todos los caracteres en minúsculas (abcdefghijklmnopqrstuvwxyz).
    - string.ascii_uppercase: Todos los caracteres en mayúsculas (ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ).
    - string.digits: Todos los caracteres numéricos (0123456789).
    - string.punctuation: Todos los caracteres de puntuación estándar (!"#$%&'()*+,-./:;<=>?@[\]^_{|}~`).
    - string.whitespace: Todos los caracteres de espacio en blanco (\t\n\r\x0b\x0c), incluyendo espacio, tabulador, y saltos de línea.
- Formato de Texto con Template: string.Template permite realizar reemplazos en cadenas de texto utilizando un formato específico con delimitadores ($).Empleado para personalizar plantillas de texto, creando mensajes dinámicos o generando contenido repetitivo.
- Generación de Cadenas Aleatorias (por ejemplo, Contraseñas):

  Al combinar string con la librería random, es fácil crear cadenas aleatorias a partir de conjuntos específicos de caracteres (como letras y dígitos). Esto es ideal para generar contraseñas, IDs únicos, o tokens.
- Manipulación de Cadenas en Distintos Casos (Mayúsculas y Minúsculas): es común usar constantes como ascii_lowercase y ascii_uppercase junto con

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

métodos como str.upper(), str.lower() y str.capitalize() para manipular el caso de texto, ya que string proporciona acceso rápido a caracteres en mayúsculas y minúsculas.

- Validación de Caracteres en Cadenas: string permite validar el contenido de una cadena comparando con las constantes disponibles. Por ejemplo, es posible verificar si una cadena contiene solo letras o solo dígitos usando ascii_letters o digits.

3.12.4 pynmea2

pynmea2 es una librería utilizada para interpretar datos en el formato NMEA 0183, un protocolo estándar para la comunicación de datos de dispositivos GPS y otros sensores marinos. pynmea2 facilita la decodificación de estos datos, permitiendo extraer y manejar la información proveniente de mensajes NMEA, como la posición geográfica, velocidad, tiempo, y más [64].

En el presente desarrollo, será empleada principalmente para la extracción de datos geográficos de latitud, longitud y altitud, los cuales serán usados para emparejarse con la señal recibida e identificar donde fue adquirida la señal. Las funciones principales de la librería incluyen:

- Parsers para Mensajes NMEA: pynmea2 tiene clases especializadas para cada tipo de mensaje NMEA, permitiendo la interpretación de diferentes tipos de datos, tales como:
  - GGA: Proporciona información de posición fija, incluyendo coordenadas, altura y número de satélites.
  - RMC: Ofrece datos de posición, velocidad sobre el suelo, y el estatus de la conexión.
  - GSV: Detalla la visibilidad y la calidad de los satélites.
  - GLL: Proporciona coordenadas de latitud y longitud, y tiempo de posición.

```
mensaje = "$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47"
mensaje_parsed = pynmea2.parse(mensaje)
print(f"Latitud: {mensaje_parsed.latitude}, Longitud: {mensaje_parsed.longitude}")
```

Figura 30: Ejemplo de extracción de coordenadas empleando pynmea2.parse, Elaboración Propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Validación de mensajes NMEA: pynmea2 valida automáticamente la integridad de los mensajes mediante el uso de sumas de verificación incluidas en el protocolo NMEA. Si el mensaje es inválido o incompleto, la librería arroja un error, asegurando que solo los datos correctos sean procesados.
- Generación de Mensajes NMEA: Además de leer mensajes, pynmea2 permite crear mensajes NMEA, útil para pruebas o para aplicaciones de simulación. Al crear un mensaje, se define el tipo y los datos correspondientes, y la librería genera la cadena NMEA correcta, incluyendo la suma de verificación.
- Acceso a Atributos de Mensajes: Cada tipo de mensaje tiene un conjunto específico de atributos que se pueden acceder directamente desde las instancias de pynmea2. Por ejemplo, en un mensaje GGA, se pueden obtener la latitud (latitude), longitud (longitude), altitud (altitude), y otros datos de posición.
- Integración con Aplicaciones en Tiempo Real: pynmea2 se puede integrar en aplicaciones de procesamiento de datos en tiempo real para analizar las secuencias de mensajes NMEA recibidos continuamente. Siendo vital para aplicaciones de navegación, seguimiento de rutas, y monitoreo de vehículos en movimiento.

3.12.5 DictWriter

DictWriter es una clase de la librería csv que permite escribir en archivos CSV (valores separados por comas) utilizando un diccionario. Facilita la conversión de estructuras de datos como diccionarios a filas de un archivo CSV, asignando las claves del diccionario a las columnas del archivo. Permitirá el almacenamiento de la información obtenida del GPS y las muestras de potencia del RTL SDR, para su posterior procesamiento. La librería permite [65]:

- Escribir Datos en un CSV Usando Diccionarios: DictWriter permite escribir datos en un archivo CSV donde cada fila está representada por un diccionario, con claves que coinciden con los nombres de columna. Esto simplifica el proceso de almacenamiento, ya que permite usar las claves del diccionario para especificar directamente la estructura del archivo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Definir el Orden de las Columnas: Al inicializar DictWriter, puedes definir el orden de las columnas en el archivo especificando una lista de claves (nombres de columnas) en el parámetro fieldnames. Esto garantiza que las columnas en el archivo CSV sigan un orden específico, lo cual es útil para mantener consistencia, especialmente si el archivo se debe leer en otras aplicaciones o sistemas.
- Manejo Automático de Encabezados: DictWriter tiene el método writeheader() que escribe los encabezados en el archivo CSV de acuerdo con los nombres de columna especificados en fieldnames. Esto facilita la creación de archivos CSV con un formato estructurado y bien definido desde el inicio.

3.12.6 Pylab

Pylab es una interfaz de alto nivel para la librería matplotlib. Combina funcionalidades de matplotlib para la creación de gráficos con herramientas de numpy para trabajar con arrays y funciones matemáticas. Es comúnmente utilizado para crear visualizaciones científicas de manera rápida. Entre sus funciones principales están [66]:

- Interfaz Simplificada de Graficación: pylab permite crear gráficos de forma rápida mediante funciones directas, lo cual facilita la generación de representaciones visuales de datos sin la necesidad de configurar detalladamente la figura. Esto incluye gráficos de líneas, dispersión, histogramas, diagramas de barras, y más.
- Operaciones Matemáticas y Cálculo Numérico: Al combinar funciones de numpy, pylab permite realizar operaciones numéricas avanzadas como generación de series, cálculo de funciones trigonométricas, estadísticas y manipulación de matrices, ofreciendo un enfoque completo para cálculos matemáticos y visualización.
- Personalización de Gráficos: pylab permite personalizar los gráficos de múltiples maneras, como agregar etiquetas a los ejes, ajustar el título, cambiar los colores y estilos de las líneas, y añadir leyendas y anotaciones. Permite adaptar los gráficos a las necesidades específicas de presentación de datos.
- Soporte para Gráficos en Tiempo Real: pylab permite la actualización continua de gráficos, ideal para mostrar datos en tiempo real, como los de sensores GPS o cualquier otro dispositivo de adquisición de datos. Esto es especialmente útil para aplicaciones en sistemas de monitoreo y prototipos de IoT.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.12.7 Rtlsdr

Rtlsdr es una librería que permite interactuar con dispositivos SDR (Software Defined Radio) basados en el chip RTL-SDR. Este tipo de dispositivos se utilizan para recibir señales de radiofrecuencia (RF) y analizar espectros de radio en una variedad de frecuencias, siendo comúnmente empleados en aplicaciones de radioaficionados y monitoreo de espectros, la librería permite [67]:

- Control de Configuración del Dispositivo: La librería permite configurar el dispositivo SDR en cuanto a frecuencia central, ganancia, tasa de muestreo y otros parámetros esenciales para captar señales con precisión en el rango deseado.
- Captura de señales en tiempo real: rtlsdr permite capturar muestras de datos en tiempo real, transformando las ondas de radio en datos digitales que pueden analizarse y graficarse. Esto es útil para aplicaciones que requieren monitoreo continuo o análisis de señales.
- Interfaz Simple para Operaciones SDR: La librería ofrece métodos accesibles para iniciar y detener la captura de señales, facilitando la programación de scripts que controlan y gestionan el flujo de datos de radio sin una configuración compleja.
- Compatibilidad con Procesamiento de Señales: Las muestras obtenidas de un SDR con rtlsdr se pueden procesar con herramientas como numpy, scipy y matplotlib, lo que permite analizar y visualizar aspectos como el espectro de frecuencia, la intensidad de señal, y los cambios a lo largo del tiempo.
- Amplia Aplicabilidad en Distintas Frecuencias: Aunque el rango de frecuencias que puede captar depende del hardware SDR utilizado, la mayoría de los dispositivos compatibles con rtlsdr operan desde alrededor de 24 MHz hasta 1.7 GHz, cubriendo frecuencias de radio FM, banda aérea, ondas cortas, y frecuencias de interés en experimentos de telemetría.

3.12.8 Matplotlib

Matplotlib es una de las librerías más populares para la creación de gráficos en Python. Permite generar gráficos estáticos, animados y visualizaciones interactivas, como gráficos de líneas, barras, dispersión, histogramas, entre otros. Es muy utilizada en ciencia de datos y análisis visual de datos. Entre sus capacidades están [68]:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Gráficos Diversos y Personalizables: La biblioteca permite crear una amplia gama de gráficos como líneas, puntos, dispersión, barras, y más. Cada gráfico es altamente configurable y permite personalizar detalles como estilo, color, grosor de líneas, y etiquetas
- Interfaz Basada en Objetos (OO): ofrece una interfaz de orientación a objetos que permite un control más detallado sobre el diseño de los gráficos y la organización de múltiples subgráficas, útil en proyectos avanzados y grandes conjuntos de datos.
- Compatibilidad con NumPy y Otras Librerías de Ciencia de Datos: La biblioteca se integra fácilmente con NumPy, facilitando la visualización y análisis de datos almacenados en arrays. También es compatible con pandas, scipy, y otras herramientas de ciencia de datos.
- Visualización en Tiempo Real: permite la actualización dinámica de gráficos en tiempo real, útil para aplicaciones interactivas o en aquellos proyectos que requieren monitoreo y visualización en vivo de datos.
- Extensión con Basemap y Mplot3d: Con submódulos como mplot3d, Matplotlib permite visualizar datos en 3D y realizar gráficos complejos de superficies, mientras que Basemap facilita la creación de mapas, especialmente útil en análisis geoespaciales.

3.12.9 Math

"math" es una librería estándar de Python que proporciona funciones matemáticas básicas y avanzadas, como operaciones trigonométricas, logaritmos, exponentes, funciones estadísticas, y constantes como pi y e. Es útil para realizar cálculos matemáticos complejos de manera eficiente. Entre sus características están [69]:

- Funciones Trigonométricas: La biblioteca ofrece una gama completa de funciones trigonométricas, como sin(), cos(), y tan(), así como sus inversas, permitiendo trabajar con ángulos y cálculos basados en coordenadas polares.
- Logaritmos y exponenciales: Funciones como log() (logaritmo natural) y exp() (exponencial) permiten realizar cálculos que incluyen crecimiento exponencial y decaimiento logarítmico, ampliamente utilizados en física, biología, y economía.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Constantes matemáticas: math define constantes como pi ($\pi \approx 3.14159$) y e (≈ 2.71828), esenciales para fórmulas científicas y cálculo avanzado.
- Cálculos de raíces y potencias: La función sqrt() permite obtener raíces cuadradas, mientras que pow() y el operador ** ayudan a realizar potencias de cualquier base y exponente, una operación común en cálculos algebraicos y geométricos.
- Funciones de Redondeo y Manipulación de Decimales: math ofrece funciones como ceil() y floor() para redondear números hacia arriba o hacia abajo, y trunc() para eliminar decimales sin redondeo, útil en situaciones donde se requieren valores enteros específicos.
- Factores, Módulo y Combinatoria: Funciones como factorial() y gcd() (máximo común divisor) empleados en combinatoria, teoría de números, y problemas de optimización matemática.

3.12.10 numpy

numpy es una librería empleada para la computación científica en Python. Proporciona soporte para arrays multidimensionales y una gran cantidad de funciones matemáticas para operar sobre ellos. Es ampliamente usada en áreas como álgebra lineal, procesamiento de señales, y análisis numérico. Sus funciones destacadas son [70]:

- Arrays Multidimensionales (ndarray): NumPy permite crear y manipular arrays N-dimensionales (como matrices) que soportan operaciones vectorizadas y evitan la necesidad de bucles, lo que mejora el rendimiento en cálculos.
- Operaciones matemáticas y lógicas vectorizadas: Los arrays de NumPy permiten aplicar operaciones de manera directa y eficiente a todos sus elementos, lo cual es útil para realizar cálculos aritméticos y lógicos de manera masiva.
- Funciones Matemáticas y Estadísticas: Incluye funciones como mean(), median(), std() y sum() que permiten cálculos estadísticos rápidos. Las funciones avanzadas de álgebra lineal y transformadas de Fourier también facilitan el análisis científico.
- Generación de Datos Aleatorios: cuenta con un submódulo random para generar datos aleatorios en diferentes distribuciones, lo cual es útil en yagies, algoritmos de optimización y entrenamiento de modelos en inteligencia artificial.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Manipulación Avanzada de Arrays: Soporta funciones para redimensionar, transponer, combinar y dividir arrays, permitiendo una gran flexibilidad en el procesamiento de datos y adaptaciones de formato.
- Soporte de Álgebra Lineal: NumPy incluye funciones para álgebra lineal como dot() (producto escalar), linalg.inv() (inversa de matrices), y eig() (valores propios), que son esenciales en cálculos de geometría, transformaciones de espacio, y machine learning.

3.12.11 cubicSpline

Esta librería se basa en la implementación del spline cúbico, la cual es una técnica de interpolación que utiliza polinomios de grado 3 para conectar puntos de datos consecutivos $(\boldsymbol{x_0}, \boldsymbol{x_1}, \dots, \boldsymbol{x_n})$. Su objetivo es crear una curva continua y suave que pase exactamente por cada uno de estos puntos, asegurando la continuidad de la función, su primera derivada $(\boldsymbol{f'(x)})$ y su segunda derivada $(\boldsymbol{f''(x)})$**.** Se define como [71]:

Sea $\boldsymbol{f(x)}$ la función interpolada, definida en intervalos $[\boldsymbol{x_i}, \boldsymbol{x_{i+1}}]$. Para cada intervalo, el spline cúbico se expresa como un polinomio de la forma:

$$\boldsymbol{S_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3, x \in [x_i, x_{i+1}]}$$

Donde:

- $\boldsymbol{a_i, b_i, c_i, d_i}$ son los coeficientes que deben determinarse.
- $\boldsymbol{x_i}$**y** $\boldsymbol{x_{i+1}}$son los puntos inicial y final por intervalo.

Condiciones de determinación del Spline:

Para garantizar que la interpolación sea suave y precisa, se imponen las siguientes condiciones [72]:

1. Condición de interpolación:

   La función spline debe pasar exactamente por los puntos de datos dados. Es decir, para cada intervalo $[\boldsymbol{x_i}, \boldsymbol{x_{i+1}}]$, los polinomios $\boldsymbol{S_i(x)}$ deben cumplir:

   $$\boldsymbol{S_i(x_i) = f(x_i), \qquad S_i(x_{i+1}) = f(x_{i+1})}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde $f(x_i)$ será el valor conocido de la función en x_i. Esto asegura que no haya desviaciones entre la función interpolada y los datos originales.

2. Continuidad de la función:

   El spline cúbico debe ser una función continua en todo el dominio definido por los datos. Esto implica que los polinomios $S_i(x)$ y $S_{i+1}(x)$ deben coincidir en el punto x_{i+1}. Expresada matemáticamente como:

   $$S_i(x_{i+1}) = S_{i+1}(x_{i+1}), \text{ para } i = 0, 1, \dots, n-1$$

   Esta condición asegura que no existan discontinuidades en la función interpolada.

3. Continuidad de la primera derivada:

   La primera derivada de la función spline, $S'(x)$, representa la pendiente o tasa de cambio. Para mantener un comportamiento suave y físico, la pendiente debe ser continua en todos los puntos de unión $(x_1, x_2 \dots, x_{n-1})$:

   $$S'_i(x_{i+1}) = S'_{i+1}(x_{i+1}), \text{ para } i = 0, 1, \dots, n-1$$

   Esta condición asegurará que no existan cambios bruscos en la dirección de la curva.

4. Continuidad de la segunda derivada:

   La segunda derivada de $S(x), S''(x)$, determina la curvatura de la función. En el spline cúbico, se exige que esta curvatura también sea contínua en los puntos internos:

   $$S''_i(x_{i+1}) = S''_{i+1}(x_{i+1}) \text{ , para } i = 0, 1, \dots, n-1$$

   Esta última garantiza que la función interpolada no tenga cambios abruptos en la aceleración de su forma, manteniendo una transición suave entre intervalos.

5. Condiciones en los extremos:

   Para cerrar el sistema de ecuaciones y resolver los coeficientes de los polinomios, se deben imponer condiciones adicionales en los extremos $(x_0 \text{ y } x_n)$. Los más comunes son:

   a. Condición natural: Se asume que la segunda derivada en los extremos es cero, esto implica que los extremos son lineales, evitando la introducción de oscilaciones espurias:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$S_0''(x_0) = 0, \qquad S_{n-1}''(x_n) = 0$$

b. Condición clamped o especificada: Se especifican valores concretos para las segundas derivadas en los extremos, comúnmente asociada a problemas físicos, como el diseño de estructuras o mecánica, donde se desea controlar el valor de la derivada en extremos, por ejemplo:

$$S'(x_0)=\alpha \text{ , } S'(x_n) = \beta$$

c. Condición Not-a-Knot: Elimina una de las restricciones en las derivadas en uno o ambos extremos, permitiendo que el spline trate estos puntos como si fueran nodos interiores, ideal para conjuntos de nodos pequeños y experimentales simples donde se busca mantener el comportamiento de la curvatura.

d. Condición periódica: Asume que la función periódica, igualando la pendiente y la curvatura en los extremos. Ideal para datos cíclicos y que presentan un patrón periódico, como señales sinusoidales, reproduciendo naturalmente la naturaleza repetitiva de los datos, expresada como:

$$S'(x_0) = S'(x_n), \qquad S(x_0) = S(x_n)$$

La elección de las condiciones dependerá de la naturaleza del problema y los datos obtenidos, para el análisis de señales electromagnéticas de la presente investigación, la condición natural será la más apropiada, ya que permitirá una transición suave y sin oscilaciones indeseadas al conectar los extremos de puntos de datos.

Resolución del sistema de ecuaciones:

Para la construcción de un spline cúbico que interpole los datos, es necesario resolver un sistema de ecuaciones lineales que asegura la continuidad, suavidad y ajuste adecuado de la función interpolante. Este sistema surge de las condiciones de continuidad para el spline, así como de las condiciones de frontera seleccionadas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Dado un conjunto de $\boldsymbol{n+1}$ puntos $(\boldsymbol{x_0, y_0}), (\boldsymbol{x_1, y_1}), \dots, (\boldsymbol{x_n, y_n})$, el objetivo es definir una serie de funciones cúbicas $\boldsymbol{S_i(x)}$ en los intervalos $[\boldsymbol{x_i, x_{i+1}}]$, de modo que:

$$\boldsymbol{S_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3}$$

Donde $\boldsymbol{a_i, b_i, c_i, d_i}$ son los coeficientes del spline cúbico en cada intervalo.

El sistema de ecuaciones para determinar estos coeficientes se obtiene de las condiciones mencionadas en el punto 5.5.2, generando un sistema matricial de $\boldsymbol{4(n-1)}$ ecuaciones con $\boldsymbol{4n}$ incógnitas ($\boldsymbol{a_i, b_i, c_i, d_i}$ para cada segmento). Sin embargo, los coeficientes $\boldsymbol{a_i}$ se conocen directamente como los valores de las muestras $\boldsymbol{y_i}$, lo que reduce el problema a n-1 incógnitas principales relacionadas con los valores de las segundas derivadas $\boldsymbol{S''(x_i) = M_i}$. El sistema por lo tanto toma la forma matricial [72]:

$$\boldsymbol{AM = B},$$

Donde:

- M es el vector de las segundas derivadas de los nodos $[\boldsymbol{M_o, M_1, \dots, M_n}]$.
- A es una matriz tridiagonal que depende de los intervalos $\boldsymbol{h_i = x_{i+1} - x_i}$.
- B es un vector que depende de las diferencias entre las muestras $\boldsymbol{y_i}$.

Para un spline cúbico natural, el sistema específico es:

$$\begin{bmatrix} 2(h_0+h_1) & h_1 & 0 & \dots & 0 \\ h_1 & 2(h_1+h_2) & h_2 & \dots & 0 \\ 0 & h_2 & 2(h_2+h_3) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & h_{n-2} \\ 0 & 0 & 0 & h_{n-2} & 2(h_{n-2}+h_{n-1}) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} M_0 \\ M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{3}{h_1}(y_2 - y_1) - \frac{3}{h_0}(y_1 - y_0) \\ \frac{3}{h_1}(y_2 - y_1) - \frac{3}{h_0}(y_1 - y_0) \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Las ecuaciones que corresponden a cada fila serán:

Ecuaciones para nodos internos:

Para $\boldsymbol{i = 1, 2, \dots, n-1}$:

$$\boldsymbol{h_{i-1}M_{i-1} + 2(h_{i-1} + h_i)M_i + h_iM_{i+1} = B_i}$$

Donde:

$$\boldsymbol{B_i = 3\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h_{i-1}}\right)}$$

Cada ecuación define la relación entre las segundas derivadas $\boldsymbol{M_{i-1}, M_i}$ y $\boldsymbol{M_{i+1}}$ en tres nodos consecutivos, ponderadas por los tamaños de los intervalos $\boldsymbol{h_{i-1}}$ y $\boldsymbol{h_i}$. Estas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

aseguran garantizan la continuidad de la segunda derivada del spline cúbico. Para la condición de los extremos, siendo la natural la elegida:

$$\boldsymbol{M_0 = 0\ y\ M_n = 0}$$

Simplificando las ecuaciones de los extremos:

$$\boldsymbol{2h_0M_1 + h_1M_2 = B_1,}$$

$$\boldsymbol{h_{n-2}M_{n-2} + 2h_{n-1}M_{n-1} = B_{n-1}}$$

Al resolver el sistema, se puede obtener los valores de $\boldsymbol{M_1, M_2, \dots, M_{n-1}}$, que se combinan con las condiciones de los extremos ($\boldsymbol{M_0\ y\ M_n}$) para definir cada polinomio cúbico $\boldsymbol{S_i(x)}$.

Finalmente, cada polinomio cúbico tiene la forma:

$$\boldsymbol{S_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3}$$

Donde los coeficientes $\boldsymbol{a_i, b_i, c_i, d_i}$ se obtienen de:

- $\boldsymbol{a_i = y_i}$
- $\boldsymbol{b_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} - \frac{h_i}{3}(2M_i + M_{i+1})}$
- $\boldsymbol{c_i = M_i}$
- $\boldsymbol{d_i = \frac{M_{i+1} - M_i}{3h_i}}$

3.12.12 React Leaflet

React Leaflet es una librería open source diseñada para facilitar la integración de mapas interactivos para aplicaciones desarrolladas en React. Basada en la biblioteca Leaflet, la cual es ampliamente utilizada para la visualización de mapas dinámicos en entornos web. El principal aporte de React Leaflet se encuentra en su capacidad para combinar la flexibilidad de Leaflet con la estructura basada en estados y propiedades de React. De este modo, se pueden representar elementos cartográficos dinámicamente, actualizando la información en tiempo real conforme cambian los datos de la aplicación (ingreso de nuevas coordenadas o archivos de datos).

Además, permite incorporar múltiples capas de visualización, soportando servicios de terceros como OpenStreetMap, Google Maps o Mapbox. Además, proporciona

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

componentes para la representación de elementos como marcadores, círculos, polígonos y líneas, facilitando la superposición de información geográfica sobre los mapas.

React Leaflet se caracteriza por su rendimiento optimizado, gestiona eficientemente la actualización de componentes en el Virtual DOM, evitando recargas innecesarias y asegurando fluidez en la interfaz. Asimismo, al ser una solución modular, permite importar únicamente los componentes necesarios, reduciendo el peso del paquete final y mejorando el tiempo de carga de la aplicación.

En cuanto a su integración con herramientas modernas de desarrollo, también es compatible con frameworks como Next.js y Vite, lo que permite su uso en aplicaciones de alto rendimiento. También puede combinarse con bibliotecas de gestión de estado como Redux o Context API para manejar información geoespacial de manera centralizada. Esto facilita la manipulación de datos en proyectos donde se requiere una actualización constante de la visualización del mapa según la interacción del usuario o la llegada de nueva información [73].

3.13 SSH-2 (Secure Shell 2)

El protocolo SSH-2 es un mecanismo criptográfico que provee una interacción segura con sistemas remotos a través de redes expuestas a riesgos de interceptación. Sucesor de SSH-1, introduce mejoras significativas en lo referente a seguridad, eficiencia y modularidad, consolidándose como el estándar en entornos de administración remota y transferencia segura de datos.

Uno de los aspectos distintivos de SSH-2 es su arquitectura optimizada, basada en la separación de funciones en tres capas independientes: transporte, autenticación y conexión. La capa de transporte establece un canal cifrado mediante algoritmos robustos como AES, ChaCha20-Poly1305 y Blowfish, garantizando confidencialidad de los datos. La capa de autenticación soporta múltiples métodos, priorizando el uso de claves públicas mediante el intercambio de claves Diffie-Hellman y la autenticación con Ed25519, lo que elimina vulnerabilidades presentes en versiones anteriores del protocolo. Además, la capa de conexión gestiona la multiplexación de sesiones, permitiendo el uso simultáneo de múltiples canales dentro de una sola conexión SSH.

En cuanto a la autenticación, el protocolo permite la implementación de mecanismos avanzados que reemplazan las contraseñas tradicionales por sistemas más seguros. El

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

método más extendido se basa en el uso de pares de claves asimétricas, donde una clave privada se almacena localmente y su contraparte, la clave pública, se registra en el servidor. Durante el proceso de autenticación, el servidor cifra un desafío utilizando la clave pública, asegurándose de que solo el poseedor de la clave privada correspondiente pueda responder correctamente. Este esquema evita la transmisión de credenciales en texto plano y mitiga ataques como Man-in-the-Middle (MitM) y fuerza bruta, también SSH-2 incorpora funcionalidades avanzadas que optimizan la administración de sistemas y refuerzan la protección de las comunicaciones [74]:

- Reenvío de puertos (Port Forwarding): Encapsulación segura del tráfico de aplicaciones dentro del túnel SSH, permitiendo la protección de sesiones sensibles como conexiones a bases de datos o servicios VNC.
- Reenvío X11: Habilita la ejecución remota de aplicaciones gráficas con renderizado local, optimizando interacción con entornos de escritorio de forma segura.
- Transferencia segura de archivos: Protocolos como SCP y SFTP proporcionan el intercambio confiable de archivos entre hosts, utilizando cifrado extremo a extremo para garantizar la integridad y confidencialidad de datos.
- Multiplexación de sesiones: Reduce la sobrecarga en la creación de conexiones al permitir la ejecución concurrente de múltiples canales dentro de una única sesión, optimizando recursos.
- Compresión de datos: SSH-2 admite la compresión en tiempo real, disminuyendo el ancho de banda requerido para la transmisión de información y mejorando la eficiencia en conexiones de baja velocidad.

3.14 SFTP

SFTP, o Protocolo de Transferencia de Archivos SSH, es una extensión segura del Protocolo SSH (Secure Shell) que se utiliza para transferir archivos de manera segura entre un cliente y un servidor a través de una red. Desarrollado como una alternativa más segura al tradicional FTP (File Transfer Protocol), SFTP no solo ofrece las funcionalidades básicas de transferencia de archivos, sino que también integra características de seguridad avanzadas que protegen tanto los datos transferidos como las credenciales utilizadas para acceder al servidor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

A diferencia del FTP, que transmite datos y credenciales en texto plano, SFTP utiliza cifrado SSH para asegurar que toda la comunicación entre el cliente y el servidor esté protegida contra posibles interceptaciones y ataques de terceros. Este cifrado garantiza que los archivos y la información sensible, como nombres de usuario y contraseñas, no puedan ser leídos por personas no autorizadas durante su transferencia a través de la red. Además, SFTP proporciona autenticación mediante el uso de llaves públicas y privadas, lo que añade una capa adicional de seguridad en el acceso al servidor.

El funcionamiento de SFTP se basa en el uso de un solo canal para la transferencia de datos y el control de la sesión, en contraste con el FTP que utiliza canales separados para estos propósitos. Esto simplifica la gestión de las transferencias y facilita la implementación de SFTP en entornos con firewalls y NAT, donde las conexiones de red pueden encontrarse más limitadas. Al operar sobre SSH, SFTP no requiere la apertura de puertos adicionales en el firewall, lo que reduce la superficie de ataque y hace que sea más fácil de configurar y mantener en infraestructuras seguras.

SFTP también ofrece una serie de funcionalidades avanzadas que incluyen: la capacidad de resumir transferencias interrumpidas, administrar permisos de archivos de forma remota, y manipular directorios en el servidor, como crear, eliminar, y renombrar archivos y carpetas. Estas características hacen que SFTP sea especialmente útil en la administración de servidores y en la automatización de tareas relacionadas con la gestión de archivos en entornos empresariales.

En términos de compatibilidad, SFTP es ampliamente soportado por una variedad de clientes y servidores, lo que facilita su integración en diferentes sistemas operativos y plataformas. La mayoría de los servidores SSH modernos, incluyen soporte nativo para SFTP, lo que permite a los administradores de sistemas habilitar esta funcionalidad con facilidad. Del mismo modo, los clientes SFTP están disponibles en una amplia gama de aplicaciones, desde herramientas de línea de comandos hasta interfaces gráficas de usuario, lo que permite a los usuarios interactuar con servidores SFTP de manera cómoda y eficiente [75].

3.15 Visual Studio Code

Visual Studio Code es un editor de código fuente altamente versátil y personalizable, desarrollado por Microsoft. Lanzado en 2015, se ha convertido rápidamente en una de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

las herramientas preferidas por desarrolladores de todo el mundo debido a su equilibrio entre simplicidad, rendimiento y funcionalidad avanzada. VS Code está diseñado para ser ligero y rápido, lo que lo hace ideal para una amplia gama de tareas de desarrollo, desde la edición de código simple hasta la construcción de aplicaciones complejas.

Una de las características más destacadas de Visual Studio Code es su extensibilidad. El editor cuenta con un vasto ecosistema de extensiones que permiten a los desarrolladores agregar nuevas funcionalidades según sus necesidades específicas. Estas extensiones pueden ser fácilmente instaladas a través de un marketplace integrado, cubriendo un amplio espectro de lenguajes de programación, herramientas de desarrollo, y servicios en la nube. Por ejemplo, los desarrolladores pueden integrar linters, depuradores, administradores de tareas, y sistemas de control de versiones, todo dentro del mismo entorno de desarrollo. Esta flexibilidad convierte a VS Code en una plataforma unificada donde desarrolladores pueden llevar a cabo todo su flujo de trabajo sin necesidad de cambiar entre diferentes aplicaciones para cada proceso.

Otra de las ventajas clave de Visual Studio Code es su soporte para múltiples lenguajes de programación. Desde su instalación básica, VS Code incluye soporte para lenguajes populares como JavaScript, Python, C++, Java, y muchos otros. Además, con la ayuda de extensiones, es posible trabajar con lenguajes menos comunes. VS Code también es compatible con herramientas de control de versiones como Git, lo que permite a los desarrolladores gestionar su código y colaborar en proyectos con facilidad directamente desde el editor.

En términos de usabilidad, Visual Studio Code es conocido por su interfaz de usuario limpia e intuitiva, que facilita la navegación y la organización del código. Los paneles laterales personalizables permiten acceder rápidamente a archivos, proyectos y terminales integrados, mientras que la barra de estado proporciona información útil sobre el estado del desarrollo, como la rama actual de Git o las notificaciones de errores. Además, el editor admite la depuración en tiempo real, lo que permite a los desarrolladores identificar y solucionar problemas en su código de manera eficiente, todo dentro del mismo entorno.

El rendimiento es otro aspecto clave en el diseño de Visual Studio Code. A pesar de su amplia gama de características, el editor está optimizado para ser rápido y consumir pocos recursos, incluso en proyectos grandes y complejos. Esto se debe en parte a su arquitectura basada en Electron, que permite que el editor sea multiplataforma y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

funcione sin problemas en Windows, macOS y Linux. Además, VS Code se actualiza con frecuencia, lo que garantiza que los desarrolladores tengan acceso a las últimas mejoras y correcciones de errores, manteniendo el entorno de desarrollo ágil y actualizado con las tendencias tecnológicas [76].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental y aplicada, ya que busca capturar datos utilizando hardware especializado (RTL SDR y Raspberry Pi) para generar patrones de radiación. La investigación aplicada se justifica por la implementación práctica de tecnologías que permiten visualizar los resultados del fenómeno físico (patrón de radiación) en condiciones ambientales reales. Se realizarán experimentos y mediciones para validar las hipótesis planteadas sobre la propagación de las ondas electromagnéticas.

2. Métodos de investigación

Para el desarrollo de esta investigación, se emplearán los siguientes métodos:

- Método experimental:

  Se aplicará un enfoque experimental, donde se manipularán las variables tecnológicas (configuraciones del SDR, distintos tipos de antena, y ubicación geográfica) para observar cómo afectan al patrón de radiación capturado. Las mediciones serán realizadas bajo diferentes condiciones para comparar los resultados y evaluar las hipótesis planteadas.

- Método cuantitativo:

  La recolección y análisis de datos serán de naturaleza cuantitativa, ya que se tomarán muestras de señales electromagnéticas y coordenadas geográficas precisas que luego serán procesadas numéricamente. Los resultados serán visualizados en forma de gráficos y tablas que permitirán el análisis detallado del patrón de radiación.

- Método comparativo:

  Se utilizará este método para comparar los patrones de radiación generados con las muestras obtenidas en distintas ubicaciones. Además, los resultados se contrastarán con patrones teóricos y datos de referencia, incluyendo las directrices de la ITU-R P.525, para validar las conclusiones.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Este enfoque metodológico permitirá una comprensión profunda de cómo se comportan las señales electromagnéticas bajo diferentes escenarios experimentales, y ayudará a mapear con precisión los patrones de radiación.

3. Instrumentos y tecnología para recolección de datos

3.1 RTL 2832 Software-Defined Radio (SDR)

Es un dispositivo de hardware que permite capturar señales electromagnéticas dentro del rango de frecuencias que va desde 100 kHz hasta 1766 MHz. A diferencia de los receptores tradicionales, este equipo utiliza software para procesar las señales recibidas, lo que ofrece una gran flexibilidad para ajustarse a diferentes aplicaciones. Este SDR es capaz de captar una amplia gama de transmisiones, desde radioaficionados hasta señales satelitales, siendo ideal para experimentos relacionados con la propagación de ondas en distintos entornos [43].

3.2 Raspberry Pi 3 Model B

Actúa como la unidad central del sistema, encargada de ejecutar el software que controla el SDR y otros componentes periféricos como el GPS. Este dispositivo es ampliamente utilizado en proyectos de investigación debido a su versatilidad y bajo costo. En este caso, se encargará de gestionar la recolección, procesamiento y almacenamiento de datos de manera continua, facilitando la conexión con los sensores y antenas necesarios [44].

3.3 Módulo GPS + Compass (M8N)

Es fundamental para obtener coordenadas geográficas precisas en cada punto de medición. Este dispositivo proporciona datos de latitud, longitud y altitud, lo cual es clave para correlacionar las muestras de señales electromagnéticas con su ubicación geográfica exacta. La integración del GPS permite un análisis espacial detallado, esencial para representar los patrones de radiación en diferentes áreas [50].

3.4 Antenas específicas

Para capturar y evaluar señales, se utilizarán distintos tipos de antenas. Cada una de ellas está diseñada para operar en un rango de frecuencias específico, optimizando la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

recepción o emisión según el rango de frecuencia objetivo. La selección de antenas permitirá explorar cómo las características de cada tipo afectan la propagación de las ondas electromagnéticas y los patrones de radiación observados.

3.5 Python

Este lenguaje será el motor detrás del procesamiento de señales y el control de los dispositivos. Las librerías especializadas como RTL-SDR permitirán capturar y manipular señales electromagnéticas, mientras que herramientas adicionales, como matplotlib, se utilizarán para la visualización y análisis de datos. Python es reconocido por su facilidad para integrarse con hardware, lo que lo hace ideal para este proyecto [47].

3.6 Raspbian

Es una distribución de Linux, se empleará como el sistema operativo en el que se ejecutarán los scripts y controladores de los dispositivos. Raspbian proporciona una plataforma robusta y fiable para manejar las demandas técnicas del proyecto, asegurando una correcta comunicación entre el software y el hardware [46].

3.7 JavaScript

En combinación con React, JavaScript se utilizará para crear aplicaciones interactivas que permitan visualizar los datos obtenidos. JavaScript es clave para construir interfaces dinámicas y flexibles, facilitando la manipulación y el análisis visual de los patrones de radiación que se generarán a partir de las señales capturadas [53].

3.8 React

React será la herramienta que permitirá desarrollar la interfaz gráfica de usuario para este proyecto. Con React, se podrán diseñar aplicaciones web que muestren de manera intuitiva y visual los patrones de radiación, ofreciendo la posibilidad de interactuar con los datos y realizar análisis en tiempo real [56].

4. Procedimientos de recolección de datos

A continuación, se describe el proceso para la captura de datos de señales electromagnéticas:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Captura de señales: Utilizando el SDR para recibir ondas electromagnéticas en diferentes ubicaciones geográficas.
- Uso del GPS: Recolección de la ubicación exacta para cada muestra de señal, mediante software se dará las instrucciones al módulo GPS M8N para recibir información satelital, una vez conectado se obtendrá un conjunto de información global entregado por los satélites, solo, para los propósitos del trabajo actual solo se tomarán las variables de Latitud, Longitud y Altura, las cuales servirán para.
- Toma de muestras periódica: Planificación de las ubicaciones de medición y los intervalos de muestreo para obtener un patrón continuo.

5. Procesamiento de datos

Esta sección describe los procesos involucrados en la gestión, análisis y almacenamiento de los datos recolectados, garantizando la integridad y eficiencia del flujo de trabajo.

5.1 Transferencia de archivos

Después de la generación de los archivos CSV, que contienen tanto las muestras de señales electromagnéticas como los datos geográficos asociados, estos archivos pueden ser transferidos a una ubicación de almacenamiento central mediante el protocolo FTP (File Transfer Protocol). Esta transferencia se puede realizar automáticamente a través de scripts que supervisan la creación de nuevos archivos, y los suben al servidor FTP configurado. Para mejorar la seguridad en este proceso, podría considerarse el uso de SFTP (protocolo de transferencia de archivos mediante SSH), que garantiza una transferencia segura mediante la encriptación de los datos.

5.2 Procesamiento de señales

Una vez capturadas las señales a través del SDR, el software en Python será el encargado de procesarlas. Se emplearán librerías especializadas como pyrtlsdr, numpy para el manejo numérico de los datos y la conversión de las señales en valores numéricos legibles y manipulables. Adicionalmente, se podría incluir una etapa de filtrado de ruido y preprocesamiento de las señales para mejorar la calidad de los datos antes de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

analizarlos. Esto puede incluir técnicas de suavizado o eliminación de frecuencias no deseadas.

5.3 Análisis de patrones

El análisis de patrones incluirá la generación de gráficos polares utilizando matplotlib para representar la distribución y la intensidad de las señales capturadas en función de las coordenadas geográficas. Además de los gráficos polares, se podrían generar mapas de calor (heatmaps) utilizando herramientas externas para visualizar la intensidad de las señales sobre un mapa geográfico, facilitando la comprensión de cómo se distribuyen las señales a lo largo de diferentes áreas. El análisis de estos patrones se basará en las directrices de la ITU-R P.525, que proporciona un marco para la estimación precisa de la atenuación de la señal y la propagación en espacios abiertos.

5.4 Validación de datos y depuración

Antes del análisis, los datos serán sometidos a un proceso de validación y depuración. Esto incluye la eliminación de datos atípicos o inconsistentes que puedan haber sido generados por errores de hardware o interferencias electromagnéticas no relacionadas con el experimento. Para asegurar la fiabilidad de los resultados, se realizarán comparaciones cruzadas entre las muestras recolectadas y los patrones teóricos establecidos, descartando datos irrelevantes o corruptos.

5.5 Almacenamiento de datos

Los datos recolectados se organizarán en archivos CSV, que incluirán las señales medidas y sus correspondientes coordenadas geográficas. Cada archivo estará estructurado de manera que facilite su interpretación y análisis posterior, con columnas dedicadas a la intensidad de la señal, la frecuencia, la latitud, longitud, altitud y cualquier otra variable relevante. Además, se podrían implementar técnicas de respaldo automatizado para garantizar que los datos estén seguros y no se pierdan mientras se realiza la toma de muestras.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

5.6 Automatización y escalabilidad

El procesamiento de datos será automatizado mediante scripts en Python que se ejecutan periódicamente o en respuesta a la llegada de nuevos datos. Esto no solo garantiza la eficiencia en el manejo de grandes volúmenes de datos, sino que también permite la escalabilidad del sistema en futuras extensiones del proyecto.

6. Técnicas de análisis de datos

Se explica cómo se analizarán los datos obtenidos:

6.1 Interpolación de datos

Dado que las muestras recolectadas estarán limitadas a ubicaciones geográficas discretas, se empleará un método de interpolación para generar patrones continuos. La técnica de interpolación polinómica será aplicada en función de las coordenadas geográficas y la intensidad de las señales capturadas, lo cual permitirá construir un modelo suave del patrón de radiación en áreas donde no se tomaron muestras directamente. Esta técnica reduce el ruido de las mediciones y proporciona una visualización más clara de la propagación de las ondas electromagnéticas [71].

6.2 Transformación de Fourier (FFT)

Para analizar la composición de frecuencias dentro de las señales capturadas, se aplicará la Transformada Rápida de Fourier (FFT), permitiendo descomponer las señales en sus componentes fundamentales. La FFT es crucial para descomponer una señal en sus frecuencias componentes y analizar su espectro. Esto es muy útil cuando se trabaja con datos obtenidos de SDR, ya que te permite identificar las diferentes frecuencias presentes en la señal, detectar interferencias, y evaluar su intensidad. En este contexto, la librería pyrtlsdr captura las señales, y librerías complementarias como numpy podrán realizar la FFT sobre esos datos para obtener el espectro de frecuencias. Aquí hay algunos puntos clave [70]:

- Análisis de frecuencia: La FFT descompone las señales en diferentes frecuencias, lo que permite identificar las componentes que conforman la señal recibida.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Detección de interferencias: Al descomponer la señal, la FFT facilita la identificación de señales espurias o interferencias no deseadas que podrían afectar la precisión del análisis de patrones de radiación.
- Transformada Rápida de Fourier: es una versión optimizada de la transformada de Fourier que permite este análisis de forma eficiente, algo crítico cuando se manejan grandes cantidades de datos de señales en tiempos reducidos.

6.3 Filtrado de señales

Se aplicarán filtros digitales como el filtro pasa-bajos, diseñado para eliminar el ruido de alta frecuencia que no corresponde a las señales de interés. Este filtrado optimizará la claridad de los patrones de radiación, garantizando que los datos obtenidos reflejen de manera fiel las características inherentes del entorno y las antenas utilizadas en cada experimento.

6.4 Modelado del patrón de radiación

Siguiendo las directrices de la ITU-R P.525, se emplearán modelos matemáticos que describen la propagación de las ondas electromagnéticas. En este contexto, se aplicará el modelo de propagación de campo lejano, que supone que las mediciones se toman a distancias suficientes de la antena para que las ondas electromagnéticas sean esencialmente planas. Este modelo permitirá realizar una aproximación precisa del patrón de radiación, tomando en cuenta factores como la ganancia direccional de la antena y las características del entorno [77].

6.5 Análisis gráfico y representación polar

Los datos obtenidos se representarán mediante gráficos polares, que ofrecen una visualización del patrón de radiación en función del ángulo de observación. Este tipo de representación será esencial para identificar la dirección de máxima ganancia y las áreas de mínima radiación. Los gráficos se generarán utilizando las librerías de Python como matplotlib, asegurando una visualización clara y detallada de los resultados. Además, se empleará una técnica de normalización para estandarizar los valores de potencia y facilitar la comparación entre las distintas pruebas experimentales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

7. Validación de los datos

La validación de los datos obtenidos durante los experimentos será un proceso destinado a garantizar la exactitud y fiabilidad de los resultados. Para ello, se implementarán las siguientes estrategias:

- Comparación con datos de referencia: Una de las principales formas de validación consistirá en contrastar las mediciones obtenidas con patrones de radiación conocidos, ya sea a partir de modelos teóricos o datos experimentales previos de estudios similares. Se analizará la concordancia entre los patrones esperados y los resultados obtenidos experimentalmente, teniendo en cuenta las características del entorno y las antenas utilizadas.
- Repetición de experimentos: Con el fin de verificar la consistencia de los datos, se llevarán a cabo múltiples repeticiones de los experimentos en diferentes instantes. Esta repetición permitirá descartar la influencia de factores externos impredecibles, como interferencias momentáneas o cambios en las condiciones atmosféricas, que puedan afectar la propagación de las señales. Asimismo, al repetir los experimentos, se podrán observar tendencias consistentes en las mediciones que corroboren la estabilidad de los patrones de radiación registrados.
- Control de variables: Durante el proceso experimental, se ejercerá un control estricto sobre las variables que puedan influir en las mediciones, tales como la orientación de la antena, la ubicación exacta de los puntos de muestreo y las configuraciones del software de procesamiento. Esto garantizará que cualquier variación observada en los resultados se deba a cambios reales en el entorno electromagnético, y no a factores externos o manipulaciones inadvertidas.
- Evaluación de incertidumbres: La validación también incluirá una evaluación cuantitativa de las incertidumbres asociadas a las mediciones, como la precisión del módulo GPS, la sensibilidad del RTL-SDR y la exactitud de las configuraciones de frecuencia. Estos factores se incorporarán en los cálculos para determinar márgenes de error finales y proporcionar una evaluación del grado de precisión alcanzado en los resultados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Estas estrategias de validación garantizarán que los datos obtenidos sean fiables y representativos de los fenómenos electromagnéticos estudiados, aportando una sólida base para los resultados finales que se deriven del análisis.

8. Limitaciones del estudio

Si bien la metodología propuesta proporciona un enfoque detallado y sistemático para la recolección y análisis de datos, es importante reconocer ciertas limitaciones inherentes al estudio, las cuales podrían afectar el alcance o la precisión de los resultados. A continuación, se detallan las principales limitaciones:

- Limitaciones de hardware: Aunque el RTL-SDR y el módulo GPS M8N son herramientas versátiles y accesibles para la recolección de datos, presentan restricciones en términos de precisión. El SDR tiene una resolución limitada que puede no capturar con suficiente detalle las señales de baja intensidad, lo cual podría llevar a una subestimación de ciertos patrones de radiación. De manera similar, la precisión del módulo GPS puede verse afectada por condiciones atmosféricas adversas o interferencias en la señal satelital, lo que introduce pequeñas imprecisiones en la localización de los puntos de muestreo.
- Condiciones ambientales: Las mediciones realizadas en exteriores están sujetas a una variedad de factores ambientales que pueden alterar la propagación de las ondas electromagnéticas. Por ejemplo, la presencia de edificaciones, árboles, o terrenos accidentados podría reflejar, refractar o bloquear parcialmente las señales, distorsionando los patrones de radiación observados. Además, las condiciones meteorológicas, como la humedad, la temperatura y las precipitaciones, también pueden influir en la propagación de las ondas, generando variaciones en los datos capturados en diferentes momentos del día o en distintas estaciones del año.
- Cobertura geográfica: Dado que las muestras se tomarán en un número limitado de ubicaciones geográficas, los patrones de radiación obtenidos podrían no representar de manera completa la dispersión electromagnética en áreas más amplias. Aunque se seleccionarán cuidadosamente los puntos de medición para cubrir un rango diverso de condiciones geográficas, la naturaleza discreta de los puntos de muestreo implica que no será posible capturar de manera exhaustiva

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

todas las variaciones del entorno electromagnético. Esto podría introducir sesgos en la interpretación de los patrones de radiación en regiones no muestreadas.

- Dependencia del software: La metodología emplea varias herramientas de software para procesar y analizar los datos recolectados. Aunque estas herramientas son fiables y ampliamente utilizadas, la precisión del análisis depende en gran medida de la configuración adecuada del software y de la correcta implementación de los algoritmos de procesamiento. Cualquier error o malinterpretación en la etapa de procesamiento podría generar resultados incorrectos o sesgados. Por tanto, es vital la verificación rigurosa en cada fase del análisis para mitigar posibles errores.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

1. Arquitectura del sistema

1.1 Descripción general

La arquitectura del sistema está diseñada para combinar hardware especializado, como el Software-Defined Radio (SDR), el módulo GPS, antenas, y una unidad central de procesamiento (Raspberry Pi), con una serie de módulos de software programados en Python para la recolección y análisis de datos. El sistema tiene como objetivo principal capturar señales electromagnéticas en diferentes ubicaciones geográficas, procesarlas y generar patrones de radiación que describan cómo se propagan las señales en el entorno, así como tener la posibilidad de evaluar el comportamiento a distancias mayores mediante algoritmos de estimación.

Cada componente hardware está controlado y gestionado por un conjunto de scripts que permiten automatizar el proceso de captura de datos y su sincronización con coordenadas GPS precisas, así como el almacenamiento de la información obtenida. Esta infraestructura no solo facilita la obtención de datos brutos, sino que también permite su análisis y visualización, brindando una solución integral para el estudio de la propagación de señales electromagnéticas en entornos urbanos.

El diseño modular del sistema garantiza flexibilidad y escalabilidad, permitiendo futuras expansiones tanto en términos de hardware como de software, sin necesidad de alterar la estructura central. Los datos recolectados pueden almacenarse para su posterior análisis, lo que es esencial para estudios comparativos a mediano y largo plazo.

1.2 Diagrama de flujo

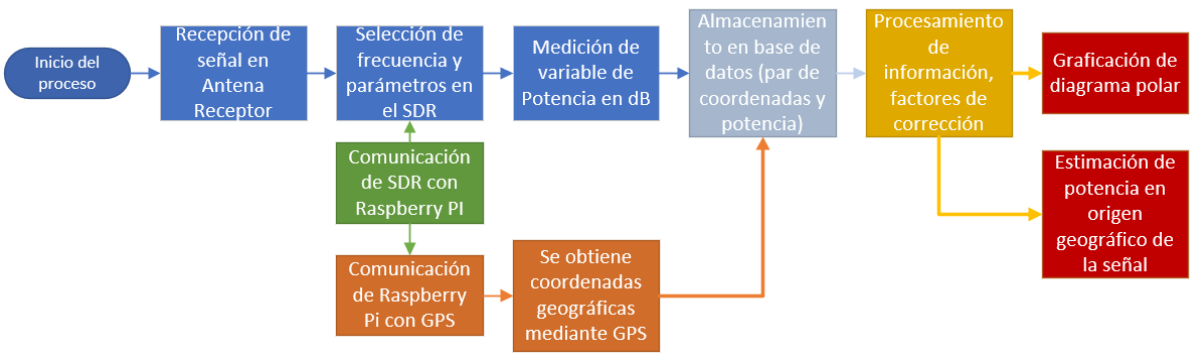


Figura 31: Diagrama de flujo. Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1. **Antena como receptor:** La antena es el primer componente que interactúa con la señal electromagnética. Se seleccionará un modelo específico según el rango de frecuencia objetivo a medir. Diferentes tipos de antenas se utilizan para capturar señales en distintos rangos de frecuencia, optimizando así la precisión de la captura de señales.
2. **Procesamiento inicial de la señal:** Una vez que la antena recibe la señal, el SDR (RTL2832) es responsable de procesarla. El SDR trabaja en un amplio rango de frecuencias (100KHz - 1766MHz), permitiendo sintonizar y filtrar la señal deseada mediante programación previa.
3. **Control y procesamiento de datos:** El Raspberry Pi 3 Model B es el cerebro del sistema. Envía órdenes de control al SDR para definir las configuraciones de frecuencia, además de recibir datos en tiempo real del módulo GPS. También se encarga de coordinar la toma de muestras de la señal, procesar los datos capturados y enviarlos para su almacenamiento o análisis.
4. **Adquisición de coordenadas:** El módulo GPS M8N proporciona las coordenadas geográficas en tiempo real, que son cruciales para asociar cada muestra de señal con una ubicación precisa. El GPS se comunica con el Raspberry Pi, permitiendo al sistema obtener la latitud, longitud y altura del punto de medición.
5. **Captura de datos:** Una vez que el sistema está en la ubicación deseada, el Raspberry Pi ejecuta la toma de muestras de señal electromagnética. Durante esta fase, se miden parámetros como los niveles de potencia de la señal, a su vez se vincula con la ubicación geográfica instantánea para cada muestra.
6. **Almacenamiento inicial:** Los datos recopilados, incluidas las muestras de señal y las coordenadas geográficas, se almacenan en una memoria adjunta al Raspberry Pi. Esta base de datos inicial permite la posterior extracción y análisis de la información.
7. **Análisis y predicción:** Con los datos capturados y almacenados, el sistema genera un patrón de radiación real, mostrando cómo las señales se comportan en el espacio. A partir de este patrón, se puede predecir el comportamiento de la señal, como los niveles de potencia a distancias mayores y su cobertura geográfica.
8. **Visualización y análisis gráfico:** Finalmente, los datos procesados se grafican y visualizan, permitiendo un análisis detallado del comportamiento de las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

señales en el entorno estudiado. Esto incluye la evaluación del patrón de radiación, las áreas de cobertura y la posible interferencia.

1.3 Diagrama de Conectividad

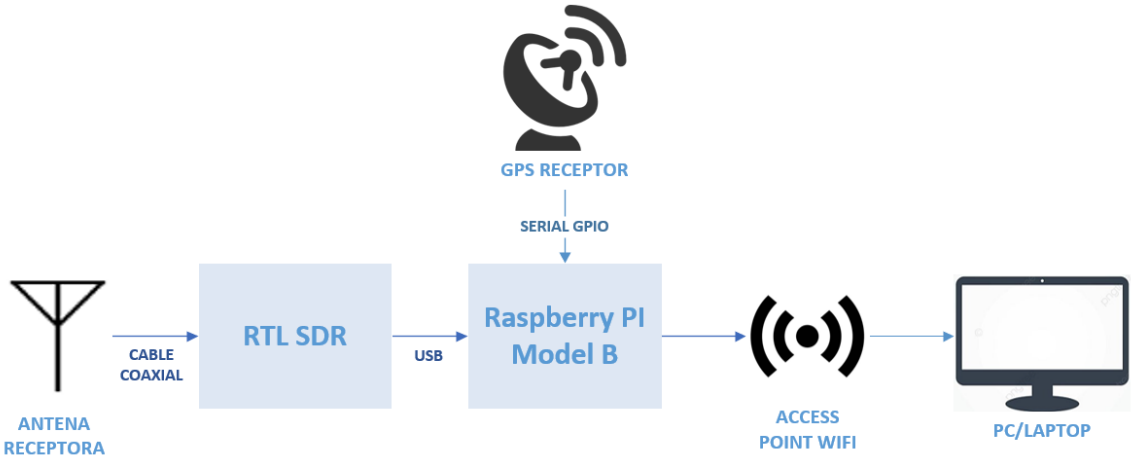


Figura 32: Diagrama de conectividad prototipo. Fuente: Elaboración Propia

La antena receptora, ubicada a la izquierda del esquema, desempeña un papel fundamental como el primer punto de interacción con el entorno electromagnético. Esta antena es responsable de captar las ondas electromagnéticas presentes en el ambiente, que pueden incluir desde señales de radiofrecuencia hasta otros tipos de radiación dentro del espectro electromagnético. La señal capturada es transmitida a través de un cable coaxial, el cual asegura una transferencia eficiente y con mínima pérdida de la señal hacia el dispositivo RTL SDR (Software Defined Radio), el cual convierte la señal analógica recibida en datos digitales, haciéndolos accesibles para su posterior procesamiento y análisis.

El RTL SDR está conectado directamente al Raspberry Pi Model B mediante un puerto USB, lo que permite una transmisión rápida y confiable de los datos digitales. El Raspberry Pi cumple la función de unidad central de procesamiento, controlando el flujo de información y ejecutando scripts diseñados para interpretar y gestionar los datos capturados. Además, se comunica con el GPS M8N receptor mediante una conexión serial GPIO, permitiendo que el sistema registre las coordenadas geográficas exactas en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

tiempo real. Esto añade un nivel de precisión crucial para el análisis posterior, ya que cada conjunto de datos estará vinculado a una localización específica.

Finalmente, una vez procesados los datos en el Raspberry Pi, se almacena la información en archivos CSV y la transmisión de información es realizada mediante

un Access Point WiFi hacia un PC o laptop. Este enlace inalámbrico permite que el sistema sea controlado de manera remota, facilitando el monitoreo y análisis de los datos desde una estación de trabajo sin necesidad de una conexión física directa con el Raspberry Pi. La transferencia permite a los usuarios visualizar los resultados en tiempo real o analizarlos posteriormente, haciendo posible la supervisión constante de las señales electromagnéticas y los patrones asociados desde cualquier ubicación dentro del rango de la red WiFi.

1.4 Diagrama electrónico

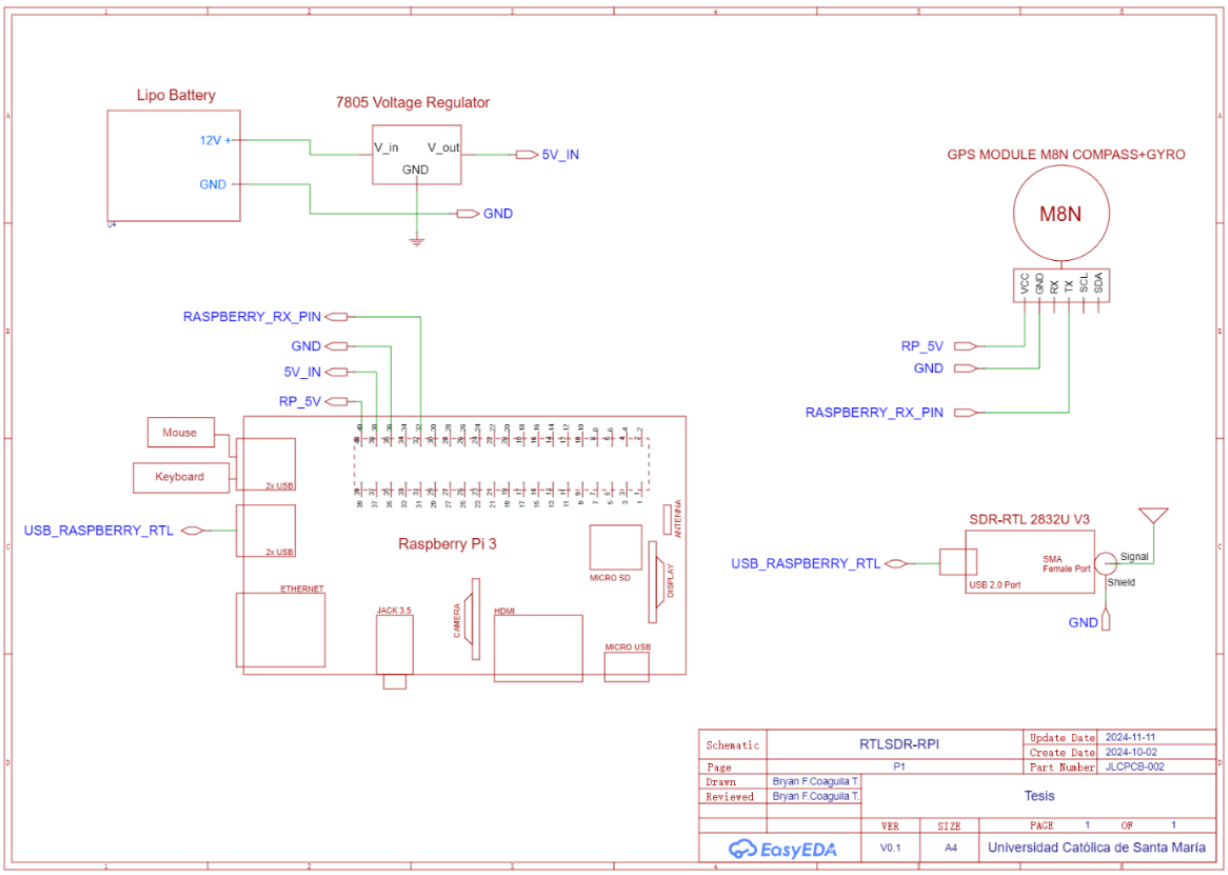


Figura 33: Diagrama electrónico del Proyecto, Elaboración Propia. Anexo 1. Diagrama electrónico

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

A continuación, se describen los componentes y sus relaciones:

1. Batería LiPo (12V):

La batería de 12V está conectada a un regulador de voltaje 7805. Este regulador convierte los 12V de la batería a una salida de 5V (5V_IN) que luego se utilizará para alimentar otros componentes en el circuito.

2. Regulador de Voltaje

i. Entrada (V_in): Recibe los 12V de la batería LiPo.
ii. Salida (V_out): Proporciona 5V, etiquetado como 5V_IN, que se distribuye en el circuito.
iii. GND: La conexión a tierra será compartida con la batería y el resto de los componentes.

3. Raspberry Pi 3

Alimentación:

- La Raspberry Pi se alimenta con el pin 5V_IN (Pin 38) conectado al regulador 7805, y el pin GND está conectado a tierra común.

Periféricos:

- Los puertos USB de la Raspberry Pi están conectados a un mouse y un teclado, los cuales se utilizarían en la etapa del desarrollo.

Conexiones con GPS:

- El pin RASPERRY_RX_PIN se conecta al módulo GPS para recibir datos.
- El pin RP_5V y GND alimentan el módulo GPS.

RTL-SDR 2832:

- El puerto USB (marcado como USB_RASPBERRY_RTL) estará conectado al dispositivo SDR-RTL 2832U V3, el cual además de comunicarse para el manejo de recepción de señales, proveerá de energía para su funcionamiento.

4. Módulo GPS M8N con Brújula y Giroscopio

Alimentación: El módulo GPS recibe 5V desde el pin RP_5V de la Raspberry Pi y está conectado a tierra (GND).

Comunicación: El pin TX del GPS está conectado al RASPERRY_RX_PIN de la Raspberry Pi para transmitir datos de ubicación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5. SDR-RTL 2832U V3 (Software Defined Radio)

Este módulo está conectado al puerto USB de la Raspberry Pi (USB_RASPBERRY_RTL) para enviar los datos capturados.

Tiene una entrada SMA para conectar la antena, la cual recibe la señal y está conectada a tierra (GND) internamente a través del blindaje.

2. Selección de bandas de frecuencia a trabajar

El RTL-SDR 2832 cubre un amplio rango de frecuencias (de 24 MHz a 1.7 GHz), y para realizar pruebas en el espectro radioeléctrico se seleccionarán primeramente bandas libres de licencia o para uso experimental y a su vez serán aquellas en las que el uso de la antena emisora sea pasivo, es decir no requieren cambios activos dinámicos en el patrón de radiación, y son adecuadas para la recepción de señales sin que sea necesario modificar la potencia radiada, por ejemplo [77]:

- Bandas de radioaficionados reconocidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU)
- Bandas ISM (Industrial, Científica y Médica), de uso general para dispositivos sin licencia en aplicaciones experimentales, IoT y telemetría.

Además, antes de iniciar las pruebas se realizará un monitoreo inicial del espectro, para buscar rangos de frecuencia libres de actividad para evitar interferencias o distorsiones al momento de la toma de muestras. Las bandas de frecuencia para realizar las pruebas serán:

- Banda de 11 metros (27.0 - 27.3 MHz): En la Banda Ciudadana (CB), ampliamente utilizada para comunicaciones sin licencia, los canales de AM o SSB tienen un ancho típico de 8-10 kHz, de acuerdo con las normas FCC (Parte 95) y ETSI EN 300 433.
- Banda de 6 metros (50 - 54 MHz): En la banda de radioaficionados de 6 metros, los modos FM y SSB utilizan canales de 12-16 kHz, según las recomendaciones del ARRL Handbook y la ITU-R SM.328-12.
- Banda de 2 metros (144 - 148 MHz): La banda VHF de radioaficionados incluye servicios de repetidores y comunicaciones locales. Canales de voz FM usan entre 12.5 y 25 kHz, mientras que en SSB (datos o telegrafía) se reduce a 10 kHz,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

como detallan el ARRL Handbook y las recomendaciones de la ITU-R SM.328-12.

- Banda de 70 cm (420 - 450 MHz): En comunicaciones UHF para radioaficionados, incluyendo repetidores y modos digitales como DMR o C4FM, los anchos típicos son: 10-12.5 kHz para datos digitales o voz comprimida y 25 kHz para comunicación de voz FM clásica, según las especificaciones de FCC y ETSI EN 300 086 (DMR/PMR).
- Banda ISM (868 - 870 MHz): Esta banda libre es común para dispositivos IoT y telemetría. Modos como LoRa y Sigfox usan canales de 125-200 kHz, según ETSI EN 300 220 (ISM en Europa).
- Banda ISM (902 - 928 MHz): En esta banda ISM, se utilizan modos como Zigbee, LoRaWAN y Bluetooth Low Energy, que emplean anchos de 200-500 kHz, siguiendo las especificaciones de la FCC Parte 15 (banda ISM) y IEEE 802.15.4 (Zigbee).
- Banda L (1240 - 1300 MHz): Esta banda experimental para satélites de baja órbita (LEO) y radioastronomía tiene variaciones según la aplicación: 50-100 kHz para radioaficionados satelitales y 300-500 kHz para sistemas de telemetría experimental. Esto sigue las especificaciones del ARRL Handbook y el IARU Band Plan (satélites).

A continuación, se encuentra la información resumida en una tabla:

Rango de Frecuencia (MHz)	Bandas Principales	Ancho de Banda Típico	Aplicaciones
27 – 27.3 MHz	Banda de 11 metros	10 kHz	Comunicaciones de corto alcance, Banda ciudadana, sin licencia (depende del país)
50 – 54 MHz	Banda de 6 metros	6 – 20 kHz	Comunicaciones de radioaficionados, experimentación y exploración del espectro VHF.
144 – 148 MHz	Banda de 2 metros	12.5 – 25 kHz	Comunicaciones locales, repetidores y emergencia VHF
420 – 450 MHz	Banda de 70 centímetros	12.5 – 25 kHz	Comunicaciones de radioaficionados UHF. Repetidores locales, y pruebas de propagación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

868 – 870 MHz	Banda ISM (Industrial, Científica y Médica)	125 – 500 kHz	Sistemas de telemetría, redes IOT (Lora, Sigfox)
902 – 928 MHz	Banda ISM (Industrial, Científica y Médica)	125 – 500 kHz	Comunicación de corto alcance, redes de sensores, y experimentación en espectro libre (EE. UU. Y otros países)
1240 – 1300 MHz	Banda L (Comunicaciones satelitales experimentales)	25 – 100 kHz	Comunicaciones de satélites de baja órbita(experimentación), radioastronomía y pruebas.

Tabla 8: Bandas elegidas para realizar pruebas con RTL2832, Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. Diagrama de Flujo

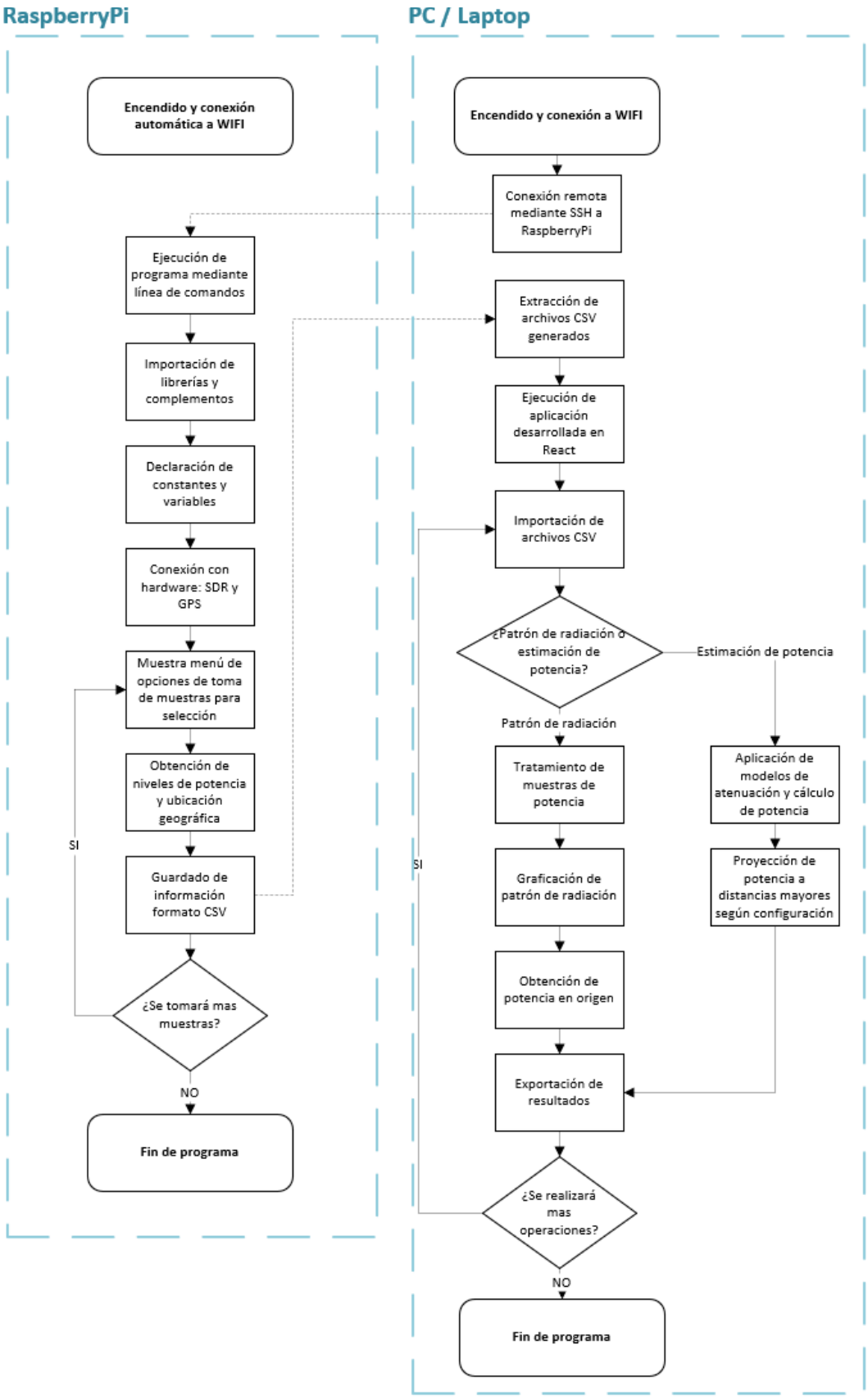


Figura 34: Flujo de datos en software propuesto, Elaboración Propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4. Cálculo de autonomía, requerimiento energético y dimensionamiento de batería

Para realizar el cálculo de la batería requerida para el sistema en desarrollo, se deberá de considerar el consumo individual de cada dispositivo en modo de operación:

- Raspberry Pi 3 Model B: El consumo de corriente según su modo de operación fue medido por el equipo de desarrollo del proyecto "Raspberry Pi Dramble" [80], el cual consiste en un cluster de Raspberrys que funcionan en conjunto como infraestructura de servidores web, a continuación, los resultados:

Pi State	Power consumption
Idle	260 mA (1.4 W)
Ab -n 100 -c 10 (uncached)	480 mA (2.4 W)
400% CPU load (stress --cpu 4)	730 mA (3.7 W)

Tabla 9. Consumo de corriente de Raspberry Pi 3 Model B según su estado de trabajo. [80]

Basados en la información de la Tabla 9. Se requerirán, en una etapa de carga de trabajo de CPU, hasta 730 mA y voltaje de 5V para alimentar correctamente el Raspberry.

- RTL - SDR 2832U: Según la ficha técnica del fabricante, la corriente típica de operación es 280 mA con voltaje de operación de 5V [81].
- GPS M8N: El consumo de corriente de operación es de 25mA a un voltaje de operación de 5V [50].
- Periféricos USB: Se considerará la conexión de teclado y mouse para interactuar con el sistema Raspbian en algunos casos, el consumo aprox sería de 100 mA

Suma total de corrientes:

El consumo total del sistema está dado por:

Consumo RPI 3:	730 mA
RTL-SDR:	280 mA
GPS M8N:	25mA
Periféricos USB:	100mA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$\boldsymbol{Consumo\ total = 730\ mA + 280mA + 25mA\ + 100\ mA}$$

$$\boldsymbol{Consumo\ total = 1135\ mA}$$

Margen de seguridad:

Para este caso, se hará el uso de un margen de seguridad en la elección de baterías, el cual tiene una justificación técnica basada en normas internacionales como la IEEE 485 [82] y la IEC 61427 [83], que recomiendan el uso de márgenes adicionales para garantizar la confiabilidad del sistema en condiciones variables. Este margen, generalmente entre el 10% y el 30%, asegura que la batería pueda manejar picos de consumo inesperados, variaciones en la eficiencia energética de los componentes, y la degradación progresiva de la capacidad de la batería, asegurando que el sistema permanezca operativo durante su vida útil bajo condiciones normales y adversas.

$$\boldsymbol{Consumo\ final\ con\ margen\ de\ seguridad = 1135 * \frac{120\ \%}{100\ \%}\ mA}$$

$$\boldsymbol{Consumo\ final\ con\ margen\ de\ seguridad = 1.362\ A}$$

Requerimientos de batería:

Dado que el sistema en desarrollo, es de naturaleza portátil, requerirá de múltiples tomas de muestras en distintos espacios geográficos, se considerará un tiempo de uso de por lo menos 4 horas con la batería a escoger.

Para el consumo calculado de 1.362 A con un voltaje de 5V, se tendría una potencia de:

$$\boldsymbol{Potencia = Voltaje\ x\ Intensidad\ de\ Corriente}$$

$$\boldsymbol{Potencia = 1.362\ A * 5V = 6.81W}$$

Considerando 4 horas de tiempo de uso:

$$\boldsymbol{Capacidad\ energética = 6.81W * 4\ h\ = 27.24\ Wh}$$

Por ser un proyecto portátil, se prefirió usar una batería de Lipo en lugar de una convencional de Litio por las siguientes ventajas:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Relación densidad energética vs peso: El almacenamiento de energía por unidad de peso respecto a baterías de litio es superior, permitiendo en menor espacio físico obtener una mayor duración de suministro.
- Descarga de corriente elevada: Permiten una mayor estabilidad y cambios bruscos en el consumo de corriente durante la operación del proyecto.
- Estabilidad de voltaje: Sin importar picos de consumo o alta demanda, las baterías de Lipo suministrarán voltaje estable durante el ciclo de descarga.
- Riesgo de fuga reducido: Su composición en forma de las hace menos propensas a fugas en comparación con las baterías de litio tradicionales, que utilizan un electrolito líquido. Esto proporciona un nivel extra de seguridad en proyectos donde los dispositivos podrían estar sujetos a vibraciones o movimientos.

En cuanto a la elección de un modelo en concreto de batería se tiene en cuenta la disponibilidad de diferentes modelos en el mercado actual y la posibilidad de importación. Las baterías de 3 celdas con voltaje de trabajo nominal de 11.1V se encuentran en mucha mayor medida en el mercado nacional que las de 2 celdas, a su vez la capacidad energética es mayor. Los valores típicos de capacidad para baterías LiPo de 3 celdas son:

- 1000 mAh
- 1500 mAh
- 2200 mAh
- 3300 mAh
- 5000 mAh

Para calcular la potencia según los valores comunes de capacidad y voltaje de 11.1V:

- 1000m Ah * 11.1 V = 11.1 Wh
- 1500m Ah * 11.1 V = 16.65 Wh
- 2200m Ah * 11.1 V = 24.42 Wh
- 3300m Ah * 11.1 V = 36.63 Wh
- 5000m Ah * 11.1 V = 55.5 Wh

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Según el requerimiento mínimo para funcionamiento del prototipo a desarrollar se requerirán como mínimo 27.24Wh, concorde a los cálculos realizados, se deberá elegir una batería de 3 celdas, 11 V y 3300 mAh que podrá suministrar 36.63 Wh, superando los requisitos energéticos satisfactoriamente.

Como resultado de la búsqueda de opciones de baterías LiPo ofrecidas por el mercado, se determinó que la batería que cumple con todos los requisitos y supera el margen de seguridad es la siguiente:

- Batería Dupu Nanotech 45C3300 [84]:
  - Voltaje: 11.1V
  - Capacidad: 3300 mAh
  - Ratio de descarga: 45C
  - Dimensión: 135*43*21 mm
  - Celdas: 3

5. Diseño de Software

En este capítulo se desarrollarán los algoritmos necesarios para controlar cada dispositivo del prototipo, como se realizará la comunicación entre los componentes de hardware para coordinar el procesamiento de datos. También se presentarán como se abordarán los algoritmos de captura, procesamiento de señales, interacción con el GPS, almacenamiento de datos y procesamiento posterior y graficación de resultados.

5.1 Arquitectura de software

La arquitectura de software de este proyecto se basa en un enfoque modular y distribuido, que permite la captura, almacenamiento, transferencia y visualización de datos de forma eficiente. El sistema se divide en componentes que trabajan en conjunto para recolectar muestras de potencia de señal y datos de ubicación. Estos datos se almacenan en archivos CSV y posteriormente se transfieren a una computadora para su análisis y visualización a través de una interfaz desarrollada en ReactJs. Esta arquitectura propuesta se compone de 3 módulos principales:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.1.1 Módulo de Adquisición de Datos (Raspberry Pi)

Este módulo se encarga de capturar la potencia de señal y las coordenadas geográficas en intervalos regulares programables. Utiliza el dongle RTLSDR2832 para la recepción de señales electromagnéticas y un módulo GPS M8N para obtener la posición instantánea. Se ejecuta en una Raspberry Pi, la cual recolecta y guarda estas muestras en archivos CSV para su posterior procesamiento, que contienen columnas para la potencia de señal, latitud, longitud, altura y marca de tiempo de cada muestra.

Subsistemas de adquisición de datos:

- Subsistema de Recepción de Señales: Captura señales de radiofrecuencia y medir la potencia. El software de control se desarrolla usando la librería rtlsdr, que permite configurar el receptor SDR desde Python. Con esta librería se pueden establecer parámetros de recepción como frecuencia, ganancia, y tasa de muestreo. La función principal de este subsistema es recibir las señales y obtener su potencia en tiempo real. Este valor de potencia se mide en dB y se almacena como un dato para su análisis posterior.
- Subsistema de Geolocalización (GPS): Utiliza el módulo GPS M8N, el cual obtiene la ubicación actual del sistema en términos de latitud, longitud, y altura. Se utilizará la librería pynmea2 permite interpretar las cadenas NMEA recibidas del GPS, extrayendo datos precisos de ubicación y altura. Este proceso de parsing convierte las cadenas en datos legibles y estructurados. La frecuencia de adquisición puede ser configurada para capturar la posición en intervalos regulares (por ejemplo, cada segundo).
- Procesamiento y Almacenamiento de Datos: Cada muestra de potencia capturada por el SDR se asocia con una posición geográfica obtenida simultáneamente del GPS. Esto crea un registro de datos geolocalizados de potencia de señal. Los datos se guardan en un archivo CSV utilizando csv.DictWriter. Cada registro incluye:
    - Latitud
    - Longitud
    - Altura
    - Potencia de señal en dB

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.1.2 Módulo de Almacenamiento y Transferencia

Este módulo actúa como el puente entre la adquisición de datos y el análisis, garantizando la correcta gestión y transferencia de la información capturada en la Raspberry Pi hacia la PC para su posterior procesamiento.

Almacenamiento Local en Raspberry Pi:

- Los archivos CSV generados en el módulo de adquisición se almacenan en un directorio específico en la Raspberry Pi.
- Cada archivo CSV puede nombrarse de acuerdo con la fecha y hora para identificar fácilmente los diferentes conjuntos de datos y gestionar las sesiones de captura de manera organizada.

Transferencia de Datos:

- Transferencia Manual: Esta opción permite a los archivos CSV manualmente a través de dispositivos de almacenamiento como USB o mediante una conexión directa a la PC.
- Transferencia por Red: Para una transferencia remota, puede configurarse una conexión SSH o FTP entre la Raspberry Pi y la PC. Esto permite que los archivos CSV estén disponibles en una red local y puedan extraerse con facilidad.

5.1.3 Módulo de Visualización y Análisis (PC con React)

Este módulo es responsable de analizar y visualizar los datos recolectados en la Raspberry Pi. Utiliza una aplicación web en React que permite una interpretación intuitiva y gráfica de los patrones de radiación de señal.

Carga de Datos:

- La aplicación ReactJs a desarrollar permitirá la carga los archivos CSV transferidos desde la Raspberry Pi. Los datos se importan y procesan para extraer la potencia de señal y la ubicación geográfica (latitud, longitud, altura).
- Parsing de CSV: Para manejar los datos CSV en React, se podrá utilizar una librería de parsing como papaparse o csvtojson en JavaScript. Esto convierte el archivo en un formato JSON que es más fácil de manipular dentro de la aplicación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Visualización de Patrones de Radiación:

- Diagrama de Patrón de Radiación: Con react-plotly.js, se puede generar un gráfico polar que represente la distribución angular de la potencia de señal en función de la posición geográfica. Este gráfico polar permite visualizar el patrón de radiación, ayudando a identificar áreas de mayor o menor cobertura de señal.
- Gráficos de Mapa: Usando librerías de mapas como react-leaflet o Google Maps API, se puede crear un mapa interactivo que muestra la ubicación de cada muestra de señal. Cada muestra de señal puede encontrarse representada en el mapa.

Interactividad y Herramientas de Análisis:

- Análisis de Atenuación de Señal: Basándose en los datos obtenidos, se puede implementar un modelo de atenuación de señal en función de la distancia. Utilizando ecuaciones de propagación como la ley de Friis o modelos de pérdidas logarítmicas, se calcula cómo decae la potencia de la señal a medida que aumenta la distancia desde el emisor.
- Algoritmo de Proyección: Una función en la aplicación estima la potencia de la señal a distancias mayores que las medidas en las muestras originales. Para ello, se aplicará una regresión lineal (o técnica de ajuste de curva) a los datos originales obtenidos de potencia vs. distancia para generar una ecuación predictiva. Esta ecuación permite calcular la potencia esperada a distancias superiores.
- Visualización de la Proyección: La proyección de potencia se muestra en el gráfico de react-plotly.js como una línea o una extensión del gráfico actual. Esto permite ver cómo se espera que disminuya la señal en función de la distancia, ayudando a predecir la cobertura y el alcance de la señal en áreas no medidas.
- Parámetros Ajustables para Precisión: La interfaz puede ofrecer opciones para ajustar los parámetros de predicción, como el tipo de modelo de atenuación o el factor de pérdida. Esto permite afinar la proyección en función del entorno específico y mejorar la precisión de la estimación.
- Exportación de Resultados: Con react-plotly.js, los gráficos generados pueden exportarse directamente desde la aplicación, permitiendo guardar imágenes o informes basados en los datos visualizados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

5.2 Interacción entre herramientas de software

Se ha seleccionado Raspbian (actualmente conocido como Raspberry Pi OS) como el sistema operativo en el Raspberry Pi debido a sus múltiples ventajas técnicas que optimizan la compatibilidad con el hardware, el rendimiento y la versatilidad del sistema.

Este sistema operativo fue diseñado específicamente para el hardware de Raspberry Pi, lo que asegura una integración eficiente y segura con los periféricos y puertos GPIO del dispositivo. Esta característica facilita la interacción directa con sensores y módulos externos. Además, al estar basado en Debian, permite el uso de un extenso repositorio de librerías y herramientas esenciales para el desarrollo del sistema, incluidas librerías cruciales como *pyrtlsdr*, que son fundamentales en este proyecto.

La librería *pyrtlsdr*, permite la captura y el procesamiento de señales mediante el receptor SDR (RTL-SDR). Raspbian es especialmente adecuado para soportar esta librería, ya que su arquitectura de kernel Linux facilita el acceso a controladores necesarios para el SDR y otros dispositivos USB, garantizando una operación estable y sin interrupciones.

Además, Raspbian permite la configuración e integración de herramientas adicionales para el análisis y la visualización de datos, como Python y sus librerías (NumPy, Matplotlib, Pandas), que son fundamentales para procesar y graficar los datos recolectados. Su capacidad para manejar tareas en tiempo real mediante scripts optimizados es una ventaja crucial en sistemas donde la estabilidad y la eficiencia son esenciales.

También es importante mencionar el amplio soporte que tiene Raspbian para bibliotecas de comunicación serial y GPIO, lo que simplifica la integración con módulos externos, como el GPS M8N, permitiendo una adquisición de datos precisa y confiable. La extensiva documentación y el apoyo de la comunidad a Raspbian refuerzan su confiabilidad como entorno de desarrollo y depuración, consolidándolo como una opción ideal y acorde para este proyecto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

5.3 Entorno de Desarrollo

La elección de React.js para este proyecto responde a una serie de factores que hacen de esta biblioteca una opción ideal en términos de eficiencia, flexibilidad y escalabilidad. React.js fue elegido por su capacidad para crear aplicaciones de usuario dinámicas y de alto rendimiento, al mismo tiempo que mantiene una estructura de código fácil de gestionar. Algunas de las razones más destacadas para su elección incluyen:

- Desarrollo basado en componentes: React utiliza una arquitectura basada en componentes reutilizables, lo que facilita la creación y el mantenimiento de interfaces de usuario modulares. Esto permite desarrollar partes de la aplicación de manera independiente y con mayor claridad, lo que es especialmente útil para proyectos con múltiples funcionalidades.
- Actualización eficiente del DOM: React emplea un algoritmo de reconciliación conocido como *Virtual DOM*, que optimiza las actualizaciones del DOM real. Solo se actualizan los elementos que realmente han cambiado en lugar de todo el entorno, lo que mejora considerablemente el rendimiento de la aplicación, especialmente en proyectos que requieren interacción constante y manipulación de datos.
- Soporte continuo: React cuenta con una comunidad activa y en constante crecimiento, lo que proporciona un acceso continuo a recursos, tutoriales, librerías y herramientas de terceros.
- Facilidad para el manejo de estados: Con herramientas como *React Context API* y *Redux*, React ofrece una forma sencilla de manejar el estado global de la aplicación. Esto es vital en proyectos donde es necesario gestionar datos de manera centralizada y garantizar la coherencia entre diferentes componentes de la interfaz.

5.4 Visual Studio Code como Entorno de Desarrollo integrado (IDE)

Será el entorno de desarrollo integrado (IDE) a utilizar debido a su capacidad de ofrecer un conjunto de herramientas avanzadas y especializadas que maximizan la eficiencia en el desarrollo de aplicaciones, también asegura una alta calidad en la escritura y gestión del código fuente, empleando una serie de características que se describen a continuación:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Compatibilidad y Soporte para JavaScript y React:

Vs Code ha sido optimizado para el desarrollo en JavaScript y React mediante el uso de extensiones y configuraciones avanzadas. Algunas extensiones clave son:

- ESLint: Implementa reglas estrictas para el análisis del código estático, detectando errores en tiempo real y asegurando el cumplimiento de los estándares de calidad de JavaScript.
- Prettier: Un formateador de código que aplica estilos consistentes, evitando errores de sintaxis y manteniendo la legibilidad del código.
- React Developer Tools: Facilita la inspección y manipulación del árbol de componentes React directamente desde VS Code.
- ES7+ React/Redux/GraphQL/React-Native snippets: Ofrece una serie de *snippets* o fragmentos de código predefinidos para reducir la escritura repetitiva y acelerar el desarrollo en React.

Integración de Git y Gestión de Control de Versiones

La integración nativa de Git en VS Code es robusta y permite realizar un control de versiones detallado directamente desde el entorno de desarrollo. Esto incluye:

- Control de cambios en tiempo real: Al comparar versiones de código se marcan visualmente las líneas modificadas, añadidas o eliminadas, lo que facilita el seguimiento de cambios y la revisión de código.
- Comandos de Git rápidos: Permite realizar operaciones de commit, push, pull, merge, entre otros, sin tener que salir de VS Code, lo que minimiza la interrupción del flujo de trabajo, haciendo que el código esté disponible a través de cualquier lugar con acceso de red.
- Gestión de ramas y resolución de conflictos: La interfaz gráfica de VS Code para Git permite la creación y conmutación entre ramas, así como la resolución de conflictos de una manera visualmente intuitiva.

Terminal Integrada y Gestión de Comandos

La terminal integrada en VS Code permite ejecutar comandos de Node.js, npm, pnpm, entre otros, sin tener que abrir una ventana externa de la terminal del sistema.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Esto es especialmente importante en un proyecto de React, donde el uso de comandos es constante para:

- Iniciar el servidor de desarrollo (npm start, pnpm run dev) e instalar dependencias y paquetes necesarios (npm install, pnpm add).
- Ejecutar scripts personalizados para tareas como compilación, pruebas y despliegue.

Esta terminal permite realizar todas las operaciones necesarias sin cambiar de contexto, lo cual optimiza el tiempo y reduce la posibilidad de errores.

Depuración Avanzada

La herramienta de depuración de VS Code permite la identificación precisa de errores y fallos en el código mediante:

- Puntos de interrupción (breakpoints): Los breakpoints permiten pausar la ejecución del código en puntos específicos para examinar el estado de variables, objetos y funciones en tiempo real.
- Panel de visualización del estado: Muestra el valor de las variables, el contexto de ejecución y la pila de llamadas, lo cual facilita el análisis del flujo de ejecución.
- Integración con herramientas de depuración de navegador: VS Code permite la conexión con navegadores para una depuración más exhaustiva de la aplicación en un entorno de ejecución real.

Estas herramientas de depuración son esenciales para el mantenimiento de una aplicación React eficiente y libre de errores, permitiendo la localización de problemas en tiempo real.

Extensibilidad y Personalización del Entorno

VS Code ofrece un nivel alto de extensibilidad mediante su vasta biblioteca de extensiones. Esto permite personalizar el entorno según las necesidades específicas del proyecto. Las extensiones más utilizadas para React incluyen:

- Emmet: Ofrece una serie de atajos para escribir código HTML y JSX de manera más rápida y eficiente.
- Code Spell Checker: Detecta errores tipográficos, lo cual es útil para evitar errores en variables, funciones y comentarios.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La capacidad de personalizar el IDE de esta manera permite adaptar VS Code para maximizar la eficiencia en el desarrollo de aplicaciones.

Código Intellisense y Autocompletado

VS Code ofrece IntelliSense, que proporciona sugerencias contextuales y autocompletado para variables, funciones y métodos, en función del contexto del código [76]:

- Sugerencias automáticas: IntelliSense sugiere automáticamente propiedades, métodos y variables relevantes, lo cual reduce los errores de sintaxis.
- Navegación rápida en el código: Permite desplazarse fácilmente a definiciones de funciones, métodos y clases, lo cual mejora la comprensión y el flujo de desarrollo.

Visual Studio Code no solo actúa como un editor de texto, sino que es un entorno de desarrollo completo que potencia la productividad, precisión y organización en este proyecto React. Con soporte integrado para depuración, control de versiones, extensiones especializadas, autocompletado y una terminal de comandos, VS Code facilita el desarrollo, la gestión y el despliegue del código de manera organizada y eficiente.

5.5 Compatibilidad y Requisitos del Sistema

Para garantizar un correcto funcionamiento de la aplicación web desarrollada en React, se definen los siguientes requisitos y compatibilidades:

Requisitos del Cliente (Navegador Web):

- Navegadores Compatibles:
    - Google Chrome (versión 91 o superior), Mozilla Firefox (versión 89 o superior), Microsoft Edge (versión 91 o superior) y/o Safari (versión 14 o superior, en sistemas macOS o iOS).

Requisitos del Sistema para el Desarrollo:

- Sistema Operativo:
    - Windows 10 o superior, macOS 11.0 (Big Sur) o superior, o distribuciones basadas en Linux (Ubuntu 20.04 o superior recomendadas).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Herramientas de Desarrollo:
    - Node.js (versión 16.0 o superior) para ejecutar el entorno de desarrollo.
    - npm (versión 7.0 o superior) o yarn/pnpm para la gestión de dependencias.
- Conexión a Internet:
    - Ancho de banda mínimo recomendado de 1 Mbps para cargar datos y renderizar gráficos interactivos.

Requisitos para Usuario:

- Dispositivos Compatibles:
    - Computadoras con procesadores equivalentes o superiores a Intel i3 (de séptima generación) o AMD Ryzen 3.
    - Dispositivos móviles con sistemas operativos Android 10 o superior, o iOS 14 o superior.
- Resolución de Pantalla Recomendada:
    - 1366x768 o superior para una experiencia óptima de visualización.

5.6 Algoritmos

Los algoritmos a implementarse definidos en el módulo de adquisición de datos en el Raspberry Pi serán los siguientes:

5.6.1. Configuración del SDR

Configura el receptor definido por software (SDR) para capturar muestras de una frecuencia específica con un ancho de banda y ganancia predefinidos.

Pasos:

1. Inicializa el dispositivo SDR (RtlSdr).
2. Define el rango de frecuencia central, tasa de muestreo, ancho de banda, y ganancia.
3. Prepara el SDR para la captura de datos crudos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.6.2. Captura y Promedio de Potencia

Captura datos crudos del SDR, calcula la potencia promedio de las muestras y convierte los valores a decibelios (dB).

Pasos:

1. Captura de un conjunto de muestras (sdr.read_samples).
2. Cálculo de la potencia promedio como el valor cuadrático medio de las muestras.
3. Convierte la potencia promedio a decibelios usando pot_db=10·log*10(potencia).
4. Repite el proceso para varias mediciones y almacena los valores.

5.6.3. Filtrado de Outliers

Identifica y elimina valores atípicos de las mediciones de potencia para garantizar datos más confiables.

Pasos:

1. Calcula la mediana de las muestras originales.
2. Obtiene la desviación absoluta de cada muestra con respecto a la mediana.
3. Calcula el puntaje estandarizado(s) de cada muestra.
4. Conserva solo las muestras cuyo puntaje estandarizado sea menor a un umbral definido.

5.6.4. Promedio de potencia sin Outliers

Calcula el promedio de las mediciones restantes tras eliminar los valores atípicos.
Pasos:

1. Suma todas las mediciones filtradas.
2. Divide entre el número de mediciones válidas.

5.6.5. Algoritmo de Obtención de Datos GPS

Extrae información de posición (latitud, longitud, altitud) desde el receptor GPS y garantiza un bloqueo de posición válido antes de continuar con otros procedimientos.

Pasos:

1. Configurar el puerto serial para lectura de datos GPS.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2. Lee líneas de datos NMEA desde el GPS.
3. Identifica las líneas con la etiqueta GNGGA.
4. Extrae latitud, longitud, y altitud utilizando pynmea2.
5. Repite el proceso hasta obtener un bloqueo de posición válido.

5.6.6. Escritura de CSV y almacenamiento de datos

Escribe los datos procesados (potencia promedio, posición GPS) en un archivo CSV.

Pasos:

1. Define los encabezados del archivo CSV (dB, Lat, Long, Altitud).
2. Crea un diccionario con los valores procesados.
3. Abre el archivo en modo de escritura por apéndice.
4. Escribe los datos como una nueva fila en el archivo.

Los algoritmos a implementarse definidos en el módulo de procesamiento de datos a ejecutarse en un PC/Laptop serán los siguientes:

5.6.7. Carga y procesamiento del archivo CSV

El usuario selecciona un archivo CSV. El archivo se lee utilizando fetch y se convierte en texto (string) manejable por el algoritmo.

Pasos:

1. Entrada de datos:
    a. El usuario selecciona un archivo CSV desde su dispositivo mediante un input tipo file.
    b. El archivo se lee utilizando el método fetch, lo que permite obtener su contenido como texto para procesarlo en el navegador.
2. División en filas y columnas:
    a. El texto del archivo se separa en líneas (filas) usando el carácter de salto de línea.
    b. Cada línea se divide en columnas utilizando el carácter de coma como delimitador (asumiendo un formato estándar de CSV).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. Extracción de datos:
    a. De las columnas relevantes, se extraen datos de potencia (dBm), coordenadas geográficas (latitud y longitud) y altitud.
    b. Estos valores se almacenan en una estructura de datos (como un arreglo o estado en React) para su uso posterior.
4. Validación:
    a. Se realizan verificaciones para asegurar que las columnas contengan valores numéricos y las filas tengan la cantidad esperada de datos.

5.6.8. Cálculo de distancias geográficas

En este algoritmo se empleará la data de la ubicación geográfica latitud y longitud y se convertirá para obtener coordenadas polares mediante las siguientes etapas:

1. Conversión a radianes:

   Las latitudes y longitudes, que normalmente están en grados, se convierten a radianes usando la fórmula estándar:

2. Hallar la distancia entre puntos:

   Usando la fórmula de *Haversine*, se calcula la distancia entre un punto inicial (una referencia fija) y cada punto geográfico del CSV:

$$\boldsymbol{a = \sin^2\left(\frac{\Delta latitud}{2}\right) + \cos(latitud_1) * \cos(latitud_2) * \sin^2\left(\frac{\Delta longitud}{2}\right)}$$

$$\boldsymbol{distancia = 2 * R * \arcsin(\sqrt{a})}$$

Donde R es el radio de la Tierra (6,371 km).

3. Cálculo de orientación angular (bearing):

   Se calcula el ángulo entre cada punto y el inicial, empleando:

$$\boldsymbol{bearing = arctan2(sin(\Delta longitud) * cos(latitud_2), cos(latitud_1) \cdot sin(latitud_2) - sin(latitud_1) \cdot cos(latitud_2) \cdot cos(\Delta longitud))}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Esto da una dirección desde el punto de referencia hacia cada punto del CSV.

4. Resultado:

Se genera un arreglo de distancias y ángulos para graficar la radiación de la antena.

5.6.9. Predicción basada en distancias

Selección de distancias:

- El usuario ajusta un control deslizante o introduce manualmente una distancia deseada.

Cálculo predictivo:

El usuario podrá seleccionar entre 2 modelos dependiendo de la zona en la que se encuentre:

- Modelo FSPL (Free Space Path Loss), se calcula cómo cambiarían las potencias medidas si los puntos estuvieran a la nueva distancia seleccionada:

$$FSPL_{db} = 20 * \log_{10}(d\ en\ metros) + 20 * \log_{10}(f\ en\ Hz) - 147.55$$

Donde:

- d: Es la separación entre el transmisor y el receptor, en metros.
- f: Es la frecuencia de la señal transmitida, en hercios (Hz).
- 147.55: Es una constante derivada de los valores de la velocidad de la luz y la conversión a decibelios.

Esto permite modelar escenarios hipotéticos, como cambiar la posición del receptor o simular diferentes condiciones ambientales.

- Modelo de atenuación de Okumura-Hata:

El modelo de Okumura-Hata estima la pérdida de trayectoria (path loss, PL) en entornos urbanos como sigue:

$$L = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 * \log_{10}(h_b)] * \log_{10}(d)$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

- L: Pérdida de propagación en dB.
- f: frecuencia en MHz.
- $\boldsymbol{h_b}$: Altura efectiva de la antena transmisora en metros.
- $\boldsymbol{h_m}$: Altura de la antena receptora en metros.
- $\boldsymbol{d}$: Distancia entre antenas en km
- $\boldsymbol{a(h_m)}$: Factor de corrección para la altura de la antena receptora.

El valor de $\boldsymbol{a(h_m)}$ estará determinado según el caso:

A. Para ciudades pequeñas o medianas:

$$\boldsymbol{a(h_m) = (1.1 * \log_{10} f - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10} f - 0.8)}$$

B. Para ciudades grandes:

$$\boldsymbol{Si\ f \leq 300\ MHz,} \quad \boldsymbol{a(h_m) = 8.29(\log_{10}(1.54 * h_m))^2 - 1.1(dB)}$$

$$\boldsymbol{Si\ f \geq 300\ MHz,} \quad \boldsymbol{a(h_m) = 3.2(\log_{10}(11.75 * h_m))^2 - 4.97(dB)}$$

Además, se deberá aplicar un factor de corrección si se encuentra en un área:

A. Área suburbana:

$$\boldsymbol{L_b = L - 2 * \left[log\left(\frac{f}{28}\right)\right]^2 - 5.4}$$

B. Área rural/abierta:

$$\boldsymbol{L_b = L - 4.78 * [log(f)]^2 + 18.33 * log_{10} f - 40.94}$$

Las aplicaciones del modelo abarcan:

- Áreas urbanas: Se utiliza para predecir la pérdida de señal en ciudades densamente pobladas donde los edificios y otras estructuras generan múltiples reflexiones y atenuación.
- Áreas suburbanas: Incluye ajustes que reflejan la menor densidad de edificaciones y obstáculos.
- Áreas rurales: Modela la propagación en áreas abiertas con poca interferencia de obstáculos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Las limitaciones del modelo Okumura-Hata son:

- El modelo es válido solo dentro de los rangos de frecuencia y altura especificados.
- Se basa en mediciones empíricas y no considera efectos dinámicos como la dispersión o la interferencia puntual.
- No es adecuado para frecuencias superiores a 1.5 GHz, donde otros modelos como COST-231 o ITU-R se prefieren.

Almacenamiento del resultado:

- Los resultados de las potencias estimadas se almacenan en arrays y estarán disponibles para su graficación.

5.6.10. Generación del gráfico polar

Preparación de los datos:

- Los ángulos y las potencias (originales, escaladas o predichas) se estructuran en un formato compatible con bibliotecas de gráficos como react-plotly.js.

Configuración del gráfico:

- Se configura un gráfico polar con ejes representando las direcciones (0° a 360°) y los radios representando las potencias.
- Se ajustan los rangos mínimo y máximo para garantizar que los datos sean visualmente claros.

Resultado:

- El gráfico permitirá visualizar el patrón de radiación de la antena en un formato radial, mostrando patrones como lóbulos principales y secundarios.

5.6.11. Interfaz de usuario

Visualización de datos:

- Una tabla muestra los datos procesados, incluyendo los valores originales y ajustados para que el usuario pueda analizarlos en detalle.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Interacción:

- Controles manuales (Botones, Sliders e Inputs) permiten cargar archivos, ajustar distancias y observar cómo cambian los patrones de radiación en tiempo real.

Resultados en tiempo real:

- Los cambios realizados por el usuario se reflejan inmediatamente en el gráfico y los datos asociados. Proporcionando una experiencia interactiva y dinámica.

6. Implementación y programación de prototipo

6.1 Implementación física

Se describirá el proceso de integración y ensamblaje físico de los componentes necesarios para el proyecto. Se detallará el ensamblaje de dispositivos, la conexión y configuración de cada uno de los elementos (como el Raspberry Pi, el módulo GPS, el SDR, y las antenas), así como las pruebas realizadas para asegurar su correcto funcionamiento.

Listado de componentes y herramientas

Para la implementación del prototipo se emplearán:

- Raspberry Pi 3 Model B+
- Módulo M8N GPS + Compass
- SDR RTL2832
- Regulador de Voltaje StepDown XL4015
- Batería de Lipo 3S 3300 mAh 11.1V
- Interruptor
- Chasis metálico de 19x12x11 cm
- Antenas para cada banda objetivo

Montaje y conexionado:

Para la construcción del prototipo se realizó:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Instalación de Raspberry Pi, SDR, regulador de voltaje y batería en el chasis metálico y fijación mediante pernería.
- Instalación de interruptor y cables de alimentación entre: Batería – Interruptor - Regulador de voltaje-Raspberry.
- Montaje de GPS M8N en parte superior de chasis.
- Pruebas de encendido y funcionamiento de Raspberry Pi.

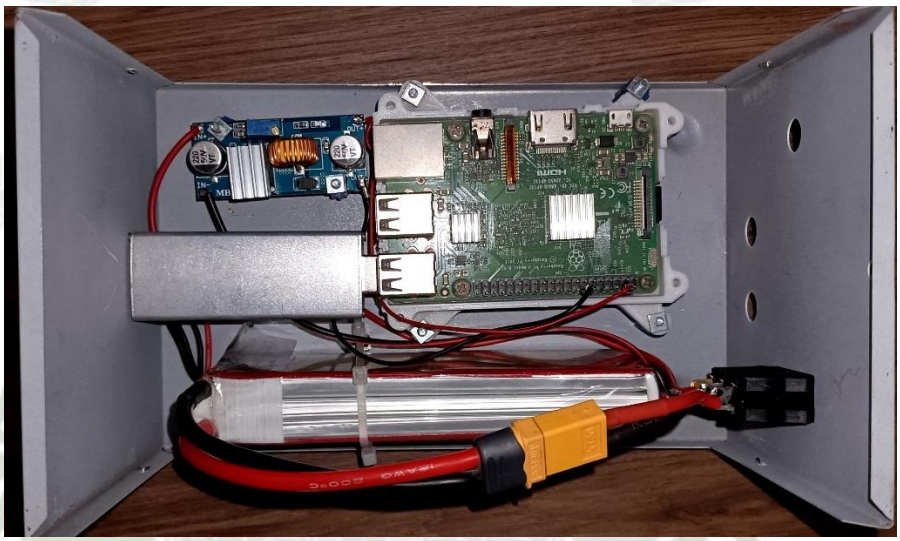


Figura 35. Componentes montados en chasis, Fuente: Elaboración propia

6.2 Configuración y preparación de Raspberry Pi

En esta sección se detalla el proceso llevado a cabo para instalar desde cero el sistema operativo Raspbian en el Raspberry Pi, comenzando desde la obtención de la imagen hasta la configuración inicial del dispositivo. Para la presente tesis se está empleando Windows 10 como entorno de configuración y desarrollo.

6.2.1 Descarga de Raspbian

El primer paso fue la obtención del instalador oficial de Raspbian: NOOBS desde el sitio web del fabricante, asegurando su autenticidad. Se descargará la versión LITE.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

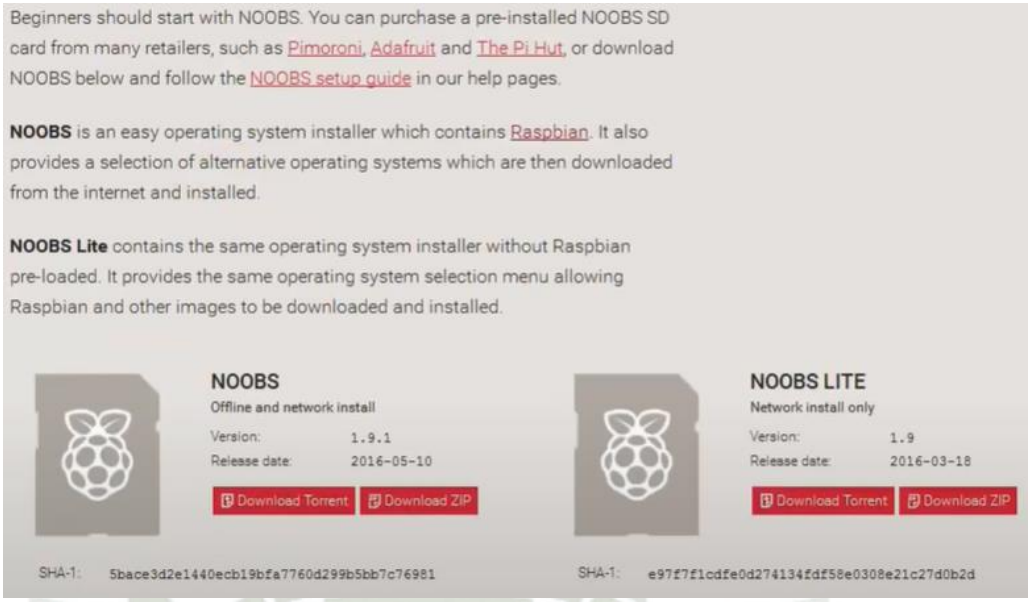


Figura 36: Captura de página de descarga oficial Raspbian [85].

6.2.2 Formateo de Micro SD

A continuación, se descargará el programa de formateo SD Memory Card Formatter, el cual es un software libre que permite formatear memorias externas SD según necesidades del usuario. Se descargará de su página oficial: https://www.sdcard.org/downloads/formatter/



Figura 37: Captura de página de descarga oficial SD Formatter [86].

Una vez descargado, se debe de ejecutar e instalar el software. A continuación, se ejecuta el programa instalado, se inserta la memoria microSD en la computadora, se selecciona la letra correspondiente a la unidad y se procede a Formatear. El formato será ahora FAT32.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

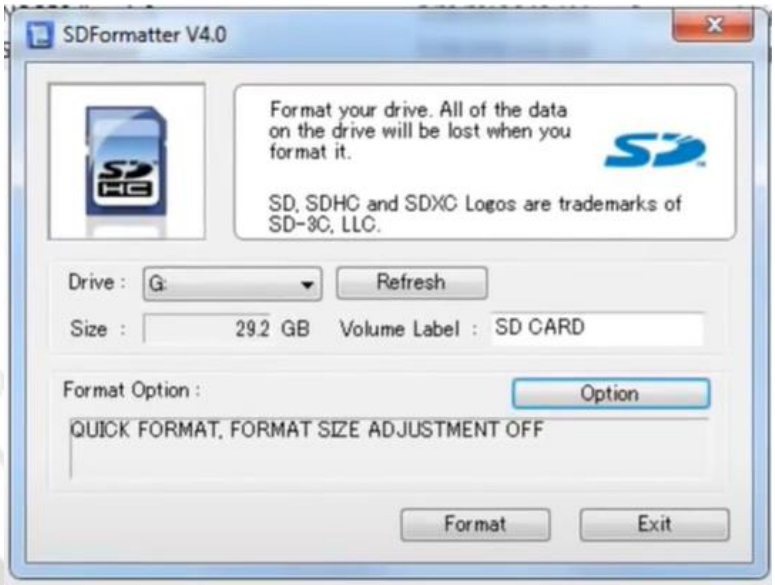


Figura 38: Captura de SDFormatter ejecutándose, Fuente: Captura propia.

6.2.3 Montar imagen en Micro SD

Se montará la imagen del instalador NOOBS descargado anteriormente en la microSD formateada con los siguientes pasos:

1. Extraer archivo comprimido y seleccionar ruta de extracción en la raíz de la microSD formateada.
2. Cerrar ventanas abiertas y expulsar de forma segura el microSD.
3. Insertar la memoria microSD en el Raspberry PI

6.2.4 Instalación de Raspbian

Una vez insertada la memoria, se realizará la instalación del sistema operativo Raspbian en el Raspberry Pi 3 de la siguiente forma:

1. Conexión de mouse y teclado mediante los puertos USB de RaspberryPi
2. Conexión de cable HDMI entre RaspberryPi y monitor externo.
3. Conexión de fuente de 5V a RaspberryPi mediante puerto microUsb para alimentación energética.
4. Se iniciará automáticamente el instalador NOOBS
5. Seleccionar Raspbian entre la lista de opciones de instalación.
6. Apretar botón de Instalar.
7. Esperar a instalación y esperar mensaje de confirmación, luego apretar OK.
8. Se reiniciará automáticamente y empezará el boot de Raspbian.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

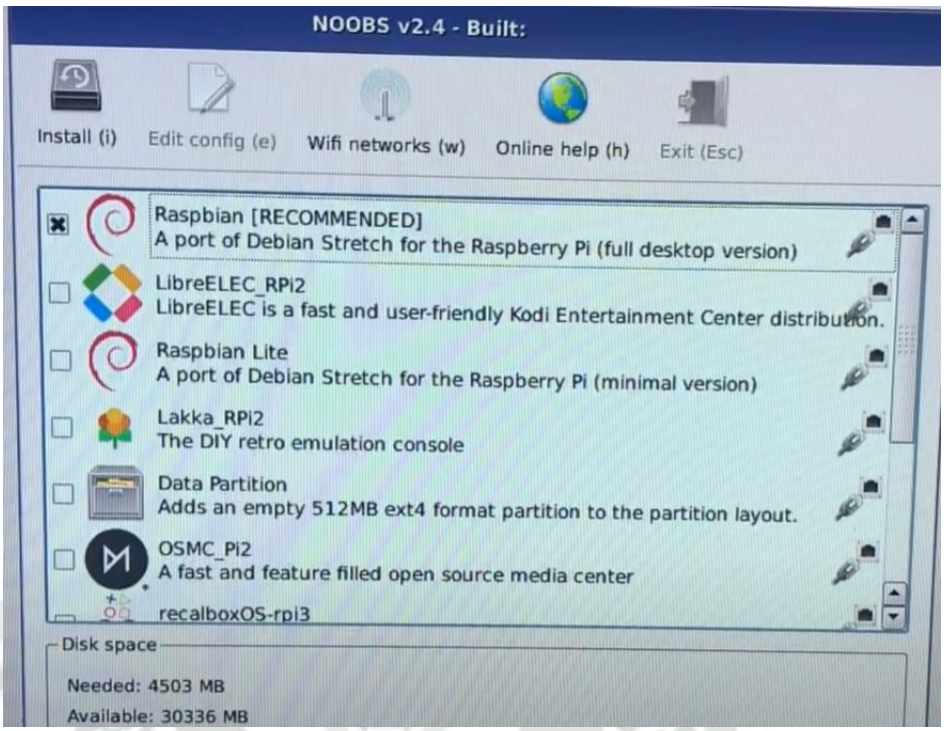


Figura 39: Instalación de Raspbian, Fuente: Elaboración propia.

6.2.5 Actualización de Sistema Operativo

Se procederá a actualizar todas las dependencias, herramientas y librerías a sus versiones más recientes. Se ejecutarán una serie de comandos en la terminal del sistema, para ello:

- Obtención de la lista de paquetes actualizada: sudo apt update
- Instalación de actualizaciones disponibles: *sudo apt upgrade -y*
- Eliminación de paquetes obsoletos: *sudo apt autoremove -y*
- Actualización de firmware: *sudo rpi-update*

6.2.6 Instalación de Python

Raspbian incluye por defecto una versión de Python preinstalada. Para confirmar su versión se debe de ejecutar: *python3 –versión,* en caso no se encuentre una versión disponible se usará el comando *sudo apt install python3 -y* para instalarlo finalmente.

6.2.7 Instalación de librerías

Las librerías utilizadas en el proyecto se instalarán mediante pip, según las necesidades del sistema. Estas incluyeron módulos específicos para la comunicación con hardware, análisis de datos y visualización de resultados. A continuación, las librerías adicionales para el desarrollo del programa y su comando de instalación a emplear:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- rtlsdr: Librería para módulo SDR Empleada para programación y control del SDR, se instala mediante: "*pip3 install rtlsdr"*
- Numpy: Librería para análisis de datos y procesamiento numérico, comando de instalación: "*pip3 install numpy"*
- Matplotlib: Librería para graficar datos localmente: "pip3 install matplotlib"
- RPi.*GPIO:* Librería de control de pines GPIO del RaspberryPi, se instala con: *"pip3 install RPi.GPIO"*
- PySerial: Comunicación entre dispositivos conectados al puerto serie, instalación: *"pip3 install pyserial"*
- pynmea2: Permite analizar y extraer información de sentencias NMEA obtenidas por el módulo GPS, comando de instalación: *"pip3 install pynmea2"*

6.2.8 Asignación de dirección IP fija para Raspberry

Para facilitar el acceso remoto mediante red local, se asignará un IP fija mediante los siguientes pasos:

- Conectarse a la red Wifi en la que se desarrollará el proyecto.
- Abrir el archivo de configuración de red mediante la terminal: "*sudo nano /etc/dhcpcd.conf"*
- Añadir las líneas al final del archivo:

```
interface wlan0
static ip_address = 192.168.31.200/24
static routers = 192.168.31.1
static domain_name_servers = 8.8.8.8 8.8.4.4
```

Figura 40. Configuración Ip estática en Raspbian, Fuente: Elaboración propia.

  - interface: Especifica la interfaz (wlan0 para Wi-Fi, eth0 para Ethernet).
  - static ip_address: Dirección IP fija a asignar.
  - static routers: Dirección del gateway.
  - static domain_name_servers: Servidores DNS, como los de Google (8.8.8.8 y 8.8.4.4).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Guardar y reiniciar la red con “Ctrl+O”, luego Enter y cerrar con “Ctrl+X”
- Reiniciar el sistema para aplicar los cambios: “sudo Systemctl restart dhcpcd”
- Verificar asignación de Ip: “ip addr show wlan0”

6.2.9 Configuración de acceso remoto mediante red local

Para facilitar el desarrollo del programa y obtener el control del Raspberry Pi desde una computadora/laptop a través de una red de área local, se debe habilitar el servidor SSH en Raspbian:

- Acceder a configuración: “*sudo raspi-config”*
- Seleccionar Interfacing Options > SSH > Enable
- Verificar estado de servidor SSH: *“sudo systemctl status ssh”*
- Activar inicio del servidor con: *“sudo systemctl start ssh”*

En la PC que accederá de manera remota al servidor SSH, después de instalado VS Code, se deberá de:

- Buscar “Remote – SSH” en la sección de extensiones en la barra lateral izquierda.
- Instalar extensión.
- Abrir panel de comandos de Vs Code: *“Remote-SSH: Add New SSH Host”*
- Introducir la dirección Ip del host SSH con el formato: *pi@192.168.31.200* , donde *pi* es el usuario por defecto en la Raspberry Pi y 192.168.31.200 es la dirección Ip configurada previamente.
- Guardar en el archivo de configuración por defecto (~/.ssh/config)
- Para conectarse remotamente desde Vs Code se abrirá el panel de comandos y seleccionar la opción: Remote-SSH: Connect to Host
- Escoger el host configurado en el desplegable (pi@192.168.31.200).
- Introducir la contraseña asignada en Raspbian.
- Una vez conectado remotamente, se abrirá una nueva ventana y se podrá acceder tanto al directorio de archivos como a la terminal de Raspbian.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6.3 Desarrollo de rutina de captura de muestras en RaspberryPi

En esta sección se detalla el proceso de creación y configuración del programa desarrollado en Python 3, el cual controla la adquisición de datos de los sensores, el procesamiento de las muestras y el almacenamiento de los resultados. Este programa integra las funcionalidades del módulo GPS, el dispositivo SDR y los algoritmos de procesamiento de señales. A continuación, se describen los pasos necesarios para crear, configurar y ejecutar el script en la Raspberry Pi 3, asegurando su correcto funcionamiento en el entorno de hardware definido:

6.3.1 Creación del script

Para crear el script de programa en el Raspberry se seguirán los siguientes pasos:

1. Crear una carpeta donde se almacenarán los scripts con el comando: "*mkdir"*
2. Acceder a la carpeta con: "*cd nombre_carpeta"*
3. Creación de archivo de script en python mediante el editor de texto del sistema: *"sudo nano nombre_archivo.py"*
4. Una vez creado el archivo, se podrá empezar a programar en él, para guardar se requerirá la combinación de teclas: "Ctrl+x" y escribir la letra "y" para confirmar el guardado.
5. La ejecución del código se dará con: "*python3 nombre_archivo.py"*

6.3.2 Ancho de banda (Bandwith)

El ancho de banda será configurado en función de la señal emisora a ser muestreada para el caso de 430 MHz por ejemplo se tendrá un valor recomendado entre 12.5 kHz – 25 kHz para la tasa de muestreo (Tabla 4).

6.3.3 Tasa de muestreo (Sample Rate)

La tasa de muestreo establece cuántas muestras por segundo se toman de la señal recibida. Este parámetro debe ser al menos el doble del ancho de banda seleccionado (según el teorema de Nyquist) para evitar aliasing, pero si se desea que se tenga una captura de mayor precisión se recomendará que el sample rate sea almenos 4 veces el ancho de banda. Para las bandas de frecuencias elegidas se tendrán las siguientes tasas de muestreo:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Rango de Frecuencia (MHz)	Ancho de Banda Típico	Sample Rate mínimo (MS/s)	Sample Rate recomendado (MS/s)	Descripción
24 – 24.25 MHz	8 – 10 kHz	0.016 - 0.02 MS/s	0.04 MS/s	Rango estrecho y capturable con baja resolución. Adecuado para señales meteorológicas.
27 – 27.3 MHz	10 kHz	0.02 MS/s	0.04 MS/s	Comunicaciones de corto alcance, banda ciudadana y baja densidad espectral
50 – 54 MHz	10 – 12 kHz	0.02 - 0.024 MS/s	0.048 MS/s	Comunicaciones de radioaficionados requieren mayor fidelidad para señales en esta banda
144 – 148 MHz	12.5 – 25 kHz	0.025 - 0.05 MS/s	0.1 MS/s	Adecuado para repetidores y señales locales con modulación VHF
420 – 450 MHz	12.5 – 25 kHz	0.025 - 0.05 MS/s	0.1 MS/s	Comunicaciones UHF y pruebas de propagación requieren mayor resolución.
868 – 870 MHz	125 – 500 kHz	0.25 - 1 MS/s	2.0 MS/s	Redes IoT y sistemas ISM tienen un espectro reducido, pero se requiere precisión para análisis detallado.
902 – 928 MHz	125 – 500 kHz	0.25 - 1 MS/s	2.0 MS/s	Espectro más amplio en ISM de EE. UU, para capturar de
1240 – 1300 MHz	25 – 100 kHz	0.05 - 0.2 MS/s	0.4 MS/s	Banda L, aplicaciones satelitales y experimentales requieren mayor resolución para análisis detallado

Tabla 10: Samples rates mínimos y recomendados dependiendo del rango de frecuencia, Elaboración propia.

6.3.4 Frecuencia central (Center Frequency)

La frecuencia central será elegida por el usuario y configurable en el script, dependerá entonces de la señal emisora a ser capturada en las sesiones de muestreo. El rango estará determinado por:

$$\boldsymbol{Rango} = [\boldsymbol{Freq_{central}} - \frac{\boldsymbol{Bandwith}}{\boldsymbol{2}}; \boldsymbol{Freq_{central}} + \frac{\boldsymbol{Bandwith}}{\boldsymbol{2}}]$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

6.3.5 Ganancia (Gain)

Para el desarrollo del prototipo se seleccionó una configuración de ganancia fija, debido a que permite una toma de muestras en igualdad de condiciones en el receptor sin que se altere la potencia recibida, sobre todo porque se tomará en distintos grados de ubicación.

6.3.6 Configuración de parámetros de SDR en Python

Para configurar correctamente los parámetros del RTL2832, se declararán los parámetros en el código de la siguiente forma:

- Importación de biblioteca RtlSdr mediante: "from rtlsdr import *"
- Configuración inicial:

```
sdr = RtlSdr()
sdr.sample_rate = 2.4e6          # Tasa de muestreo
sdr.center_freq = 144.0e6        # Frecuencia central (144 Mhz)
sdr.gain = 0                     # Ganancia inicial
sdr.set_bandwidth(200.0e3)       #Ancho de banda
```

Figura 41: Ejemplo de configuración inicial SDR, Fuente: Elaboración propia.

6.3.7 Conexión y configuración de módulo GPS en Python

El módulo GPS M8N será configurado para extraer la latitud, longitud y altura, de la siguiente forma:

- Configuración del puerto serie:
  - Puerto serie: Se utilizará el puerto UART de la Raspberry PI ubicado en los pines GPIO, el cual está denominado como ttyAMA0, configurado para leer datos de forma serial.
  - Baudarate (9600 bps): Especifica la velocidad de transmisión en bits por segundo, el valor elegido es un estándar que garantiza estabilidad y minimiza errores.
  - Timeout: Configurado en 0.1 segundos para evitar bloques de lectura en caso no reciba datos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

```
port = ”/dev/ttyAMA0”          #Puerto físico
ser = serial.Serial(port, baudrate=9600, timeoute=0.1)
```

Figura 42: Ejemplo de configuración GPS M8N en Python, Fuente: Elaboración propia.

- Lectura de datos NMEA: Los datos recibidos del GPS serán procesados para obtener la información de ubicación captada por el módulo. Para este procedimiento se realizarán las siguientes etapas:
  - Formato NMEA; Los módulos GPS envían datos en formato NMEA (sentencias estándar), que incluyen información como latitud, longitud, altitud, velocidad y tiempo.
  - Conversión de datos: Mediante *“str(newdata, 'utf-8', errors="ignore")”* convierte los datos en formato legible, manejando errores de codificación.
  - Extracción de datos de GNGGA: se extrae de esta sentencia utilizando la biblioteca pynmea2 para interpretar sentencias NMEA y obtener: Latitud, Longitud y Altitud.

```
dataout = pynmea2.NMEAStreamReader()
newdata = ser.readline()
snewdata = str(newdata, 'utf-8', errors="ignore")

if "GNGGA" in snewdata:
   newmsg = pynmea2.parse(snewdata)
   lat = newmsg.latitude
   lng = newmsg.longitude
   altitud = newmsg.altitude
```

Figura 43: Extracción de datos NMEA de GPS en Python, Fuente: Elaboración propia.

6.3.8 Captura y procesamiento de muestras de potencia

En esta etapa, se capturan muestras desde el SDR para analizar la potencia de la señal en el rango de frecuencia seleccionado. Posteriormente, las muestras son procesadas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

para eliminar valores denominados como atípicos u outliers y calcular métricas relevantes como la potencia promedio en dB.

1. Toma de muestras de potencia: El dispositivo SDR captura muestras en el dominio del tiempo, que son representaciones digitales de la señal electromagnética recibida. Estas muestras serán procesadas para calcular su potencia. El código será el siguiente:

```
samples = sdr.read_samples(cant_muestras) #Obtiene muestras
potencia = np.mean(np.abs(samples)**2)  #Potencia promedio
pot_db = 10 * np.log10(potencia)            #Conversión a dB
```

Figura 44: Obtención de muestras y conversión a db, Fuente: Elaboración propia.

a) Captura de señales: Se capturarán "n" muestras desde el SDR definidas en la variable *cant_muestras,* en la frecuencia configurada. Estas muestras son valores complejos (I/Q), donde la componente real representa la señal en fase (I) y la imaginaria la señal en cuadratura (Q).

b) Conversión de muestras complejas a potencia: La muestra compleja x[i] es una combinación de componentes I y Q, representada como:

$$\boldsymbol{x[i] = I[i] + j * Q[i]}$$

Donde j es la unidad imaginaria ($\sqrt{-1}$). La magnitud o módulo de cada muestra, correspondiente a la amplitud instantánea de la señal será calculada como:

$$\boldsymbol{|x[i]| = \sqrt{I[i]^2 + Q[i]^2}}$$

Esta operación transforma los valores complejos en magnitudes reales, en el código se da mediante la instrucción "*np.abs(samples)",* donde el resultado final será un valor real positivo representando la amplitud instantánea de la señal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c) Cálculo de la potencia promedio: Se calcula el promedio de la magnitud al cuadrado de las muestras utilizando:

$$P = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|x_i|^2$$

Donde x representa cada muestra y N es el número total de muestras.

d) Conversión a decibelios: La potencia se convierte a una escala logarítmica con:

$$P_{dB} = 10 * log_{10}(P)$$

Dado que el espectro radioeléctrico abarca un rango de potencias muy amplio (desde señales débiles hasta muy fuertes). Usar una escala logarítmica permite comprimir este rango, facilitando la interpretación y comparación de valores. La magnitud de una muestra compleja (|x[i]|) refleja la amplitud instantánea de la señal en ese momento. Al calcular el promedio de los cuadrados de estas magnitudes, se obtiene una medida que representa la potencia total de la señal recibida. El total de muestras se almacenará en la variable db_samples.

2. Eliminación de valores atípicos (outliers): Las mediciones de señales pueden estar afectadas por picos o caídas abruptas debido a ruido o interferencias. Para obtener un promedio más consistente, se eliminan valores atípicos (también conocidos como outliers) utilizando una técnica basada en la desviación mediana; implementado en el código de la siguiente forma:

```
d = np.abs(db_samples-np.median(db_samples))        # Desv. absoluta de la mediana
mdev = np.median(d)                                 # Desviación mediana
s=d / (mdev if mdev else 1.)                        # Escalamiento
db_samples_not_outliers = [db for i, db in enumerate(db_samples) if s[i] < 2]
```

Figura 45: Eliminación de outliers, Fuente: Elaboración propia.

3. Cálculo de la mediana: del conjunto de datos db_samples. La mediana es el valor central que separa los datos en dos mitades cuando están ordenados. Es robusta frente a valores atípicos, lo que la hace más adecuada que la media en este caso. Por ejemplo: si db_samples = [10, 12, 15, 1000], la mediana sería 13.5.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4. Diferencia a la mediana: Se calcula la diferencia entre cada valor de db_samples y la mediana. Esto nos da una medida de cuánto se aleja cada dato del valor central. En el código es: "*db_samples - np.median(db_samples)*". Posteriormente se toma el valor absoluto de cada diferencia, obteniendo la desviación absoluta para cada dato. Por ejemplo, si db_samples = [10, 12, 15, 1000] y la mediana es 13.5, entonces:

Desviaciones: |10−13.5|, |12−13.5|, |15−13.5|, |1000−13.5|

D = [3.5, 1.5 ,1.5 ,986.5]

5. Desviación Absoluta Mediana (MAD): Se obtendrá el cálculo de la desviación mediana absoluta (MAD), el cual es una medida robusta de la dispersión de datos. Se realiza mediante la función "*np.median(d)*", la cual contiene matemáticamente la ecuación, dependiendo del tamaño del conjunto de datos:

a) Si es impar:

$$\boldsymbol{Mediana = x_{\frac{n+1}{2}}}$$

La mediana será el valor central del conjunto de datos ordenado.

b) Si es par:

$$\boldsymbol{Mediana = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\left(\frac{n}{2}\right)+1}}{2}}$$

En este caso la mediana, será el promedio de los dos valores centrales del conjunto ordenado. Por ejemplo, para un conjunto de datos con número de elementos impar:

- Conjunto de datos: [3,1,4,1,5]
- Ordenados: [1,1,3,4,5]
- Tamaño n = 5 (impar), entonces la mediana será:

$$\boldsymbol{Mediana = x_{\frac{5+1}{2}} = x_3 = 3}$$

6. Escalamiento: En esta parte se realizará un escalamiento y normalización de las desviaciones absolutas usando la mediana absoluta de las desviaciones (MAD) para detectar outliers.

A continuación, se explica el proceso:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- La desviación absoluta del valor x[i] respecto a la mediana de todo el conjunto está dada por:

$$\boldsymbol{d[i] = |x[i] - Mediana(x)|}$$

- MAD = mediana(d): Será la mediana de las desviaciones absolutas.
- Entonces el escalamiento s está dado por:

$$\boldsymbol{s[i] = \frac{d[i]}{MAD}}$$

En el caso de MAD = 0 (cuando no haya variabilidad entre los valores de las muestras), se reemplazará por 1 su valor.

Ejemplo de cálculo de escalamiento(s):

- Datos originales: x= [10,12,12,1000]
- Mediana (Mediana(x)):
  - Datos ordenados: x= [10,12,12,1000]
  - Mediana: $\frac{12+12}{2} = \mathbf{12}$
- Desviación absoluta(d):

$$\boldsymbol{d = [|10 - 12|, |12 - 12|, |12 - 12|, |1000 - 12|] = [2, 0, 0, 988]}$$

- Cálculo de escalamiento (s):

$$\boldsymbol{s = \frac{d}{MAD} = \left[\frac{2}{1}, \frac{0}{1}, \frac{0}{1}, \frac{988}{1}\right] = [2, 0, 0, 988]}$$

- Resultados: Los valores en el arreglo numérico de s indican que tan lejos está cada dato respecto a la mediana en unidades de MAD, para el caso del cuarto valor "988" al ser significativamente mayor que el resto se identifica claramente que es un outlier y debe ser descartado del conjunto de datos. En el código este proceso estará representado como:

```
s = d / (mdev if mdev else 1.) # Escalamiento
```

Figura 46: Escalamiento de desviaciones absolutas, Fuente: Elaboración propia.

7. Elección de umbral para descarte de Outliers: Para elegir el umbral adecuado, se tomará como referencia la regla de las 3 desviaciones estándar(σ), la cual es

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

un principio estadístico que describe como se distribuyen los datos en una distribución normal (campana de Gauss) en función de su desviación estándar.

La desviación estándar para un conjunto de datos se calcula mediante:

1. Media(μ):

$$\boldsymbol{\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i}$$

2. Varianza ($\boldsymbol{\sigma^2}$):

$$\boldsymbol{\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2}$$

3. Desviación estándar(σ):

$$\boldsymbol{\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2}}$$

El valor final de la desviación estándar, indicará cuantas unidades se están desviando los datos de la media del conjunto de datos. Dentro de una distribución normal se tiene que aproximadamente:

- El 68.27% de los datos están dentro de ±1σ de la media.
- El 95.45% de datos están dentro de ±2σ de la media.
- El 99.73% de datos están dentro de ±3σ de la media.

Para el MAD (Desviación Absoluta Mediana) se puede realizar una aproximación a la desviación estándar mediante un factor teórico derivado del "percentil 75":

$$\boldsymbol{\phi^{-1}\left(\frac{3}{4}\right) \approx 0.6745}$$

Este valor obtenido indica que el 75% de los datos están por debajo del área de la curva normal y 25% por fuera de esta. Entonces el factor de conversión de equivalencia entre MAD y desviación estándar será:

$$\boldsymbol{Factor = \frac{1}{0.6745} = 1.4826}$$

Para una aproximación a la regla de las 3 desviaciones estándar (σ) se usará un valor de 2 veces el MAD:

$$\boldsymbol{2xMAD \approx 1.4826x2 = 2.9652 \approx 3}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Por lo tanto, el umbral estará fijado en el valor de 2, lo cual permitirá eliminar valores de más de 3σ, es decir aproximadamente el 0.27% de las muestras que serán consideradas como outliers.

8. Filtro de outliers: Haciendo uso del escalamiento de datos obtenido, se eliminarán los outliers, es una parte necesaria debido a que en un entorno urbano pueden existir señales ruidosas o interferencias que pueden sesgar cálculos correctos al estimar la potencia. Para ello se realizará:
   a) Iteración sobre el array de datos "db_samples" a la par del array "s"
   b) Filtrado de datos "db_samples" cuyos valores escalados sean menores que 2. Eliminando aquellos que superen el umbral, es decir los valores que sean más de 2 veces el MAD de la mediana.
   c) Resultado: Crear un nuevo conjunto de datos llamado "db_samples_not_outliers" que contiene solo los datos que no son outliers. Este proceso será implementado como se muestra en la figura 47.

```
db_samples_not_outliers = [db for i, db in enumerate(db_samples) if s[i] < 2]
```

Figura 47: Almacenamiento de muestras sin outliers, Fuente: Elaboración propia.

9. Cálculo promedio sin outliers: Una vez obtenidas las muestras, se calcula la potencia promedio sin valores atípicos. Este promedio (media aritmética) se calculará sobre el conjunto de datos limpio, obteniendo una medida más representativa de la potencia real de la señal, asegurando una medición final robusta frente a ruidos o anomalías que distorsionen la señal. En el código será implementado como:

```
for i in range (len(db_samples_not_outliers)):
    promedio=promedio+db_samples_not_outliers[i]

promedio=promedio/len(db_samples_not_outliers)
```

Figura 48: Media aritmética de señales limpias, Fuente: Elaboración propia.

6.3.9 Almacenamiento de datos en un archivo CSV

Los datos procesados (potencia promedio, ubicación GPS y altitud) se almacenan en un archivo CSV para su exportación.

Formato de las columnas:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

```
headersCSV = ['dB', 'Lat', 'Long','Altitud']
dict = {'dB': promedio, 'Lat': lat, 'Long': lng, 'Altitud': altitud}
```

Figura 49: Columnas y diccionario para almacenar en CSV. Fuente: Elaboración propia.

Escritura en archivo:

```
with open ('medicionestest.csv', 'a', newline='') as f_object: dictwriter_object =
DictWriter(f_object, fieldnames=headersCSV) dictwriter_object.writerow(dict)
```

Figura 50: Escritura del objeto en archivo CSV. Fuente: Elaboración propia.

6.3.10 Interacción con usuario y estructura de bucle principal

Se programó un menú interactivo para que el usuario seleccione entre distintas opciones principales:

1. Bucle continuo: Toma medidas repetidamente y las almacena.
2. Medición única: Toma una medición cada vez que se indique por comando.
3. Salir: Finaliza el programa.

```
entrada = input ("Ingrese una opcion: Bucle (0), Medicion (1), Salir (2): ")
if entrada == "0":
                        # Bucle continuo de mediciones
elif entrada == "1":
                        # Una sola medición
elif entrada == "2":
   bucle = False        # Salir del programa
```

Figura 51: Opciones de menú en consola de Raspberry Pi. Fuente: Elaboración propia.

6.3.11 Cierre y liberación de recursos

En el contexto del uso de un dispositivo SDR (Software Defined Radio), la liberación adecuada de los recursos es crucial para evitar problemas de rendimiento y garantizar que el sistema pueda funcionar correctamente en el futuro. Este proceso es esencial al final de la ejecución del programa para evitar que los recursos utilizados por el dispositivo SDR, como la memoria y las conexiones al hardware, queden en un estado no deseado o bloqueado. Esto es especialmente importante si el programa se ejecuta en un entorno con recursos limitados o si se planea realizar varias ejecuciones del mismo programa en el mismo sistema. Se usará el método proporcionado por la librería "rtlsdr" para finalizar la conexión:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

```
sdr.close( )                                    #Fin de conexión
```

Figura 52: Cierre de conexión con SDR. Fuente: Elaboración propia.

6.4 Implementación de Interfaz en React.js

El desarrollo de la interfaz gráfica para la presente tesis, se realizó utilizando React.js, un marco de trabajo de JavaScript que permite la creación de aplicaciones web dinámicas y modulares.

6.4.1 Despliegue con Vite

Se utilizó Vite como herramienta de desarrollo para optimizar el rendimiento y acelerar la configuración inicial del proyecto.

A continuación, se describen los pasos para inicializar la aplicación:

1. Inicializar con Vite en la consola:

```
Npm create vite@latest Antenna_dB_Grapher –template react
cd Antenna_dB_Grapher
```

Figura 53: Cierre de conexión con SDR. Fuente: Elaboración propia.

2. Instalación de dependencias: Una vez creada la estructura base, se instalarán las dependencias mediante el comando: “npm install”
3. Ejecutar el servidor de desarrollo: Para iniciar el servidor de desarrollo se hará con el comando “npm run dev”.
4. El servidor se encontrará desplegado localmente en la url presente en la fig. 55

```
VITE v4.4.9  ready in 1652 ms

→ Local:   http://localhost:5173/
→ Network: use --host to expose
→ press h to show help
```

Figura 54: Mensaje de servidor de desarrollo desplegado correctamente. Fuente: Elaboración propia.

6.4.2 Estructura del proyecto

La estructura del proyecto presentará un enfoque modular y organizado, donde cada componente tiene su propio archivo de estilo “CSS” y lógica que se encuentra en los

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

archivos con extensión ".jsx". Esto mejora la mantenibilidad y escalabilidad del código. A continuación, se detalla la estructura:

```
Antenna_dB_Grapher/
|-- node_modules/
|--  public/
|--src/
|   |-- assets/                 # Recursos estáticos como imágenes y estilos globales
|   |--views/                   # Contiene las vistas principales
|   |   |--Antenna_dB_Grapher/  # Vista principal del proyecto
|   |   |-- Home/               # Componente "Home"
|   |   |   |-- Home.css                # Estilos de "Home"
|   |   |   |-- Home.jsx                # Lógica de "Home"
|   |-- App.jsx                 # Punto de inicio del componente principal
|   |--App.css                  # Estilos globales
|   |-- main.jsx                # Entrada principal de la aplicación
|-- .eslintrc.cjs               # Configuración de ESLint
|--index.html                   # Archivo HTML principal
|-- package.json                # Dependencias y scripts
|--vite.config.js               # Configuración de Vite
|-- RPi.py                      # Archivo para comunicación con hardware (Python)
```

Figura 55: Estructura del proyecto y subcarpetas. Fuente: Elaboración propia.

6.4.3 Componentes del proyecto

El diseño modular separa cada funcionalidad o página en componentes React, asegurando que cada parte del proyecto sea independiente y fácil de gestionar:

- Componente App: Este componente es el contenedor principal de la aplicación. Aquí se configuran las rutas y se integran las vistas(views) principales.
- View Home: Representará la página principal donde se contendrá las funcionalidades iniciales de graficación y proyección. Los estilos vinculados a este componente estarán en el archivo "Home.css", anidado dentro de este componente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Carpeta /assets/: Aquí se almacenarán imágenes, íconos u otros archivos estáticos utilizados en la interfaz gráfica.

6.4.4 Enrutamiento de componentes

Para gestionar la navegación entre diferentes páginas o vistas en la aplicación, se implementó un sistema de rutas utilizando la biblioteca "React Router DOM". Esto permite definir una estructura clara para acceder a distintas secciones de la interfaz, como la vista principal (Home) y la vista Radar.

- Configuración de Rutas en el componente App: El componente App (figura 57) es el núcleo de la aplicación y contiene las rutas principales definidas mediante el componente Routes de react-router-dom. A continuación, se describe su configuración:

```
1   import './App.css'
2   import { Route,Routes } from 'react-router-dom'
3   import Home from './views/Home/Home'
4   import Radar from './views/Radar/Radar'
5   function App() {
6
7     return (
8       <>
9        <Routes>
10        <Route path='/' element={<Home></Home>}></Route>
11        <Route path='/Radar' element={<Radar></Radar>}></Route>
12       </Routes>
13      </>
14    )
15  }
16
17  export default App
```

Figura 56: Componente App y rutas configuradas. Fuente: Elaboración propia.

- Biblioteca React Router DOM: La biblioteca react-router-dom se instaló previamente en el proyecto con "npm install react-router-dom"
- Componente Routes: Envuelve todas las rutas definidas y actúa como un enrutador central para la aplicación. Además, garantiza que solo una ruta se renderice a la vez.
- Componente Route: Define una ruta específica en la aplicación con los siguientes atributos:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- path: Especifica una URL a la que corresponde la ruta.
- element: El componente que se renderiza al visitar la URL especificada.

- Rutas definidas:
  - Vista principal (Home): Será la que se cargue al acceder la interfaz
    - Path: /
    - Componente a renderizar: Home
  - View Radar:
    - Path: /Radar
    - Componente a renderizar: Radar
- Navegación entre rutas: Para permitir que los usuarios naveguen entre distintas rutas, se puede implementar enlaces utilizando el componente "Link" de "react-router-dom" como se muestra en la figura 57, que actuará en forma de botón.

```
import { Link } from 'react-router-dom';

function Navigation() {
  return (
    <nav>
      <ul>
        <li>
          <Link to="/">Home</Link>
        </li>
        <li>
          <Link to="/Radar">Radar</Link>
        </li>
      </ul>
    </nav>
  );
}
```

Figura 57: Uso de componente Link. Fuente: Elaboración propia.

- Ventajas del sistema de enrutamiento:
  - Gestión de rutas centralizada: Todas las rutas están definidas en un solo lugar, lo que facilita la organización y escalabilidad del proyecto.
  - URL Semánticas: El sistema permite asignar URLs significativas para cada vista, mejorando la usabilidad.
  - Navegación Dinámica: Utilizando componentes como Link o redireccionamientos programáticos, los usuarios pueden moverse entre las páginas sin recargar la aplicación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6.4.5 Desarrollo de gráficos

Se implementarán gráficos polares para visualizar el diagrama de radiación de una antena, utilizando la biblioteca "react-plotly.js"

- Gráfico polar (Diagrama de radiación): El propósito de este gráfico es representar la potencia escalada (en decibelios) en función del ángulo de radiación (theta). Para ello se requerirán 2 datos principalmente:
    - Radio(r): Valores de potencia escalados ajustados según la potencia máxima.
    - Theta: Ángulos de radiación (en grados) ordenados de forma ascendente.
- Configuraciones de layout:
    - Radialaxis: Muestra el eje radial con un rango ajustado dinámicamente basado en las potencias mínimas y máximas.
    - Autosize: Asegura que el gráfico sea responsive.
    - Title: Establece un título descriptivo, "Radiation Pattern(Polar Plot)".
- Visualización adicional prevista:
    - Potencia original: Valores sin escalar.
    - Distancias originales: Distancias calculadas entre puntos geográficos y un punto de referencia.
    - Predicciones: Potencias recalculadas(predichas) en función de un deslizamiento de distancia (mediante slider).

6.5 Conversión de coordenadas para aproximación cartesiana

En esta sección se describe el cálculo implementado para determinar la distancia y el ángulo (bearing) entre un origen conocido y un conjunto de puntos geográficos usando coordenadas obtenidas de un archivo CSV. Esta aproximación utiliza fórmulas derivadas de la esfera terrestre, adaptadas mediante simplificaciones basadas en el modelo cartesiano. Los principios y fundamentos en los que se basa este cálculo son los siguientes:

6.5.1 Modelo cartesiano básico

Inicialmente, se podría usar una aproximación cartesiana para calcular distancias entre puntos geográficos asumiendo que la Tierra es plana en pequeñas áreas. Esto implicaría trabajar directamente con las diferencias en latitud y longitud (convertidas a coordenadas cartesianas) para calcular la distancia usando el teorema de Pitágoras. Sin

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

embargo, esta aproximación puede ser inexacta para distancias más grandes, ya que no considera la curvatura de la Tierra. Está definido por:

$$\boldsymbol{d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}$$

Donde x e y se calculan en función de la latitud y longitud, transformadas a un sistema cartesiano simplificado.

6.5.2 Limitaciones del modelo cartesiano

- No se considera la curvatura de la Tierra.
- Introduce errores significativos en distancias mayores a unos pocos kilómetros.
- Es funcional para cálculos locales y preliminares.

6.5.3 Adopción del modelo esférico con fórmula de Haversine

Para superar las limitaciones mencionadas, se utiliza la fórmula de Haversine, que se basa en un modelo esférico de la Tierra. Este enfoque calcula la distancia más corta entre dos puntos sobre la superficie terrestre considerando la curvatura. La fórmula de Haversine se expresa [87]:

$$\boldsymbol{a = \sin^2(\frac{\triangle \phi}{2}) + \cos(\phi_1) * \cos(\phi_2) * \sin^2(\frac{\triangle \lambda}{2})}$$

$$\boldsymbol{c = 2 * arctan2(\sqrt{a}, \sqrt{1 - a}}$$

$$\boldsymbol{d = R * c}$$

Donde:

- $\boldsymbol{\phi_1}$ $\boldsymbol{y}$ $\boldsymbol{\phi_2}$son las latitudes en radianes.
- $\triangle \boldsymbol{\phi}$ es la diferencia en latitud.
- $\triangle \boldsymbol{\lambda}$ es la diferencia en longitud.
- R es el radio de la Tierra (promedio: 6371 km).

En la programación desarrollada, la distancia calculada (entre origen y cada punto) está almacenada en la variable “Base”

6.5.4 Cálculo del ángulo (Bearing)

El Bearing se origina como un concepto en la geodesia y navegación, derivado de la necesidad de definir un rumbo o dirección entre dos puntos en la superficie de la Tierra.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El Bearing surge del análisis de la geometría de la esfera, que modela la Tierra en sistemas de coordenadas geográficas. Cada punto sobre la superficie terrestre puede ser representado por su latitud ($\boldsymbol{\phi}$) y longitud (λ). La dirección o rumbo entre dos puntos depende de la relación angular de sus posiciones en esta superficie curva [88].

Dado que la superficie terrestre es aproximada como una esfera, el camino más corto entre dos puntos está contenido en un círculo máximo, que es la intersección de la esfera con un plano que pasa por su centro. El Bearing inicial es el ángulo entre el norte geográfico y la tangente a este círculo máximo en el punto de origen. En otras palabras, indica la dirección en la que se encuentra el segundo punto (destino) desde el primer punto (origen), tomando como referencia el norte. El Bearing se expresa en grados, donde:

- 0° apunta directamente hacia el norte.
- 90° apunta hacia el este.
- 180° apunta hacia el sur.
- 270° apunta hacia el oeste.

La fórmula del Bearing está dada por:

$$\boldsymbol{Bearing} = \boldsymbol{arctan2}(\mathbf{sin}(\Delta\boldsymbol{\lambda}) * \mathbf{cos}(\boldsymbol{\phi_2}),\ \mathbf{cos}(\boldsymbol{\phi_1}) * \boldsymbol{sin}(\boldsymbol{\phi_2}) - \boldsymbol{sin}(\boldsymbol{\phi_1}) * \mathbf{cos}\,(\boldsymbol{\phi_2}) * \mathbf{cos}\,(\triangle\boldsymbol{\lambda}))$$

Donde:

- $\boldsymbol{\phi_1}, \boldsymbol{\phi_2}$: latitudes del origen y destino, respectivamente, en radianes.
- $\triangle\boldsymbol{\lambda} = \boldsymbol{\lambda_2} - \boldsymbol{\lambda_1}$: diferencia de longitud entre el destino y el origen, en radianes.
- $\boldsymbol{arctan2}(\boldsymbol{y}, \boldsymbol{x})$: función trigonométrica que calcula el ángulo desde las coordenadas cartesianas (x, y) en el rango de -π a π, garantizando un resultado consistente en los cuadrantes.

Posteriormente se normalizará los resultados entre el rango de 0° y 360°:

$$\boldsymbol{Bearing\ normalizado} = \left(\boldsymbol{Bearing} * \frac{\mathbf{180}}{\boldsymbol{\pi}} + \mathbf{360}\right)\%\mathbf{360}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En el código se implementó los cálculos requeridos para obtener el Bearing a partir de la data que contiene latitud y longitud como se muestra en la figura 58.

```
for(let x=0;x<csvDataLong-1;x++){

    let lat2=lat[x] * 3.1415926 / 180;
    let lon2=lon[x] * 3.1415926 / 180;

    let dlon=lon2-lon1;
    let dlat=lat2-lat1;

    let a=Math.sin(dlat/2)*Math.sin(dlat/2)+Math.cos(lon1)*Math.cos(lon2)*Math.sin(dlon/2)*Math.sin(dlon/2);

    let c = 2 * Math.atan2(Math.sqrt(Math.abs(a)), Math.sqrt(1 - a));
    let Base=6371*c*1000;

    let Bearing = Math.atan2(Math.cos(lat1)*Math.sin(lat2)-Math.sin(lat1)*Math.cos(lat2)*Math.cos(lon2-lon1),
    Math.sin(lon2-lon1)*Math.cos(lat2));

    Bearing=((Bearing * 180 / Math.PI + 360) % 360);

    dist[x]=Base;
    ang[x]=Bearing;
```

Figura 58: Aproximación cartesiana (distancia, bearing) implementada. Fuente: Elaboración propia.

6.6 Escalamiento de muestras de potencia

El escalamiento realizado en el código tiene como objetivo ajustar las potencias medidas para normalizarlas como si todas las muestras hubieran sido tomadas a una misma distancia de la fuente emisora (antena pasiva). Este procedimiento permite representar el patrón de radiación de la antena de forma más precisa, eliminando el efecto de la atenuación causada por la variación en la distancia.

6.6.1 Modelo de propagación de Pérdida de Espacio Libre (FSPL)

Este modelo describe la disminución de la potencia de una onda electromagnética a medida que se aleja de la fuente, debido a la dispersión en el espacio libre. Se calcula como [89]:

$$\boldsymbol{FSPL = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(\frac{4\pi}{c})}$$

Donde:

- d: Distancia entre la antena pasiva transmisora y el receptor en metros(m).
- f: Frecuencia de la señal en Hz.
- c: Velocidad de la luz (2.99792458x$\boldsymbol{10^8 m/s}$)

Limitación del modelo de propagación de Pérdida de Espacio Libre (FSPL)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Este modelo asume que el receptor se encuentra en un campo lejano del elemento transmisor de la antena, por lo tanto, para distancias muy cercanas no se puede aplicar este modelo, debido a:

- En el *campo cercano*, donde la distancia de cálculo es pequeña en comparación con la longitud de onda, la fórmula no es válida.
- En estas condiciones, la pérdida calculada podría ser menor a 0 dB, lo cual implica una ganancia de señal que no tiene sentido físico en términos de pérdida de espacio libre, por ende, para estos casos se fija la pérdida de potencia en 0dB.
- El límite de aplicación de la fórmula está dado por:

$$R \leq \frac{\lambda}{4\pi}$$

6.6.2 Modelo de Okumura-Hata

El modelo de propagación de Okumura-Hata es una herramienta que cumple la función de predecir la pérdida de propagación en comunicaciones móviles. Este modelo es una extensión empírica basada en los estudios realizados por Yoshihisa Okumura, con ajustes y simplificaciones realizadas por Masaharu Hata para su aplicación en entornos urbanos, suburbanos y rurales. Se caracteriza por su precisión en frecuencias de radio entre 150 MHz y 1500 MHz, lo que lo convierte en una de las metodologías más confiables en el diseño de sistemas de telecomunicaciones terrestres. El modelo está dado por la fórmula [90]:

$$L = 69.55 + 26.16\log_{10}(f) - 13.82\log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 * \log_{10}(h_b)] * \log_{10}(d)$$

Donde:

- L: Pérdida de propagación en dB.
- f: frecuencia en MHz.
- h_b: Altura efectiva de la antena transmisora en metros.
- h_m: Altura de la antena receptora en metros.
- d: Distancia entre antenas en km
- $a(h_m)$: Factor de corrección para la altura de la antena receptora.

El valor de $a(h_m)$ estará determinado según el caso:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

C. Para ciudades pequeñas o medianas:

$$a(h_m) = (1.1 * \log_{10} f - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10} f - 0.8)$$

D. Para ciudades grandes:

$$Si\ f \leq 300\ MHz, \quad a(h_m) = 8.29(\log_{10}(1.54 * h_m))^2 - 1.1(dB)$$

$$Si\ f \geq 300\ MHz, \quad a(h_m) = 3.2(\log_{10}(11.75 * h_m))^2 - 4.97(dB)$$

Además, se deberá aplicar un factor de corrección si se encuentra en un área:

1. Área suburbana:

$$L_b = L - 2 * \left[log\left(\frac{f}{28}\right)\right]^2 - 5.4$$

2. Área rural/abierta:

$$L_b = L - 4.78 * [log(f)]^2 + 18.33 * log_{10} f - 40.94$$

Limitaciones del modelo de propagación de Okumura-Hata

- Frecuencia: Es rango de operación está limitado por la capacidad del modelo. Valores fuera del rango 150 MHz - 1500 MHz darán resultados inexactos debido a fenómenos en la propagación no considerados en el modelo.
- Distancia entre antenas: La distancia recomendada entre las antenas del emisor y el receptor se encuentra entre los 1 y 20 kilómetros.
- Altura de las antenas: Se tienen limitantes entre los rangos de altura de antena:
  - Antena transmisora: Entre 30 y 200 metros.
  - Antena receptora: Entre 1 y 10 metros.
- Entornos no considerados: El modelo clasifica el entorno como urbano, suburbano o rural, pero no considera variaciones más complejas como:
  - Áreas montañosas o topografía irregular
  - Entornos marítimos o costeros, donde la reflexión del agua es significativa.
  - Entornos forestales densos.
- Condiciones climatológicas: El modelo no incluye efectos metereológicos, como:
  - Absorción por humedad o lluvia, que afecta más a frecuencias altas.
  - Variaciones debido a la temperatura o presión atmosférica.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para el caso de frecuencias menores a 100 MHz se considerará el uso del modelo de Okumura original que tiene los siguientes rangos:

- Frecuencias:

$$\mathbf{100\ MHz \leq f \leq 1920\ MHz}$$

- Distancia entre transmisor y receptor:

$$\mathbf{1\ km\ \leq d \leq 100\ km}$$

- Altura de antena transmisora:

$$\mathbf{30\ m \leq h_t \leq 1000\ m}$$

- Altura de antena receptora:

$$\mathbf{1\ m \leq h_r \leq 10\ m}$$

La expresión matemática será:

$$\boldsymbol{L(dB) = L_{FS}(f,d) + A_{mu}(f,d) - G(h_t) - G(h_r) - G_{AREA}}$$

Donde:

- $\boldsymbol{L_{FS}(f,d) = 32.45 + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d)}$ es la pérdida en espacio libre.
- $\boldsymbol{A_{mu}(f,d) \approx 3.2[log_{10}(d)]^2 + 12.5\ log_{10}(f) - 12,}$ representa (de forma estimada a partir de curvas empíricas) la atenuación media adicional como factor de corrección por entorno.
- $\boldsymbol{G(h_t) = 20log_{10}(\frac{h_T}{200})}$, donde $\boldsymbol{h_T}$ es la altura de la antena transmisora.
- $\boldsymbol{G(h_r) = 20log_{10}(h_R) - 10,}$ donde $\boldsymbol{h_R}$ es la altura de la antena transmisora.
- $\boldsymbol{G_{AREA}}$ tendrá valores aproximados dependiendo del entorno:
  - Área urbana: 0dB
  - Área suburbana: -10dB
  - Área rural: -20dB

6.6.3 Calibración para escalamiento

Para la calibración inicial se realiza:

- Detección de la distancia máxima(maxDistance): Se identifica el punto más lejano registrado entre la antena y las muestras geográficas, y se guarda en la variable “maxDistance”.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Detección de la distancia mínima(minDistance): Se identifica el punto más cercano registrado entre la antena y las muestras geográficas, y se guarda en la variable "minDistance" para validar si es aplicable el modelo de Okumura-Hata.
- Potencia original: Se almacena la lista de potencias medidas directamente desde las muestras, sin modificaciones.

6.6.4 Escalamiento con modelo de propagación de Pérdida de Espacio Libre (FSPL)

Para este modelo de propagación se calculará primero la atenuación producida en cada muestra en base a la distancia entre la antena emisora (receptor SDR) y la antena emisora pasiva mediante:

$$\boldsymbol{FSPL = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(\frac{4\pi}{c})}$$

Una vez obtenido el valor del FSPL por muestra, será adicionado al valor de potencia recibida (muestra), dando así un valor estimado de potencia de emisión en el punto de origen:

$$\boldsymbol{Pot_{origen\_est} = FSPL + Pot_{rx}}$$

A continuación, se le calculará un nuevo valor de atenuación correspondiente a la distancia máxima entre antenas de todas las muestras tomadas (maxDistance), el cual sumado con la Potencia estimada en el origen nos dará un valor escalado para todos los puntos de potencia, los cuales se almacenarán en un array denominado "*listadbscal*".

$$\boldsymbol{Pot_{escalada} = FSPL_{maxDistance} + Pot_{origen\_est}}$$

```
if(selectedModel===0){  // Modelo FSPL
    for (let x = 0; x < csvDataLong-1; x++) {
        if (dist[x] == distmax) {
            listadbscal[x] = pot[x];
            let FSPL=(20*Math.log10(Math.abs(dist[x])))+(20*Math.log10(frequencyLocal*10**6))+(20*Math.log10(4 * Math.PI / c));
            potEstOrigen[x]= pot[x] + FSPL;
        }
        else if(Math.abs(dist[x]) < (c/(frequencyLocal*10**6))/(4 * Math.PI )){  //Distancias cortas no aplica FSPL (sin perdida teórica)
            listadbscal[x] = pot[x];
            let FSPL=(20*Math.log10(Math.abs(dist[x])))+(20*Math.log10(frequencyLocal*10**6))+(20*Math.log10(4 * Math.PI / c));
            potEstOrigen[x]= pot[x] + FSPL;
        }
        else if (dist[x]<distmax) {
            let FSPL=(20*Math.log10(Math.abs(dist[x])))+(20*Math.log10(frequencyLocal*10**6))+(20*Math.log10(4 * Math.PI / c));
            let FSPL2=(20*Math.log10(Math.abs(distmax)))+(20*Math.log10(frequencyLocal*10**6))+(20*Math.log10(4 * Math.PI / c));
            listadbscal[x] =  pot[x]+FSPL-FSPL2;
            potEstOrigen[x]= pot[x] + FSPL;
        }
    }
    setPotTxEstimated(potEstOrigen);
}
```

Figura 59: Modelo FSPL aplicado para escalamiento. Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Los valores almacenados en el array "*listadbscal*" emparejados con los del array "*ang*" permitirán realizar el gráfico polar. En la interfaz estará seleccionado por defecto el modelo de propagación Free Space Path Loss:



Figura 60: Modelo FSPL seleccionado en interfaz. Fuente: Elaboración propia.

6.6.5 Escalamiento con modelo de propagación de Okumura - Hata

Este será segundo modelo seleccionable en la interfaz, solamente se podrá aplicar si sus valores de estimación están dentro de los límites:

- Frecuencia: 150 - 1500 MHz
- Distancia entre antenas: 1 - 20 Km
- Altura de antena transmisora: 30 - 200 metros
- Antena receptora: 1 - 10 metros.

Adicionalmente se deberá verificar la ausencia siguientes condiciones del entorno para no afectar la fidelidad de la estimación del modelo:

- Áreas montañosas o irregulares.
- Entornos marítimos, costeros o de alta humedad.
- Entornos forestales densos.

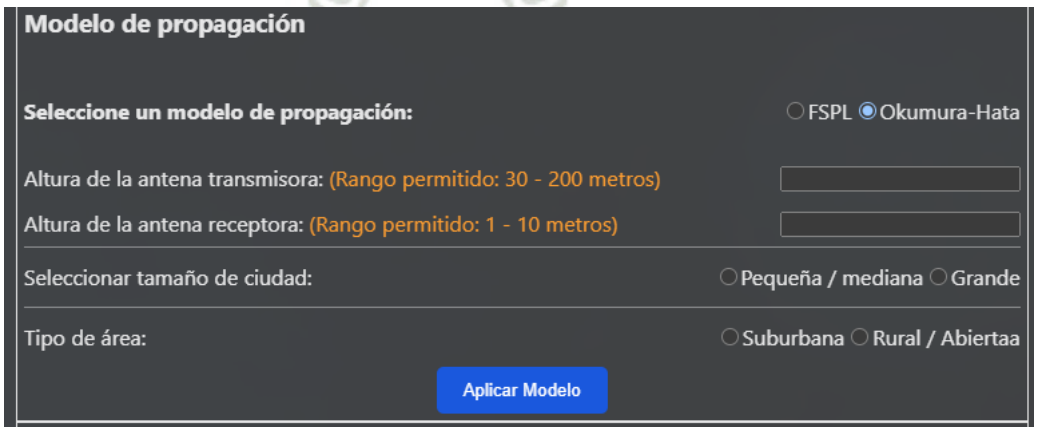


Figura 61: Inputs de datos para Modelo Okumura-Hata. Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Una vez cumplidas las validaciones del modelo, se calculará la atenuación mediante:

$$L = 69.55 + 26.16\log_{10}(f) - 13.82\log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 * \log_{10}(h_b)] * \log_{10}(d)$$

Donde a_{hm} estará en función del tamaño de la ciudad: pequeña/mediana o grande. Además, si se selecciona un área del tipo Suburbana o Rural se aplicará un valor de corrección de potencia adicionalmente denominado *"K"*. De la misma forma que en el modelo de FSPL, se calculará la atenuación "*L"* y se adicionará al valor de potencia de muestra original, para obtener el valor estimado de potencia en el punto de origen (almacenados en el array "*potEstOrigen*") luego se aplicará el escalamiento a todas las muestras de potencia calculando una nueva atenuación en base a la distancia máxima de las muestras.

$$Pot_{escalada} = Atenuación_{\ Okumura-Hata\ maxDistance} + Pot_{origen\_est}$$

```
if(okumuraReady==true){
    for (let x = 0; x < csvDataLong-1; x++) {
        let ahm=0;
        let K=0;                            // Factor de corrección según área
        if(okumuraValueInputs.citySize==1){ // ciudad pequeña,mediana
            ahm=(1.1*Math.log10(frequencyLocal)-0.7)*okumuraValueInputs.rxHeight-(1.56*Math.log10(frequencyLocal)-0.8)
        }else if(okumuraValueInputs.citySize==2){ // ciudad grande
            if(frequencyLocal<=300){
                ahm=8.29*(Math.log10(1.54*okumuraValueInputs.rxHeight))**2 - 1.1     // Menor a 300 MHz
            }
            else if(frequencyLocal>300){
                ahm=3.2*(Math.log10(11.75*okumuraValueInputs.rxHeight))**2 - 4.97    // Mayor a 300 MHz
            }
        }
        if(okumuraValueInputs.areaType!==undefined){
                if(okumuraValueInputs.areaType==1){ //Suburbana
                    K=2*((Math.log10(frequencyLocal/28))**2) + 5.4
                }
                else if(okumuraValueInputs.areaType==2){ //Rural
                    K=4.78*(Math.log10(frequencyLocal))**2 - (18.3*(Math.log10(frequencyLocal))) + 40.94
                }
            }
        if (dist[x] == distmax) {       // Valor máximo, no tendría perdidas
            let L=69.55 + 26.16*Math.log10(frequencyLocal) - 13.82*Math.log10(okumuraValueInputs.txHeight) - ahm +
             (44.9-6.55*Math.log10(okumuraValueInputs.txHeight))*Math.log10(Math.abs(dist[x])/1000);
            listadbscal[x] = pot[x];
            potEstOrigen[x]= pot[x] + (L - K);
        }
        else{
            let L=69.55 + 26.16*Math.log10(frequencyLocal) - 13.82*Math.log10(okumuraValueInputs.txHeight) - ahm +
            (44.9-6.55*Math.log10(okumuraValueInputs.txHeight))*Math.log10(Math.abs(dist[x])/1000);
            let L2=69.55 + 26.16*Math.log10(frequencyLocal) - 13.82*Math.log10(okumuraValueInputs.txHeight) - ahm +
            (44.9-6.55*Math.log10(okumuraValueInputs.txHeight))*Math.log10(Math.abs(distmax)/1000);
            console.log(pot[x],{ahm},{L},{L2},{K})
            listadbscal[x] = pot[x] + (L - K) -(L2 - K);
            potEstOrigen[x]= pot[x] + (L - K);
        }
    }
    setPotTxEstimated(potEstOrigen);
    console.log('Ejecutando okumura con:', okumuraValueInputs)
```

Figura 62: Modelo Okumura-Hata aplicado para escalamiento. Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

6.6.6 Ordenamiento de muestras y valores calculados

Para graficar correctamente las distintas muestras, se implementó un proceso de ordenamiento de datos para organizar las muestras obtenidas y los valores calculados, específicamente en función del ángulo (ang) de forma ascendente. Los arreglos de datos a ordenar y mostrar serán:

- Muestras escaladas: *"listadbscal"*
- *Muestras de potencias originales: "pot"*
- *Muestras de potencia estimadas en el origen:* "*potEstOrigen"*
- Ángulos polares: "ang"
- Distancias de tomas de muestra originales: "listaDbOrig"

Se utilizó el método de ordenamiento basado en la función sort() de JavaScript para ordenar múltiples arreglos en función de un solo criterio: el valor de los ángulos . Este método permite asegurar que, una vez ordenado el arreglo de los ángulos en orden ascendente, los valores correspondientes de los demás arreglos asociados (potencia escalada, estimada y distancias) mantengan la relación con el ángulo ordenado.

Para lograr el ordenamiento, se utilizó la función nativa de JavaScript "sort()", el cual está fundamentado en Tim Sort, un algoritmo híbrido que combina las ventajas del Merge Sort e Insertion Sort, siendo eficiente para conjuntos de datos parcialmente ordenados, como se presenta en los casos de tomas de muestra. Las ventajas de este algoritmo son [91]:

- Eficiencia en datos reales parcialmente ordenados: Dado que las mediciones de los ángulos serán en gran parte secuenciales, es decir en ángulos de progresión natural, se aprovecha esta característica para minimizar el número de operaciones de ordenamiento necesarias, a su vez reduciendo el cálculo computacional.
- Escalabilidad del algoritmo: Tim Sort es estable, lo que significa que mantiene el orden relativo de los elementos con claves iguales. Importante cuando se tienen múltiples valores (de distintos arrays), asociados a un mismo ángulo y se desea preservar su asociación original en arreglos relacionados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- A diferencia de otros algoritmos de ordenamiento que pierden su eficiencia y se degradan en algunos casos, Tim Sort garantiza un rendimiento óptimo en la mayoría de implementaciones prácticas.

```
// Combina los arrays en un solo array de objetos para mantener la relación entre ellos
    const combinedData = ang.map((value, index) => ({
        ang: value,
        dbScal: listadbscal[index],
        dist: dist[index],
        pot: listaDbOrig[index],
        potEst: potEstOrigen[index],
    }));

    // Ordena el array combinado según los valores de `ang`
    combinedData.sort((a, b) => a.ang - b.ang);

    // Separa los arrays ordenados
    const angSorted = combinedData.map(item => item.ang);
    const dbScalSorted = combinedData.map(item => item.dbScal);
    const distSorted = combinedData.map(item => item.dist);
    const potSorted = combinedData.map(item => item.pot);
    const potEstSorted = combinedData.map(item => item.potEst);

    // Actualiza los estados con los valores ordenados
    setTheta(angSorted);
    setPotDbScal(dbScalSorted);
    setDistances(distSorted);
    setDbOriginal(potSorted);
    setPotTxEstimated(potEstSorted);

    // Calcula y establece los valores máximo y mínimo de la potencia escalada
    setMaxPotForScale(Math.max(...dbScalSorted));
    setMinPotForScale(Math.min(...dbScalSorted));
```

Figura 63: Algoritmo de Ordenamiento de arrays. Fuente: Elaboración propia.

6.7 Visualización de datos y resultados en tablas

Para facilitar la interpretación de los datos recopilados, se implementó una tabla que presenta de manera organizada los valores originales, las distancias, los ángulos y otros datos calculados. La distribución de la tabla está definida en una estructura HTML especificada en la Figura 64.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
<div className='tableContainer'>
    <table className='dataTable'>
        <thead>
            <th>Sample</th>
            <th>Theta</th>
            <th>Dist. Original</th>
            <th>Dist. Escalada</th>
            <th>Pot. Medida</th>
            <th>Pot. Estimada en Origen</th>
            <th>Potencia Escalada</th>
            <th>PotPredicted</th>

        </thead>
        <tbody>
            {theta&&theta.map((column,i)=>{
                return(
                <tr>
                    <td>{i}</td>
                    <td>{theta[i]}</td>
                    <td>{distances[i]}</td>
                    <td>{maxDistance}</td>
                    <td>{dbOriginal[i]}</td>
                    <td>{potTxEstimated[i]}</td>
                    <td>{potDbScal[i]}</td>
                    <td>{dbPrediction[i]}</td>
                </tr>
                )
            })}

        </tbody>
    </table>
</div>
```

Figura 64: Estructura de tabla para visualización de datos. Fuente: Elaboración propia.

En la interfaz desarrollada en ReactJs se preparó una tabla (Fig. 65) que contendrá la siguiente información por cada muestra de potencia obtenida:

- Ángulos (Theta)
- Distancia original entre emisor y receptor.
- Distancia escalada a la distancia máxima.
- Potencia original.
- Potencia estimada en origen.
- Potencia escalada.
- Potencia predicha para una distancia determinada por el usuario.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Sample	Theta	Dist. Original	Dist. Escalada	Pot. Medida	Pot. Estimada en Origen	Potencia Escalada	PotPredicted
0	19.351056644262826	1087.3891133154618	2212.8117530297536	10	97.15488292126483	3.828810223386654	10.071296623889822
1	49.89932456367865	1163.5460318564355	2212.8117530297536	15	102.74285469639673	9.416781998518559	15.659268399021727
2	73.04979864831711	1639.6921976710546	2212.8117530297536	25	115.7224299110324	22.396357213154232	28.6388436136574
3	86.66848910138185	1819.5540411406803	2212.8117530297536	50	141.62648248364306	48.300409785764884	54.54289618626805
4	95.1278588464429	1969.7541801189761	2212.8117530297536	80	172.31542392443296	78.98935122655479	85.23183762705796
5	104.56617014204517	2212.8117530297536	2212.8117530297536	100	193.32607269787817	100	106.24248640050317
6	136.3952056616884	1870.4297343614287	2212.8117530297536	150	241.866011266294	148.53993856841583	154.782424968919
7	208.04523615599678	1130.853731525913	2212.8117530297536	70	157.49531201720703	64.16923931932885	70.41172571983202
8	259.4224911467497	1993.7460184259917	2212.8117530297536	40	132.4205799706492	39.09450727277101	45.33699367327418
9	309.2110961807507	1787.1522231376807	2212.8117530297536	25	116.4704142227697	23.14434152489153	29.386827925394698
10	345.7587906979068	1014.9984612331375	2212.8117530297536	10	96.55649098553982	3.2304182876616494	9.472904688164817

Figura 65: Tabla de datos desarrollada en ReactJs. Fuente: Elaboración propia.

6.8 Implementación de predicción de potencia

En esta sección describe el proceso implementado en el código para la predicción de potencia de una señal considerando las pérdidas en el espacio libre (FSPL) y su relación con distancias escaladas. Para obtener los valores de predicción a una distancia elegida por el usuario, se deberá seleccionar el modelo de propagación a aplicarse para la estimación de la atenuación mediante la interfaz (Fig. 66).

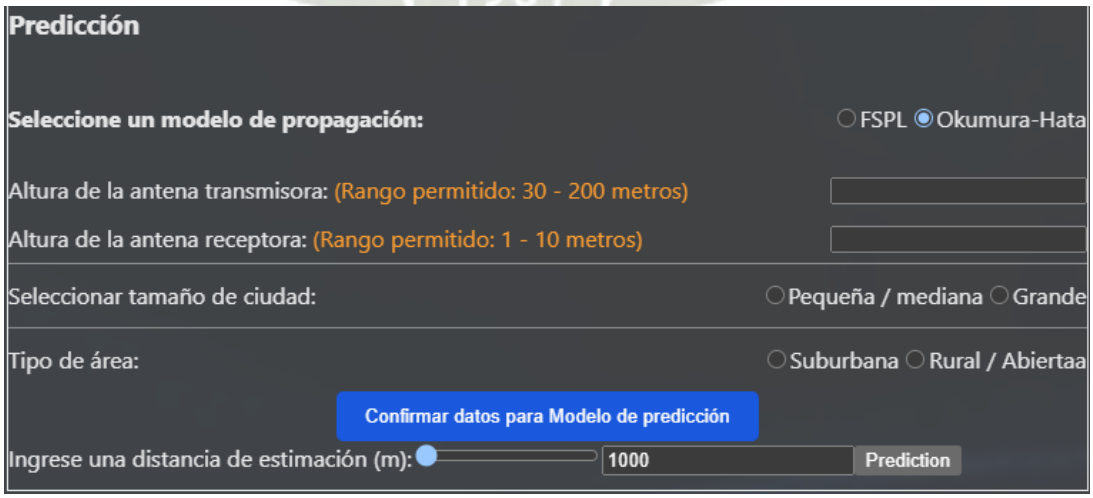


Figura 66: Sección de Predicción de potencia desarrollada. Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6.8.1 Predicción mediante FSPL

Este algoritmo toma en cuenta las relaciones entre la distancia actual de predicción (distPrediction), la distancia máxima medida (maxDistance), y las características físicas de la señal, como su frecuencia.

Variables iniciales:

- Pots: Representa las medidas de potencia en decibelios(db) y escaladas previamente.
- disPrediction: es la distancia para la cual se realizará la predicción (donde 0 sería el origen de la señal).
- maxDistance: es la distancia máxima dentro del rango de las muestras reales.

Constantes:

- Velocidad de la luz (c)
- Frecuencia de la señal (frequency)

Para cada muestra potencia en el conjunto de datos, se evalúa la relación entre *distPrediction* (distancia de predicción objetiva respecto al punto de origen) y *maxDistance* (distancia más grande del conjunto de datos original en la que se basa para el cálculo del patrón de radiación:

- Caso 1: Si la diferencia entre *distPrediction* y *maxDistance* es menor al límite del campo cercano ($\boldsymbol{\lambda/4}$), se detecta que el FSPL no es válido en este rango. En este caso, el cálculo no se realiza, ya que los valores estarían fuera de la validez del modelo, por lo tanto, se entiende que en distancias muy cortas la potencia perdida con la distancia es cercana a 0dB.
- Caso 2: Si *distPrediction* > *maxDistance,* se aplica el modelo de FSPL para calcular la atenuación debido a la mayor distancia y así obtener el valor a estimar.
- Caso 3: Si *distPrediction* < *max Distance,* se interpreta como un escenario inverso, donde la potencia predicha podría incrementarse por la reducción relativa en la distancia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Cálculo de FSPL:

Aplicando la fórmula de FSPL e incluyendo las variables mencionadas, se calcularía mediante:

$$FSPL = 20\log_{10}(|distPrediction - maxDistance|) + 20\log_{10}(frequency) + 20\log_{10}(\frac{4\pi}{c})$$

Resultados:

Las nuevas potencias estimadas se almacenan en un nuevo estado mediante el hook definido (setDbPrediction) para ser utilizadas en análisis posteriores.

6.8.2 Predicción mediante Modelo de Okumura - Hata

En esta sección se aplicará predicción a una distancia seleccionada mediante el modelo de Okumura-Hata. Para que se dé una correcta estimación de los resultados, el algoritmo verifica que la variable "*okumuraReadyPrediction"* sea verdadera antes de proceder con los cálculos, para que esta condición se cumpla, la distancia de predicción, altura de antena transmisora y altura de antena receptora deberán estar dentro de los rangos permitidos por el modelo. A continuación, se seguirán los pasos:

1. Cálculo de $a(h_m)$: Dependiendo del tamaño de la ciudad:
    a. Ciudad pequeña o mediana (citysize==1):

$$a(h_m) = (1.1 * \log_{10}(f) - 0.7) * h_r - (1.56 * \log_{10} f - 0.8)$$

Donde *f* es la frecuencia en MHz y h_r es la altura de la antena receptora.

    b. Ciudad grande (citysize==2).
        i. Para frecuencias menores o iguales a 300 MHz:

$$a(h_m) = 8.29 * (\log_{10}(1.54 * h_r))^2 - 1.1$$

        ii. Para frecuencias mayores a 300 MHz:

$$a(h_m) = 3.2 * (\log_{10}(11.75 * h_r))^2 - 4.97$$

2. Cálculo del factor de corrección K: Según el tipo de área:
    a. Suburbana o rural (areaType = 1):

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$K = 2 * \left(log_{10}\left(\frac{f}{28}\right)\right)^2 + 5.4$$

b. Urbana (areaType = 2):

$$K = 4.78 * \left(log_{10}(f)\right)^2 - 18.3 * log_{10}(f) + 40.94$$

3. Cálculo de pérdida por trayecto L: Se empleará la fórmula de atenuación:

$$L = 69.55 + 26.16$$
$$* \log_{10}(f) - 13.82 * \log_{10}(h_i) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 * \log_{10}(h_t)) * \log_{10}(\frac{d}{1000})$$

Donde h_i es la altura de la antena transmisora, d es la distancia en metros, $a(h_m)$ será el factor de corrección dependiente de la altura de la antena receptora y la frecuencia, K será el factor de corrección según el tipo de área.

4. Ajuste de potencia: La potencia estimada final (pot) se reduce aplicando la fórmula:

$$pot = pot - (L - K)$$

5. Resultado final: El algoritmo retornará un conjunto de valores de potencia ajustados (pots) que serán la estimación de la potencia a una distancia elegida por el usuario, guardadas mediante el hook de estado "*setDbPrediction*" asociado a la variable "*dbPrediction*".

6.9 Generación de patrón de radiación

El análisis de los patrones de radiación se representó gráficamente utilizando un diagrama polar. Será utilizado para visualizar como varían las mediciones de potencia escaladas (listadbscal) en función de los ángulos (ang), que serán empleadas como coordenadas angulares (θ) y los valores de potencia escalados(*listadbscal*) como radios (*r).* Los pasos para realizarlo serán:

1. Creación del objeto de datos para la gráfica: El array *datagraph* tendrá una traza polar con los siguientes parámetros:
    a. *type: 'scatterpolar'*: Especifica un gráfico polar disperso.
    b. *r: listadbscal*: Usa los valores escalados como radios.
    c. *theta: ang:* Usa los ángulos ordenados como coordenadas angulares.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

d. fill: 'toself' Rellena el área bajo la curva.

2. Actualización del estado: La gráfica se actualiza mediante *setData(datagraph)*, que actualiza los valores en el gráfico mediante la librería Plotly de React.
3. Generación de gráfico: Se genera un gráfico polar que muestra la distribución de potencias escaladas(*listadbscal*) en función de los ángulos (*ang*). Permite visualizar como varía la potencia en distintas direcciones angulares.

```
const datagraph = [
    {
        type: 'scatterpolar',
        r: listadbscal,
        theta: ang,
        fill: 'toself'
    }
];
setData(datagraph);
```

Figura 67: Configuración de data para diagrama polar. Fuente: Elaboración propia.

El resultado al graficas las muestras de potencia escaladas en un diagrama polar será como el de la Fig. 68.

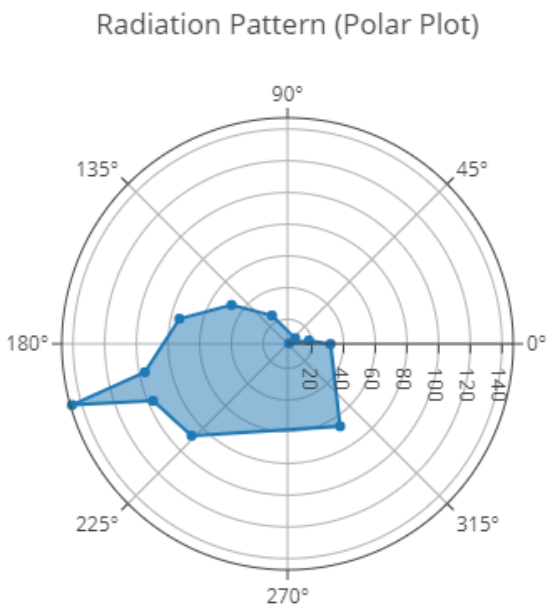


Figura 68: Diagrama de radiación. Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6.10 Interpolación de muestras mediante Spline Cúbico

La interpolación será una función que complementará el proyecto, ya que permite estimar "n" valores intermedios calculados basándose en muestras de datos obtenidas. Dada la naturaleza portátil y el objetivo de poder tomar mediciones en puntos geográficos variados (no necesariamente en el mismo radio respecto al punto de origen), no se contarán con medidas en los ángulos del patrón de radiación.

La interpolación permite construir una proyección continua del patrón de radiación basado en estas muestras discretas. Este enfoque ofrece varias ventajas:

1. Reconstrucción del patrón completo: Los valores interpolados ayudan a conectar las mediciones puntuales, proporcionando un modelo más detallado del patrón de radiación.
2. Optimización del proceso de medición: Al reducir la necesidad de medir en cada posible ángulo, se ahorran tiempo y recursos, sin comprometer la calidad del análisis.
3. Detección de características importantes: La interpolación ayuda a identificar detalles críticos, como lóbulos principales y lóbulos secundarios, que permitirán evaluar el rendimiento de la antena.

Se seleccionó para este propósito el método de interpolación por Spline cúbico debido a su capacidad para ofrecer un balance óptimo entre precisión, suavidad y estabilidad, características esenciales al trabajar con señales de potencia. Este método es especialmente adecuado para modelar datos experimentales debido a las siguientes ventajas y propiedades clave [71]:

1. Continuidad en los puntos de unión: El spline cúbico asegura que tanto las funciones interpoladas como sus primeras y segundas derivadas sean continuas en todos los nodos. Ideal para representar señales de potencia, ya que evita transiciones abruptas o discontinuidades que podrían generar resultados físicamente incoherentes.
2. Transiciones suaves: A diferencia de otros métodos de interpolación como los polinomios de grado elevado, el spline cúbico evita oscilaciones indeseadas entre los puntos de datos. Esto es fundamental en señales de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

potencia, donde la variación debe reflejar fielmente las características reales de la radiación.

3. Adaptabilidad a patrones complejos y/o irregulares: Este método permite modelar adecuadamente señales con comportamientos no lineales o fluctuaciones moderadas, lo que lo hace ideal para capturar la variación en la intensidad de la radiación en distintos ángulos que no son necesariamente equidistantes.
4. Reducción del error en la estimación: Al limitar el cálculo de la interpolación a segmentos locales, el spline cúbico minimiza la propagación de errores, algo especialmente relevante en datos experimentales que podrían estar sujetos a ruido o ligeras inconsistencias.
5. Requerimientos computacionales razonables: A pesar de ser más complejo que otros métodos como la interpolación lineal, el spline cúbico no tiene los altos costos computacionales asociados a interpolaciones globales de polinomios de alto grado. Esto permite un procesamiento eficiente de las muestras de señal de potencia.
6. Proyección completa del patrón de radiación: En este proyecto, donde las muestras de potencia se toman en puntos discretos alrededor de la antena, el spline cúbico permitirá generar una representación continua y coherente del patrón de radiación completo. Será de utilidad para evaluar el desempeño de la antena y visualizar su comportamiento en ángulos donde no se cuenta con datos directos.
7. Preservación de tendencias naturales: Al evitar ajustes excesivamente rígidos o sobreajustes, este método refleja mejor las variaciones reales de la señal de potencia, asegurando que los resultados sean representativos del fenómeno físico.

6.10.1 Implementación en código

El algoritmo desarrollado realiza una interpolación de datos utilizando splines cúbicos con el objetivo de aumentar la resolución de un conjunto de valores angulares (theta) y sus respectivas mediciones vinculadas almacenadas en arrays (*potTxEstimated, potDbScal, dbPrediction, distances, dbOriginal*). El procedimiento consta de los siguientes pasos:

1. Creación del conjunto de puntos interpolados:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Se generará una nueva lista de valores angulares (array *SplineTheta*) mediante interpolación lineal entre cada par de puntos consecutivos en *theta*. Se calcula un valor intermedio "delta" entre cada par de valores del conjunto original, dividiendo la diferencia entre estos dos aumentando la intensidad de datos; finalmente se asegura el último valor de "theta" como elemento final de la lista.

```
for (let i = 0; i < theta.length; i++) {
    if (i != theta.length - 1) {
        let delta = (theta[i + 1] - theta[i]) / (Number(interNumber) + 1);
        splineTheta.push(theta[i]);
        for (let j = 1; j <= interNumber; j++) {
            splineTheta.push(theta[i] + delta * j);
        }
    } else {    // Agregar el último valor de theta
        splineTheta.push(theta[i]);
    }
}
```

Figura 69: Bucle de interpolación. Fuente: Elaboración propia.

2. Cierre de interpolación de datos cíclicos:

   Para asegurar la continuidad en un sistema circular como el diagrama polar (0°-360°), se interpolan valores adicionales entre el último elemento y el primero.

```
// Interpolación entre el último y el primer punto
const lastTheta = theta[theta.length - 1];
const firstTheta = theta[0] + 360; // Asegurar la continuidad circular
let deltaClosing = (firstTheta - lastTheta) / (Number(interNumber) + 1);
for (let j = 1; j <= interNumber; j++) {
    splineTheta.push(lastTheta + deltaClosing * j);
}
```

Figura 70: Interpolación asegurando continuidad cíclica. Fuente: Elaboración propia.

3. Creación de Splines cúbicos:

   Para cada conjunto de datos (arrays) asociados, se generarán funciones de interpolación mediante el comando "cubicSpline", permitiendo obtener funciones en constantes para su evaluación.

```
// Generar splines para cada conjunto de datos
const potenciaOrigenSpline = new cubicSpline([...theta, theta[0] + 360], [...potTxEstimated, potTxEstimated[0]]);
const potenciaDbScalSpline = new cubicSpline([...theta, theta[0] + 360], [...potDbScal, potDbScal[0]]);
const potenciaDbPredictSpline = new cubicSpline([...theta, theta[0] + 360], [...dbPrediction, dbPrediction[0]]);
const distancesOriginalSplice = new cubicSpline([...theta, theta[0] + 360], [...distances, distances[0]]);
const potOriginalSplice = new cubicSpline([...theta, theta[0] + 360], [...dbOriginal, dbOriginal[0]]);
```

Figura 71: Generación de Splines cúbicos. Fuente: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4. Evaluación de los Splines en los nuevos puntos:

   Una vez creadas las funciones de interpolación, se evalúa cada uno de los valores de "splineTheta" (array de ángulos originales complementados con valores intermedios). Gracias a esto se obtiene valores densificados de:

   - potencia escalada (*potDbScal*)
   - estimación/predicción (*dbPredict*)
   - distancias (*distances)*
   - potencia estimada en origen (*potTxEstimated*)
   - potencia muestreada inicial (*dbOriginal*)

   Los arrays resultantes permitirán mostrar en una nueva tabla los datos interpolados y también generar una gráfica de patrón de radiación mejorada debido al enriquecimiento de datos.

```
// Calcular los valores interpolados
for (let i = 0; i < splineTheta.length; i++) {
    interpolatedValues.push(potenciaOrigenSpline.at(splineTheta[i]));
    interpolatedDbScaled.push(potenciaDbScalSpline.at(splineTheta[i]));
    interpolatedDbPredicted.push(potenciaDbPredictSpline.at(splineTheta[i]));
    interpolatedDistances.push(distancesOriginalSplice.at(splineTheta[i]));
    interpolatedPotOriginal.push(potOriginalSplice.at(splineTheta[i]));
}
```

Figura 72: Evaluación de splines. Fuente: Elaboración propia.

6.11 Visualización geoespacial de datos

Para complementar la interpretación de los datos obtenidos, se implementó un sistema de visualización geoespacial que permite proyectar la información en un mapa. Este proceso no fue inmediato, ya que implicó la conversión y adaptación de datos provenientes de sensores en coordenadas geográficas utilizables.

6.11.1 Conversión de datos y procesamiento

Inicialmente, los valores obtenidos (potencia de señal, ángulos de medición y coordenadas) ingresarán como datos independientes al componente modular de mapa

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

implementado. Se realizó una transformación de estos datos, escalando los valores de potencia en dBm a una representación espacial.

Esto implicó normalizar los valores y ajustar su proyección en función de la distancia máxima medida, se utilizó una escala logarítmica para la correcta visualización de valores de potencia sobre el espacio geográfico.

6.11.2 Implementación en el mapa

Para la visualización se empleó React Leaflet, una librería que permite renderizar mapas interactivos. La capa base del mapa se configuró para permitir cambiar entre una vista estándar y una vista satelital, agilizando la interpretación de los datos según el contexto.

Cada punto de medición se representó con un marcador de color, diferenciando entre puntos generados por el modelo y datos reales obtenidos de mediciones de campo. Se añadieron etiquetas emergentes que muestran información relevante cuando el usuario pasa el cursor sobre los puntos. Los datos serán representados en el mapa de la siguiente forma:

- Círculo rojo: Origen geográfico de la señal, antena transmisora.
- Círculos verdes: Puntos donde se tomó cada muestra.
- Círculos azules: Punto de representación de potencia en dBm escalada.

Además, se conectaron los puntos de datos mediante líneas para representar la variación de la señal en diferentes direcciones. Este enfoque permitió plasmar patrones de propagación de la señal y visualizar posibles interferencias o anomalías respecto a objetos presentes en el entorno.

La proyección del patrón de radiación de la antena desarrollada se realizó sobre el mapa geográfico con las siguientes características presentes:

- Centro de radiación (Punto Rojo): Representado como un punto rojo, identifica la ubicación de la antena emisora de señal a muestrear, definida por coordenadas.
- Distribución de puntos de medición (Puntos Verdes): Los puntos verdes distribuidos en el perímetro representan ubicaciones donde se tomaron las capturas de la señal. Muestran la ubicación geográfica y permiten analizar la relación de la potencia de la señal y la interferencia física de obstáculos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Proyección de patrón de radiación estimado (Línea azul y polígono azul): La línea y el polígono de relleno azul conecta los puntos de medición, indicando la propagación de señal, otorgando un estimado de cómo se plasma el patrón de radiación sobre la geografía en referencia a los puntos de captura de señal.

7. Antenas

7.1 Diseño de antenas

Para el diseño de las antenas de este proyecto se requerirá una antena de recepción conectada al SDR mediante conector SMA, así mismo para realizar pruebas controladas, se diseñarán 2 antenas que servirán como transmisoras de señal junto con dispositivos emisores de radiofrecuencia.

7.1.1 Antena receptora

Para el propósito de recepción se escogió una antena omnidireccional telescópica que es capaz de recibir señales de manera uniforme en todas las direcciones en el plano horizontal. Esto significa que su patrón de radiación es isótropo idealizado o cercano a un donut tridimensional en la práctica, entre los motivos de su elección se encuentran:

- Cobertura de 360° en el plano horizontal: Permite captar señales desde cualquier dirección sin necesidad de reorientación, lo que es óptimo para una plataforma portátil en constante movimiento.
- Patrón de radiación uniforme: Asegura la recepción de señales provenientes de distintas fuentes geográficas, reflejando en la medición tal cual como se da la propagación de ondas desde un punto de origen de la señal hacia el entorno real, incluyendo fenómenos como difracción, reflexión y otros.
- Compatibilidad entre distintas frecuencias: Las antenas telescópicas permiten una adaptación flexible a distintas bandas de frecuencia, modificando la longitud de la misma de forma rápida y flexible.
- Simetría en análisis de señal: La uniformidad del patrón de radiación de la antena receptora evitará sesgos en las mediciones que podrías ser causados por direccionalidades, mejorando la confiabilidad de los resultados del análisis.

Las ventajas específicas para el uso de la antena telescópica en el proyecto son las siguientes:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Sintonización precisa: La posibilidad de ajustar la longitud de la antena permite optimizar su desempeño en función de la frecuencia objetivo, maximizando la eficiencia de recepción.
- Portabilidad y Practicidad: El diseño retráctil es ideal para aplicaciones móviles, ya que facilita el transporte y montaje en la plataforma.
- Versatilidad de Aplicación: Una antena telescópica puede cubrir múltiples bandas de frecuencia, al igual que los sistemas SDR, donde las frecuencias de interés pueden variar según la aplicación mediante ajustes rápidos.

Una antena omnidireccional telescópica funciona como un radiador vertical que está diseñado para transmitir y recibir señales en un rango de frecuencias específico. El fundamento para dimensionar esta antena está en determinar su longitud eléctrica, que depende de la frecuencia central (f) del rango operativo deseado. Teniendo en cuenta que la longitud de onda se obtiene mediante [28]:

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{c}{f}}$$

Donde:

- $\boldsymbol{\lambda}$ es la longitud de onda en metros.
- $\boldsymbol{c}$ es la velocidad de la luz en el vacío ($\boldsymbol{2.99792x10^8\ m/s}$)
- $\boldsymbol{f}$ es la frecuencia de operación en Hz

Para el cálculo de la longitud se diseña como una antena de cuarto de onda para optimizar resonancia y eficiencia. Esto implica que la longitud física de la antena ($\boldsymbol{L}$) esta determinada de la siguiente forma:

$$\boldsymbol{L = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f}}$$

Por otro lado, el material del cual está construida la antena, puede generar efectos de capacitancia e inductancia, por lo tanto, se utiliza un factor de velocidad $(\boldsymbol{v_f})$ como factor de ajuste:

$$\boldsymbol{L = \frac{v_f * c}{4f}}$$

El aluminio es el material seleccionado para la construcción de la antena debido a su combinación de propiedades óptimas para sistemas de radiocomunicación:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1. Alta conductividad eléctrica: Tiene una conductividad del 61% con respecto al cobre, lo que lo convierte en un excelente conductor de señales electromagnéticas.
2. Ligereza: Su baja densidad facilita su uso en sistemas móviles como el del proyecto.
3. Resistencia a la corrosión: Es resistente al óxido, lo que garantiza una vida útil prolongada incluso en condiciones ambientales adversas sin que se modifiquen sus propiedades físicas.
4. Costo: Es más económico que otros materiales conductores como el cobre.
5. Disponibilidad: Variedad de modelos disponibles en el mercado.

Para el aluminio, el factor de velocidad es típicamente cercano a $\boldsymbol{v_f \approx 0.95}$ [48], lo que representa una ligera reducción en la velocidad de propagación debido a las características del material.

Por ejemplo, para el cálculo de longitud para la frecuencia de 430 MHz, se realizará de la siguiente forma:

1. Cálculo de longitud de onda:

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{2.998x10^8}{430x10^6} = 0.6984\ m}$$

2. Determinar la longitud de la antena para cuarto de onda (L):

$$\boldsymbol{L = \frac{\lambda}{4} = 0.17425\ m}$$

3. Ajustar la longitud con el factor de velocidad ($\boldsymbol{v_f}$):

$$\boldsymbol{L_{ajustada} = v_f * L}$$

$$\boldsymbol{L_{ajustada} = 0.95 * 0.17425 = 0.16554\ m = 165.59\ mm}$$

4. Resultado teórico: Para este caso, se deberá ajustar inicialmente el largo físico de la antena a 16.54 cm.

5. Ajuste final: Para el dimensionamiento físico posteriormente aplicado el largo teórico, se deberá de usar algún instrumento complementario para

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

asegurar la resonancia puntual de la antena, por ejemplo, un analizador de espectros o un medidor de VSWR. Una vez observado el resultado, se deberá realizar el ajuste fino de la longitud para optimizar el rendimiento.

7.1.2 Antena transmisora Dipolo

Una antena dipolo es una de las configuraciones más frecuentemente implementadas en telecomunicaciones debido a su eficacia y campos de uso. Es una antena resonante compuesta por dos elementos conductores con la misma longitud, ubicados colinealmente, separados por un espacio mínimo. Empleadas tanto para transmisión como para recepción de señales en un extenso rango de frecuencias.

Para el diseño de un dipolo adaptado a 430 MHz dentro de la banda UHF, se considerarán aspectos como la longitud total del dipolo, las propiedades del material conductor (en este caso, aluminio), y las características:

- Longitud resonante: Un dipolo está diseñado para ser resonante con la frecuencia de trabajo cuando la longitud total es igual a la mitad de la longitud de onda de la señal objetivo ($\boldsymbol{\lambda/2}$).
- Patrón de radiación: Será del tipo omnidireccional respecto al plano perpendicular a sus elementos.
- Impedancia característica: la impedancia teórica del dipolo en espacio libre es de aproximadamente 73Ω. [49]
- Material de construcción (Aluminio): Permite transmisión eficiente con bajas pérdidas, peso ligero, estabilidad estructural, resistente a la corrosión en ambientes externos.

Para los cálculos matemáticos del diseño se tendrá:

- Cálculo de la longitud de onda:

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{2.998x10^8}{430x10^6} = 0.6972\ m}$$

- Longitud total del dipolo:

$$\boldsymbol{L = \frac{\lambda}{2} = 0.3486\ m}$$

- Corrección por factor de velocidad: Teniendo el valor típico aproximado de 0.95 para el aluminio, se aplicará al cálculo:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$L_{ajustado} = L * v_f$$

$$L_{ajustado} = 34.86 * 0.95 = 33.117cm$$

Por lo tanto, cada brazo del dipolo tendrá una longitud ajustada de:

$$L_{brazo} = \frac{33.117}{2} = 16.558\ cm$$

- Separación entre brazos del dipolo: La separación debe tener un valor entre 0.01 $\boldsymbol{\lambda}$ y 0.05$\boldsymbol{\lambda}$ posteriormente se realizará un ajuste fino en el montaje de la antena, además se aplicará la corrección por factor de velocidad:

$$Separación_{min} = \lambda * 0.01 * 0.95 = 6.623\ mm$$

$$Separación_{max} = \lambda * 0.05 * 0.95 = 33.117\ mm$$

$$Rango_{Separación} = 6.623 - 33.117\ mm$$

7.1.3 Antena transmisora Yagi - Uda

Es una antena de tipo direccional empleada en aplicaciones de comunicaciones debido a su alta ganancia y su capacidad para enfocar la radiación en una dirección específica. Los componentes de la antena serán los siguientes [92]:

- Reflector: Cumple la función de elemento pasivo colocado detrás del elemento excitado (dipolo activo). Su función es reflejar las ondas electromagnéticas hacia el dipolo, propiciando la directividad.
- Dipolo activo: Es el único elemento del conjunto, que será alimentado eléctricamente. Es un dipolo de media onda ($\boldsymbol{\lambda/2}$), que emitirá la señal.
- Directores: Son elementos pasivos colocados frente al dipolo excitado, en el lado opuesto al reflector. Permiten enfocar la radiación en una dirección específica, aumentando la ganancia mediante un efecto capacitivo que atrae la potencia irradiada en esta dirección.

Las propiedades fundamentales para el presente diseño serán:

- Frecuencia de diseño ($\boldsymbol{f_0}$): La frecuencia central será de 430 Mhz, se optimizará en torno a este valor.
- Ganancia: Representa el aumento de potencia en la dirección deseada. Puede variar dependiendo del número de directores.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Impedancia característica: La impedancia de entrada del dipolo activo será idealmente cercana a 50 Ω.
- Relación de onda estacionarias (SWR o Standing Wave Radio): parámetro que mide la eficiencia con la que la potencia de radiofrecuencia se transfiere desde un transmisor hasta la carga, generalmente una antena. Es un indicador significativo en sistemas de transmisión y recepción, ya que refleja la cantidad de energía que es reflejada de vuelta hacia el transmisor debido a una desadaptación de impedancia; se expresa como:

$$\boldsymbol{SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}}$$

Donde $\boldsymbol{|\Gamma|}$ es el coeficiente de reflexión, definido como:

$$\boldsymbol{|\Gamma| = \frac{|Z_L - Z_0|}{|ZL + Z_0|}}$$

  - $\boldsymbol{Z_L}$: Impedancia de la carga (antena).
  - $\boldsymbol{Z_0}$: Impedancia característica de la línea de transmisión.

Para una condición ideal el SWR será de 1, se requiere que $\boldsymbol{Z_L = Z_0}$, en este caso no habrá reflexión de potencia hacia el transmisor, es decir toda la potencia es transmitida e irradiada por la antena [93].

Los cálculos matemáticos para el diseño de la antena Yagi – Uda de 430 MHz son los siguientes:

- Cálculo de la longitud de onda:

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{2.998x10^8}{430x10^6} = 0.6972\ m}$$

- Longitud total del dipolo activo:

$$\boldsymbol{L_{dipolo} = \frac{\lambda}{2} = 0.3486\ m}$$

- Corrección por el factor de velocidad con material de aluminio:

$$\boldsymbol{L_{dipolo} = 34.86 * 0.95 = 33.117cm}$$

- Reflector: Será ligeramente más largo que el dipolo activo, con un incremento típico del 5% de su longitud:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$L_{reflector} = 1.05 * L_{dipolo}$$

$$L_{reflector} = 1.05 * 0.3317 = 0.348285\ m$$

- Directores: Cada director será de una longitud entre 5-10% más corto que el dipolo [50]. Para el caso de tres directores:
  - Primer director:

$$L_{director1} = L_{dipolo} * 0.95$$

$$L_{director1} = 0.3317 * 0.95 = 0.315115\ m$$

  - Segundo director:

$$L_{director2} = L_{dipolo} * 0.92$$

$$L_{director1} = 0.3317 * 0.92 = 0.305164\ m$$

  - Tercer director:

$$L_{director3} = L_{dipolo} * 0.9$$

$$L_{director1} = 0.3317 * 0.9 = 0.29853\ m$$

- Espaciado entre elementos:
  - Espaciado entre dipolo y reflector: Se tiene un rango recomendado entre 0.2 a 0.25 longitudes de onda:

$$Espaciado_{min} = 0.2 * 0.6972/0.95 \approx 0.14676\ m$$

$$Espaciado_{max} = 0.25 * 0.6972/0.95 \approx 0.18345\ m$$

  - Espaciado entre dipolo y primer director: Espaciado recomendado entre 0.15 a 0.2 longitudes de onda:

$$Espaciado_{min} = 0.15 * 0.6972/0.95 \approx 0.11007\ m$$

$$Espaciado_{max} = 0.2 * 0.6972/0.95 \approx 0.14676\ m$$

  - Espaciado entre directores: Espaciado recomendado entre 0.1 a 0.15 longitudes de onda:

$$Espaciado_{min} = 0.1 * 0.6972/0.95 \approx 0.07338\ m$$

$$Espaciado_{max} = 0.15 * 0.6972/0.95 \approx 0.11007\ m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

7.2 Simulación de antenas

Las antenas con objetivo de sintonización en 430 Mhz fueron recreada en un entorno virtual mediante software de simulación electromagnética especializada. Este proceso permitió la creación de un modelo detallado y preciso de cada antena, incluyendo las dimensiones calculadas en el diseño de la antena como los brazos, el diámetro del conductor y separación entre los elementos. La simulación proporciona una visualización clara de la geometría de la antena, facilitando el análisis de su comportamiento, mientras se realizaban ajustes del modelo para afinar los parámetros de transmisión de la antena.

La creación del modelo 3D y su simulación permitió identificar posibles problemas de diseño o fabricación que podrían afectar el desempeño de la antena. Al simular diferentes condiciones, se pudo evaluar la estabilidad, consistencia y eficiencia de los cálculos teóricos realizados en la etapa de diseño, para optimizar la construcción final de las antenas reales.

7.2.1 Antena Dipolo 430 MHz

Modelado tridimensional:

Se desarrolló el modelo de la antena dipolo con material Aluminio (Fig. 36), con diámetro de 10mm. Así mismo se modelo el balum, para simular la adaptación de impedancias. Las medidas aplicadas como base para el modelo son las calculadas en la sección 4.2.1.1:

- Longitud total del dipolo:

$$\boldsymbol{L = 0.3486\ m}$$

- Corrección por factor de velocidad:

$$\boldsymbol{L_{ajustado} = 33.117cm}$$

Por lo tanto, cada brazo del dipolo tendrá una longitud ajustada de:

$$\boldsymbol{L_{brazo} = 16.558\ cm}$$

- Separación entre brazos del dipolo:

$$\boldsymbol{Rango_{Separación} = 6.623 - 17.43\ mm}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

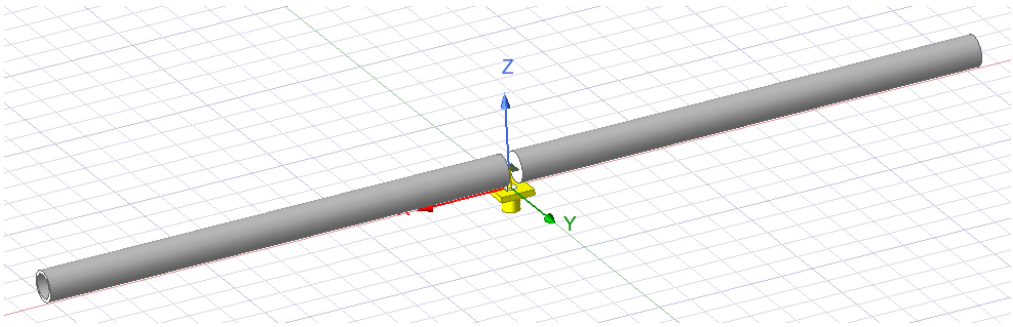


Figura 73: Antena dipolo modelado en 3 dimensiones. Fuente: Elaboración propia

Con estas medidas se construyó el diseño inicial de la antena, posteriormente se fue realizando correcciones en las longitudes y rangos de separación para una optimización de los parámetros resultantes de la antena.

Parámetro S11:

El parámetro que representa la reflexión de la antena, fue calculado para determinar la capacidad de hacer match con la línea de transmisión. La simulación realizada reveló que el valor de S11 en la frecuencia de operación de 430 MHz, es de -17.35 dB (Fig.74), lo cual refleja una excelente impedancia y baja reflexión, permitiendo transmitir señales de manera eficiente, minimizando pérdidas y garantizando una comunicación confiable y estable.

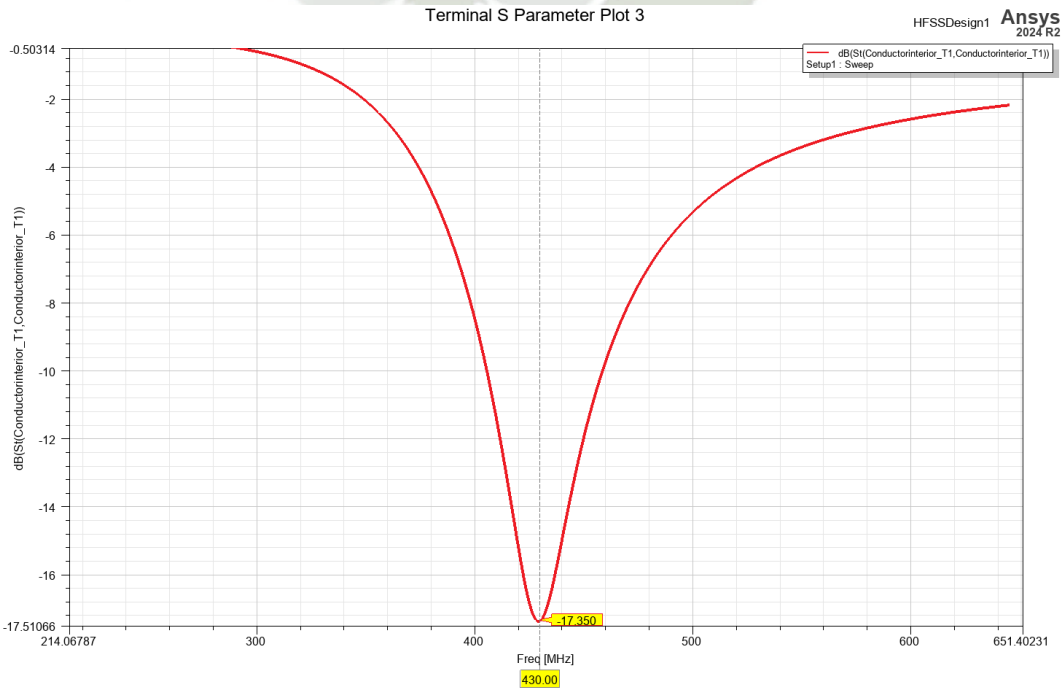


Figura 74: Parámetro S11 de antena dipolo simulada. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Parámetro VSWR (Voltage Standing Wave Radio):

El parámetro VSWR fue calculado para evaluar la relación entre la impedancia de la antena y la línea de transmisión. Un VSWR con valor bajo indica una adaptación eficiente entre la antena y la línea de transmisión, fundamental para garantizar una transmisión eficiente y minimizar la pérdida de potencia antes de ser irradiada, así mismo reducir la energía reflejada de vuelta a la línea de transmisión. La simulación realizada dio como resultado un valor de 1.18 para la frecuencia sintonizada de 430 MHz, indicando un alto valor de adaptación de impedancias, así como de baja reflexión.

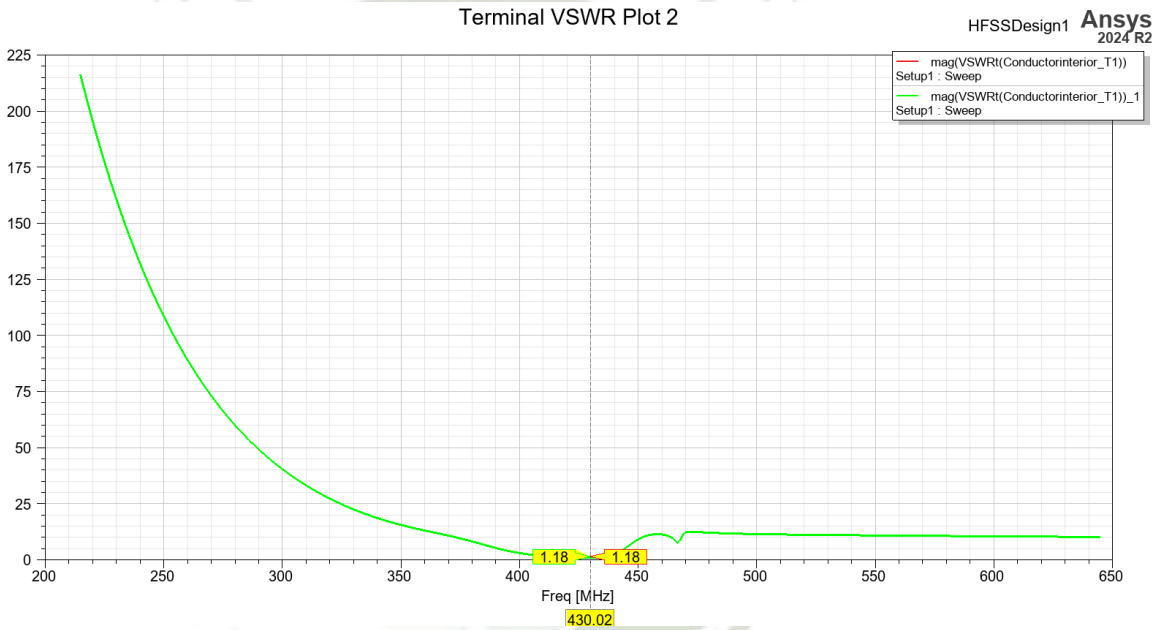


Figura 75: Parámetro VSWR de antena dipolo simulada. Fuente: Elaboración propia

Patrón de radiación bidimensional:

Se realizó una simulación del patrón de radiación de la antena dipolo con el objetivo de analizar la distribución de la potencia radiada en el plano horizontal. Los resultados muestran un patrón de radiación simétrico respecto al eje de la antena en el plano azimutal. Se observó que la ganancia es máxima en los planos perpendiculares al eje de los brazos del dipolo, mientras que en la dirección axial la radiación es mínima, confirmando el comportamiento clásico de este tipo de antena.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

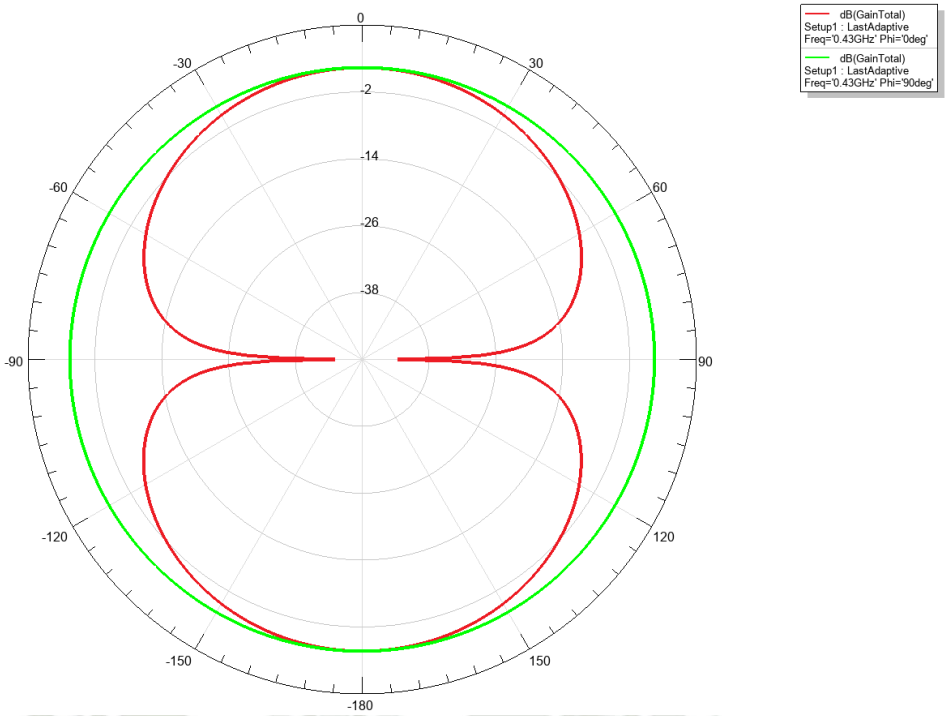


Figura 76. Patrón de radiación de antena dipolo simulada. Fuente: Elaboración propia

Patrón de radiación tridimensional:

El patrón de radiación tridimensional de la antena dipolo proporciona una visualización de la distribución de potencia radiada en el espacio. La simulación muestra una estructura simétrica con respecto al eje de la antena, a su vez se extiende sobre el largo de la dirección de la corriente eléctrica, generando una forma toroidal, por lo tanto, la máxima magnitud de ganancia estará en la dirección perpendicular al eje de la antena. El patrón de radiación también presentará nulos en la dirección del eje de la antena, es decir no habrá radiación en la dirección del flujo de la corriente eléctrica. El ancho de haz de la antena dipolo es relativamente amplio, por lo que la antena podrá irradiar energía en un rango de ángulos significativo. La magnitud del campo radiado disminuye progresivamente a medida que se aleja de los planos de máxima radiación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

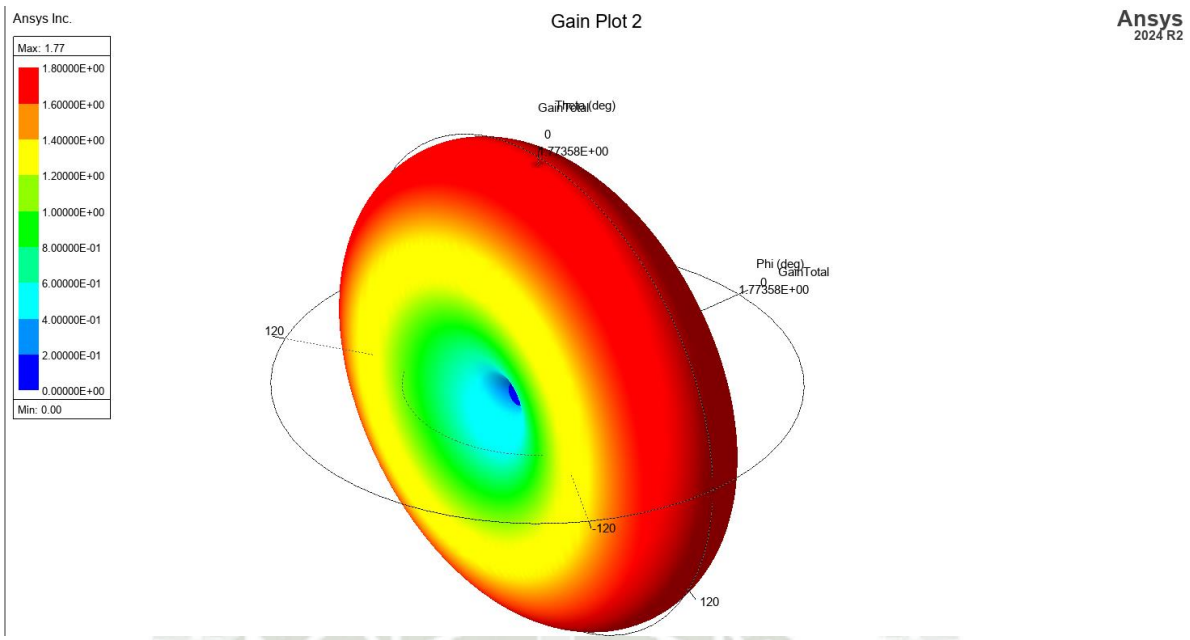


Figura 77: Patrón de radiación tridimensional de antena dipolo simulada. Fuente: Elaboración propia

7.2.2 Antena Yagi - Uda 430 MHz

Modelo tridimensional:

En este capítulo se detalla el diseño y ensamblaje de una antena Yagi-Uda sintonizada a 430 MHz. Se realizaron ajustes en la separación y longitud de los elementos para optimizar el rendimiento en la banda de interés, minimizando pérdidas por desadaptación y mejorando la eficiencia de radiación. Las dimensiones base para el modelado de la antena Yagi – Uda de 430 MHz son los siguientes:

- Longitud total del dipolo activo:

$$L_{dipolo} = \frac{\lambda}{2} = 0.3369\ m$$

- Reflector:

$$L_{reflector} = 0.3852\ m$$

- Directores:
  - Primer director:

$$L_{director1} = 0.3486\ m$$

  - Segundo director:

$$L_{director1} = 0.3376\ m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Tercer director:

$$L_{director1} = 0.3303\ m$$

- Espaciado entre elementos:
  - Espaciado entre dipolo y reflector:

$$Espaciado_{min} \approx 0.14676\ m$$

$$Espaciado_{max} \approx 0.18345\ m$$

  - Espaciado entre dipolo y primer director:

$$Espaciado_{min} \approx 0.11007\ m$$

$$Espaciado_{max} \approx 0.14676\ m$$

  - Espaciado entre directores:

$$Espaciado_{min} \approx 0.07338\ m$$

$$Espaciado_{max} \approx 0.11007\ m$$

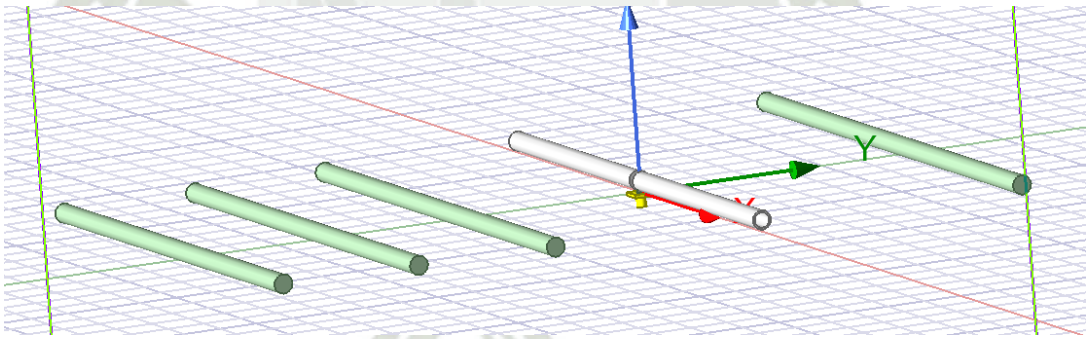


Figura 78: Antena Yagi - Uda modelada. Fuente: Elaboración propia

Parámetro S11:

La respuesta en frecuencia obtenida a partir del análisis del parámetro S11 muestra el comportamiento de la antena en términos de adaptación de impedancia y eficiencia en la transmisión de energía. Se observa que la curva presenta un punto de mínima reflexión en 430.1 MHz, con un valor de -21.805 dB, lo que indica que la impedancia de la antena en esta frecuencia está bien ajustada a la de la línea de transmisión.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

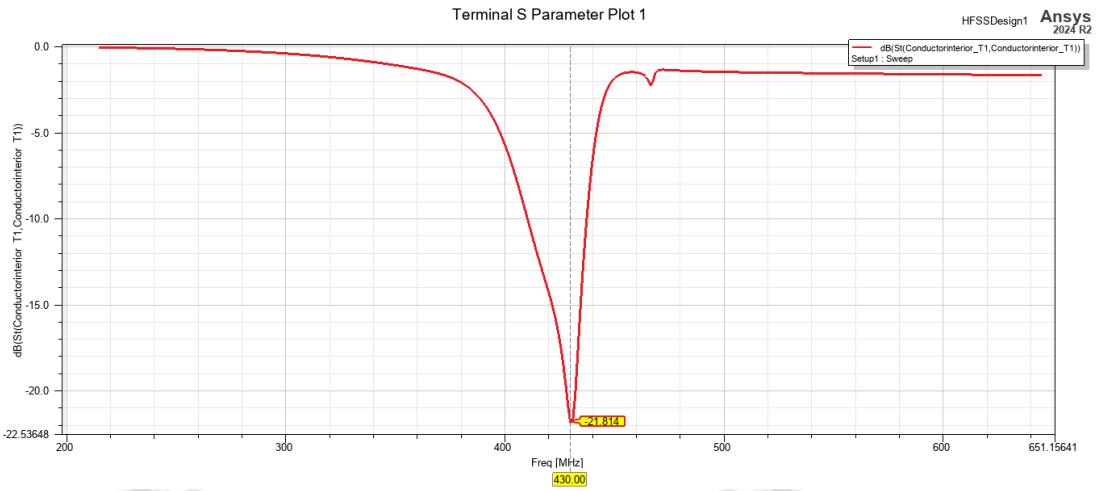


Figura 79. Parámetro S11 de Antena Yagi - Uda modelada. Fuente: Elaboración propia

El resultado indica que la cantidad de potencia reflejada en esta frecuencia es extremadamente baja, lo que implica que la mayor parte de la energía entregada a la antena es irradiada al espacio en lugar de ser reflejada de vuelta hacia la fuente. Como referencia, un valor de S11 menor a -10 dB indica que menos del 10% de la señal es reflejada y más del 90% es transferida de manera efectiva. En este caso, con -21.805 dB, la proporción de energía reflejada es muy baja, lo que confirma un excelente acoplamiento de impedancia.

Este comportamiento es necesario evaluarlo en aplicaciones donde se requiere minimizar pérdidas y maximizar la eficiencia de radiación.

VSWR:

Para la antena Yagi-Uda en cuestión, se ha obtenido una medición del VSWR con un valor mínimo de 1.41 en la frecuencia de 430 MHz, lo que indica una buena adaptación de impedancia. Esto significa que la potencia reflejada es reducida y que la mayor parte de la energía de RF es transferida eficientemente desde la línea de alimentación hacia la antena, minimizando las pérdidas por reflexión. Un VSWR de 1.41 implica que aproximadamente el 4% de la potencia incidente es reflejada, mientras que el 96% es irradiado, asegurando un desempeño eficiente en la transmisión y recepción de señales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

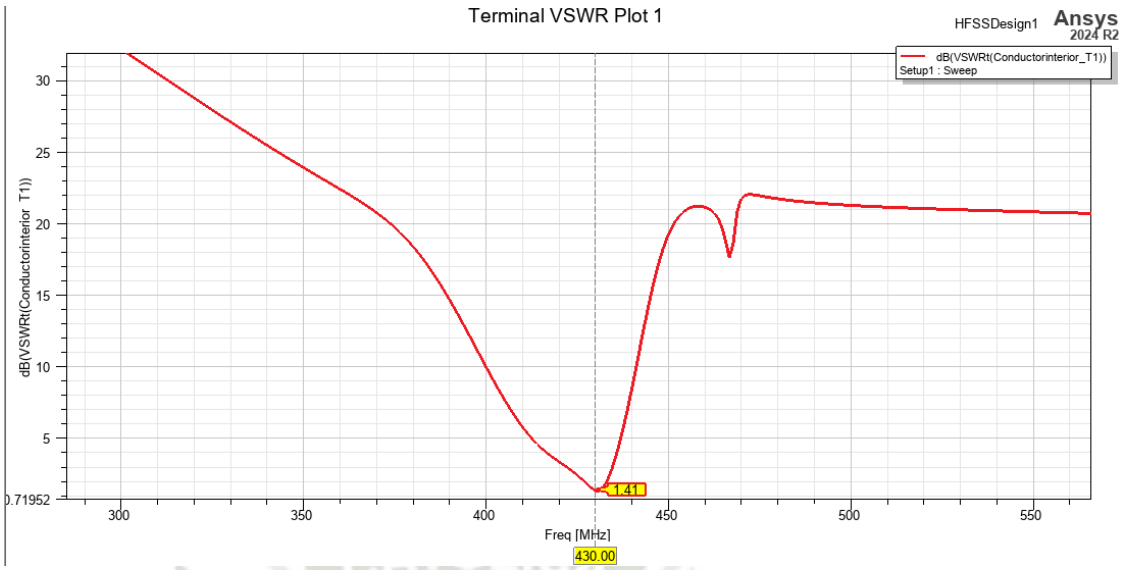


Figura 80: Gráfico VSWR de antena Yagi-Uda simulada. Fuente: Elaboración propia

Patrón de radiación bidimensional:

A continuación, se presenta el patrón de radiación en dB obtenido mediante simulación (Fig. 81), donde se ilustran los niveles de ganancia en el plano azimutal:

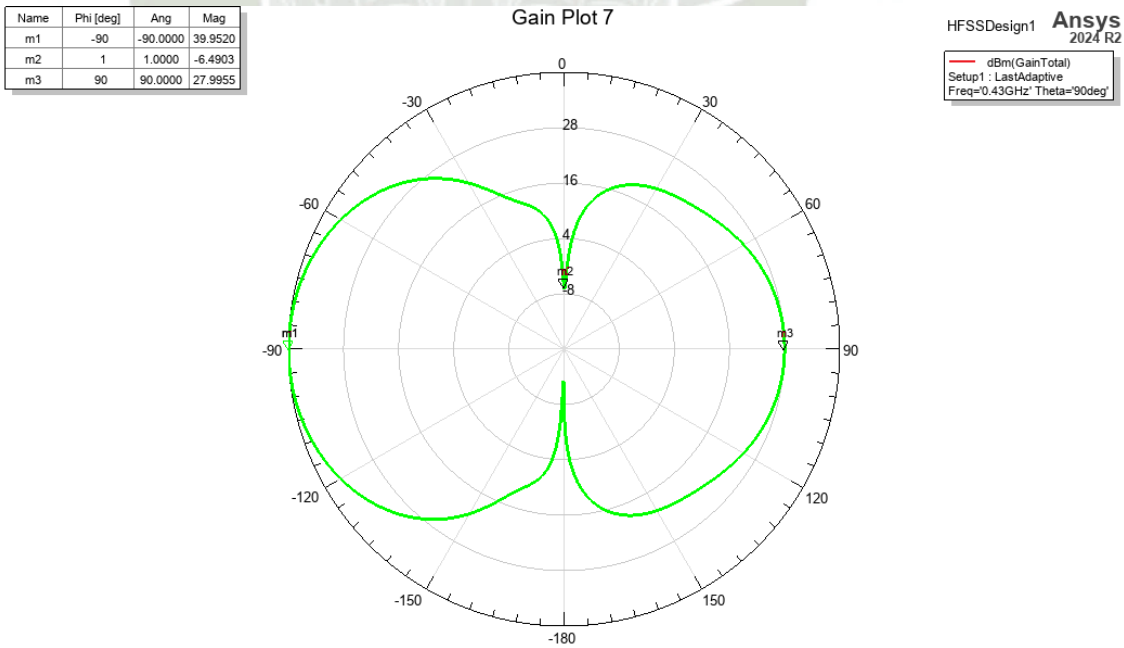


Figura 81: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda simulada en escala de dB. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El gráfico muestra el patrón de radiación en escala dBm de una antena Yagi-Uda, representado en el plano de corte:

- Plano azimutal (Phi = 0°), curva roja: Exhibe un lóbulo principal bien definido con un valor máximo de ganancia cercano a 39.9520, lo que indica una alta directividad en la dirección de propagación deseada, y un valor de 27.9955 en la dirección opuesta al lóbulo principal. Además, se observan lóbulos laterales reducidos con un valor mínimo en -6.0623, mostrando una buena relación frente-espalda y un diseño optimizado para minimizar la radiación en direcciones no deseadas.

Se puede notar que la antena genera un patrón característico con una concentración de energía en la dirección de propagación principal, minimizando radiación en el eje opuesto y mostrando una disminución progresiva de la potencia en ángulos alejados del eje de máxima radiación. Esto sugiere que el diseño y la configuración de los elementos directores y reflectores han sido optimizados para enfocar la radiación en la dirección deseada, siendo ideal para aplicaciones en comunicaciones y radiofrecuencia donde la eficiencia y el alcance de la señal son necesarios. Se puede apreciar la alta directividad cuando se cambia de escala en dB a escala en magnitud para el gráfico. (Fig. 82)

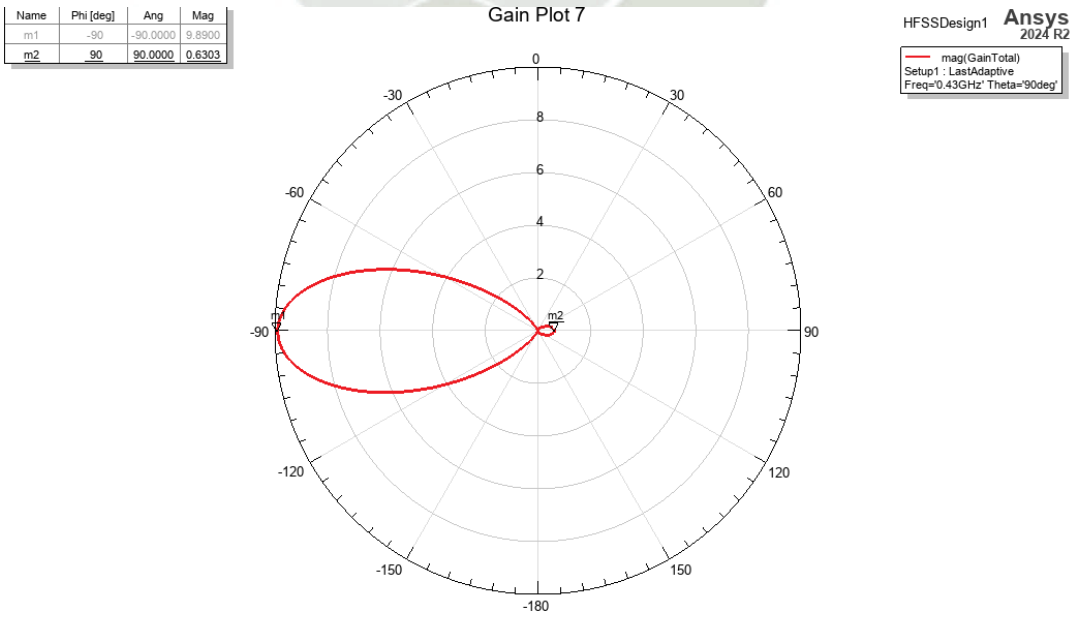


Figura 82: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda simulada en escala de magnitud. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Patrón de radiación tridimensional:

La figura (Fig. 83) exhibe una estructura típica de directividad elevada, característica de este tipo de antena, con un lóbulo principal definido que se orienta en la dirección de máxima radiación.

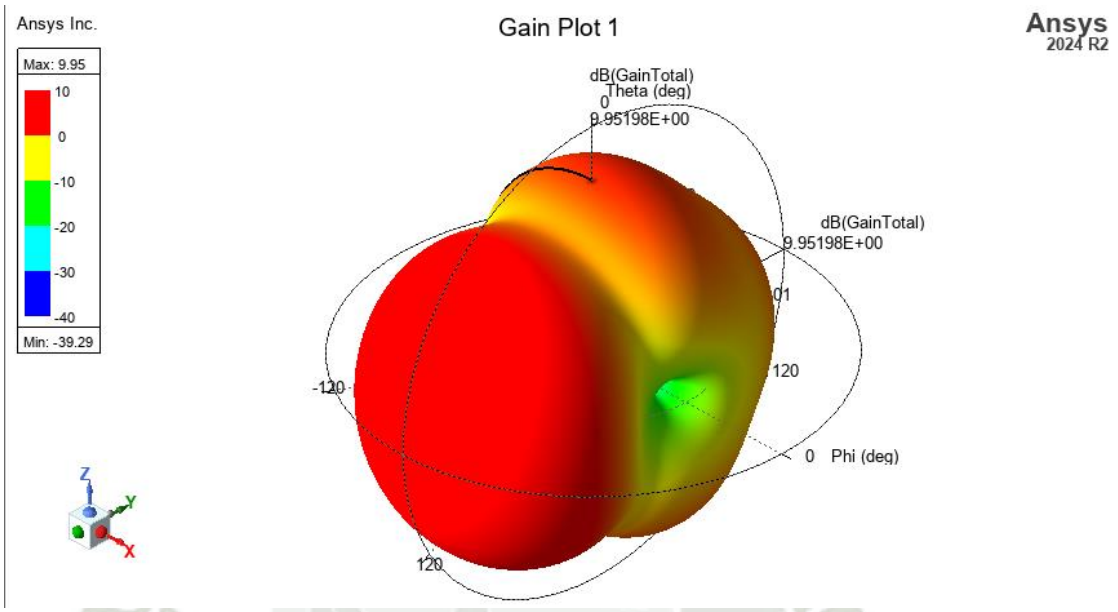


Figura 83: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda simulada en dB. Fuente: Elaboración propia

Además, el patrón tridimensional revela la presencia de lóbulos secundarios con menor amplitud, los cuales se encuentran en direcciones distintas al eje principal de radiación. Sin embargo, estos lóbulos laterales y traseros están atenuados en comparación con el lóbulo frontal, evidenciando la alta relación frente-espalda que caracteriza a esta antena.

El comportamiento del patrón de radiación también muestra un pequeño mínimo en la región posterior, lo que sugiere que la antena presenta una baja emisión en la dirección opuesta al lóbulo principal. De igual forma que en el patrón bidimensional, si se convierte a escala de magnitud se podrá ver con mayor acentuación los diferentes lóbulos y su alta directividad (Fig.84).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

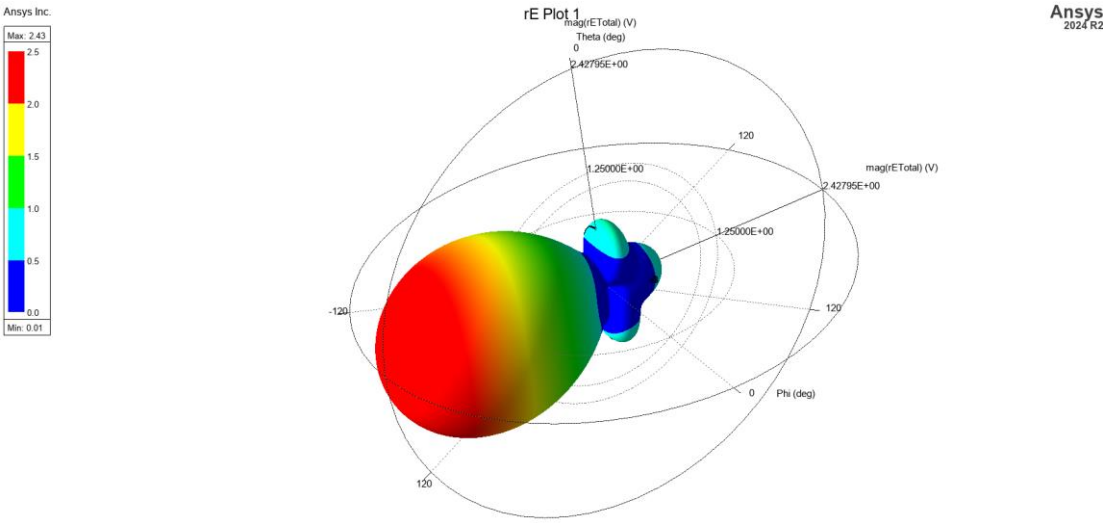


Figura 84: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda simulada en escala de magnitud. Fuente: Elaboración propia

7.3 Implementación de antenas

En este capítulo se detallará el proceso de construcción física de las antenas diseñadas y simuladas previamente. En etapas anteriores, se calcularon los elementos y longitudes de una antena Yagi-Uda y una antena dipolo, considerando los parámetros teóricos necesarios para su correcto funcionamiento a una frecuencia de 430 MHz para ambos casos.

Posteriormente, se realizaron simulaciones para evaluar sus características de radiación y eficiencia. A partir de estos resultados, se llevó a cabo la fabricación y ensamblaje de cada antena, asegurando que sus dimensiones y materiales cumplieran con los requisitos establecidos en el diseño.

El material elegido para la construcción de las antenas es el aluminio, el cuál posee una conductividad relativamente alta, aproximadamente (61% de la conductividad del cobre), lo que permite una adecuada transmisión de la corriente de radiofrecuencia con bajas pérdidas resistivas, manteniendo un buen rendimiento de transmisión y recepción.

En el lado mecánico, el aluminio es un material ligero pero resistente, lo que facilita su manipulación y montaje sin comprometer la estabilidad estructural. Su baja densidad permite fabricar antenas con menor peso, reduciendo la carga en los soportes y facilitando su instalación en torres o estructuras móviles.

Además, el aluminio presenta una excelente resistencia a la corrosión, especialmente cuando se expone a distintas condiciones ambientales. Su capacidad para formar una

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

capa natural de óxido lo protege la superficie del material contra la degradación, lo que prolonga la vida útil de la antena sin necesidad de recubrimientos adicionales o mantenimiento frecuente.

7.3.1 Antena Dipolo 430 MHz

La construcción de la antena dipolo resonante a 430 MHz se llevó a cabo siguiendo las dimensiones calculadas en la fase de diseño para garantizar precisión en las medidas y minimizar errores en la fabricación.

Inicialmente, se cortaron los elementos del dipolo respetando la longitud total ajustada de 33.117 cm, dividiendo este valor en dos secciones de 16.558 cm cada una, que corresponden a los brazos del dipolo. Se realizó el procedimiento buscando evitar deformaciones en los extremos y asegurar bordes uniformes.

Posteriormente, se determinó la separación entre los brazos del dipolo, dentro del rango de 6.623 mm a 17.43 mm. Para ello, se realizó un ajuste fino sujeto a calibración para encontrar el valor óptimo para la frecuencia objetivo.

El montaje de los brazos se realizó fijándolos a un soporte rígido que permite mantener la alineación y evitar desplazamientos accidentales. Para la conexión del dipolo, se soldaron los extremos a un conector coaxial de 50 ohmios, asegurando una unión de baja resistencia y sin discontinuidades eléctricas.



Figura 85: Antena dipolo implementada físicamente. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

7.3.2 Antena Yagi-Uda 430 MHz

La construcción de la antena Yagi-Uda para 430 MHz se realizó en base a las dimensiones calculadas en la etapa de diseño, asegurando la correcta alineación y espaciado de los elementos para optimizar la directividad y la ganancia de radiación.

Se seleccionaron tubos de aluminio de diámetro uniforme, asegurando mínima resistencia eléctrica y estabilidad mecánica.

Cada elemento fue cortado con precisión siguiendo las dimensiones establecidas:

- Dipolo activo: 33.69 cm (λ/2)
- Reflector: 38.52 cm
- Directores:
    - Primer director: 34.86 cm
    - Segundo director: 33.76 cm
    - Tercer director: 33.03 cm

Para mantener la alineación exacta, se utilizó una guía de montaje en la que cada elemento fue fijado con abrazaderas dieléctricas, evitando contacto metálico directo con el soporte para minimizar interferencias en la impedancia de la antena.

Para el espaciado entre los elementos consta de los siguientes valores:

- Dipolo - Reflector: Entre 14.676 cm y 18.345 cm
- Dipolo - Primer director: Entre 11.007 cm y 14.676 cm
- Directores sucesivos: Entre 7.338 cm y 11.007 cm

Los elementos fueron montados con separadores ajustables, permitiendo pequeñas variaciones de posición para ajuste fino tras la medición de la relación de ondas estacionarias (VSWR).

El dipolo activo se conectó a un alimentador coaxial de 50 ohmios, soldando el conductor central a un brazo y la malla al otro, asegurando una transición de impedancia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

adecuada. Se incorporó un balun para minimizar efectos de corriente en la malla del coaxial, evitando distorsiones en el patrón de radiación.

Finalmente, se realizaron mediciones para verificar la frecuencia de resonancia y la impedancia, asegurando que la antena cumpliera con los parámetros de diseño. Se ajustaron ligeramente las posiciones de los directores hasta obtener una relación de ondas estacionarias óptima.

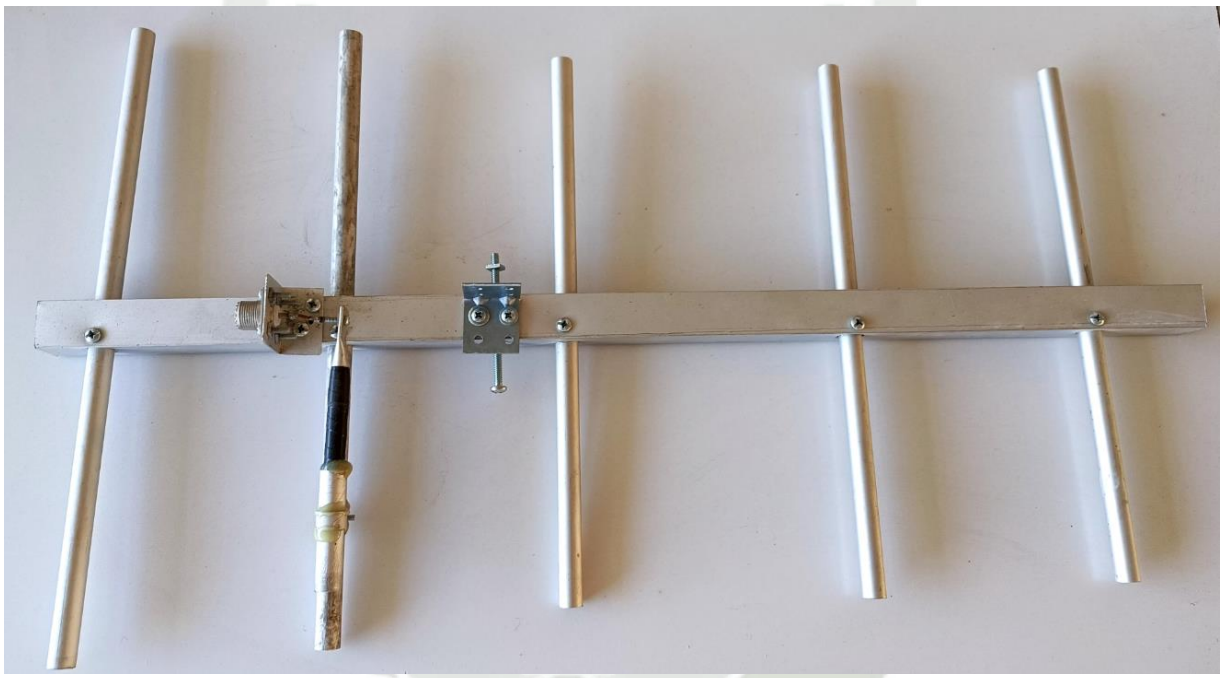


Figura 86: Antena Yagi-Uda implementada físicamente. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO V: PRUEBAS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES

1. Funcionamiento del prototipo desarrollado

1.1 Conexión automática a red inalámbrica

El prototipo se conecta automáticamente a la red inalámbrica mediante una configuración de IP estática configurada en el Raspberry Pi en la dirección 192.168.31.200. Esta configuración garantiza que el dispositivo siempre tenga la misma dirección dentro de la red local, lo que asegura el acceso remoto y la transferencia de datos en cada uso.

Para establecer esta configuración, se modificó el archivo "/etc/dhcpcd.conf", añadiendo las siguientes líneas:

```
interface wlan0
static ip_address=192.168.31.200/24
static routers=192.168.31.1
static domain_name_servers=8.8.8.8 8.8.4.4
```

Figura 87: Configuración de Ip estática en RaspberryPi. Fuente: Elaboración propia

Donde:

- *static ip_address:* Define la Ip fija asignada al RaspberryPi.
- *static routers:* Indica la dirección del Gateway.
- *static domain_name_servers:* Define los servidores DNS utilizados para la resolución de nombres.

Adicionalmente se guardó el nombre de la red WIFI y su configuración asociada en el archivo "*/etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf*":

```
1   ctrl_interface=DIR=/var/run/wpa_supplicant GROUP=netdev
2   update_config=1
3   country=PE
4
5   network={
6       ssid="K40"
7       psk="12345678test"
8       key_mgmt=WPA-PSK
9       priority=1
10  }
```

Figura 88: Configuración de red en RaspberryPi. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

- *ssid:* Nombre de la red a la que se conectará el Raspberry Pi.
- *psk:* Contraseña de la red.
- *key_mgmt:* Tipo de autenticación utilizada (WPA-PSK).
- *priority:* Se asigna prioridad a esta red en caso de múltiples configuraciones.

Con la configuración aplicada, permite que el RaspberryPi se conecte automáticamente a la red tras cada encendido, agilizando la comunicación y control del prototipo.

1.2 Conexión remota mediante SSH

La comunicación entre la Pc/Laptop y Raspberry Pi será a través del protocolo SSH, las configuraciones necesarias están especificadas en la Fig.89, las cuales servirán para conectarse remotamente al host mediante la extensión Remote-SSH.

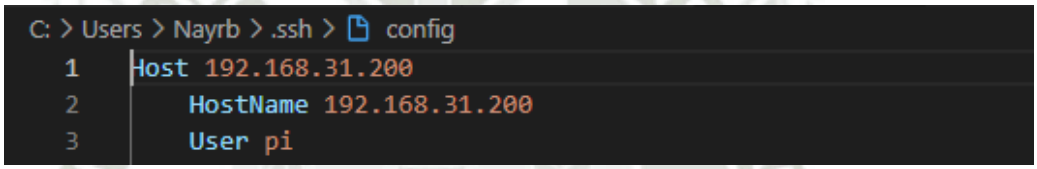


Figura 89: Configuración de servidor remoto en Visual Studio Code. Fuente: Elaboración propia

Una vez se accedió al Host, ingresando la clave solicitada en la autenticación, se cuenta con acceso a todo su sistema de archivos, capacidad de edición en tiempo real y ejecución de los mismos, también la opción de descargar y eliminar elementos.

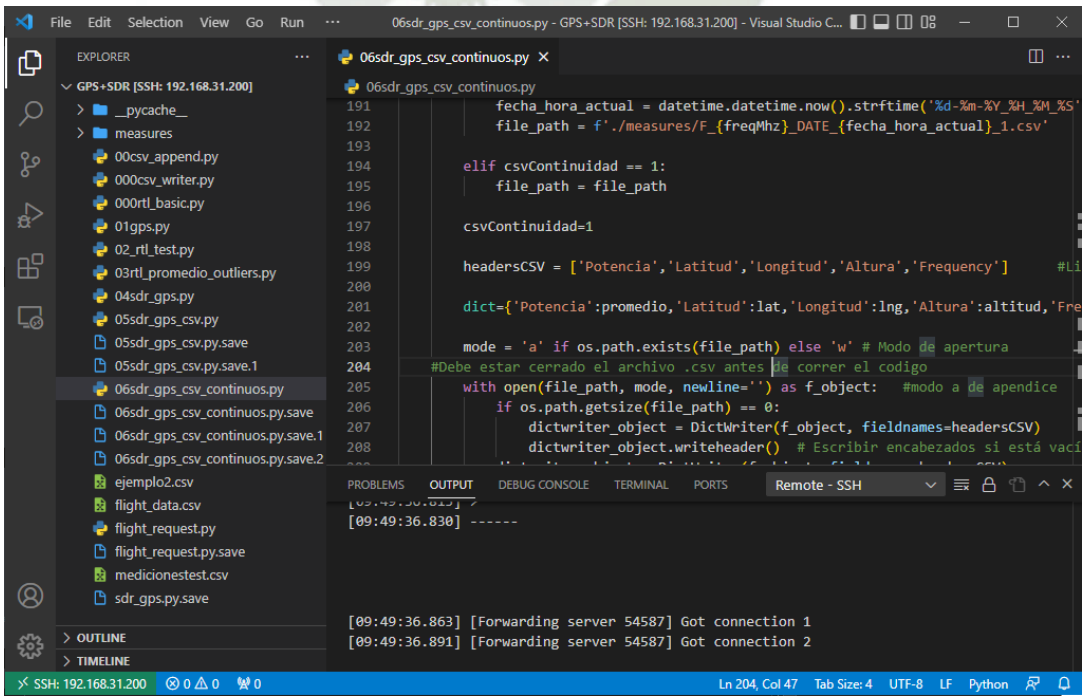


Figura 90: Vista de Host remoto en Visual Studio Code. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3 Ejecución remota de Script en Raspberry Pi

Para ejecutar script de Python en Raspberry Pi remotamente se realizará mediante el terminal. Esto permitirá ejecutar las rutinas programadas en Python para la captura y procesamiento de datos de radiofrecuencia mediante el comando:

- *python3 "nombreDeScript.py"*

Una vez ejecutado el script, las opciones disponibles serán:

- Captura de data en bucle: Se capturará la potencia de la señal de forma contínua y periódica; las muestras se almacenarán en un solo archivo csv.
- Captura de data unitaria: Captura de señal cada vez que el usuario presione una tecla en la terminal, emparejando muestras de potencia y coordenadas geográficas.
- Captura de data en radio fijo: Rutina en la que se define el periodo de grados de rotación entre cada muestra, manteniendo la distancia(radio) de emisor a receptor.

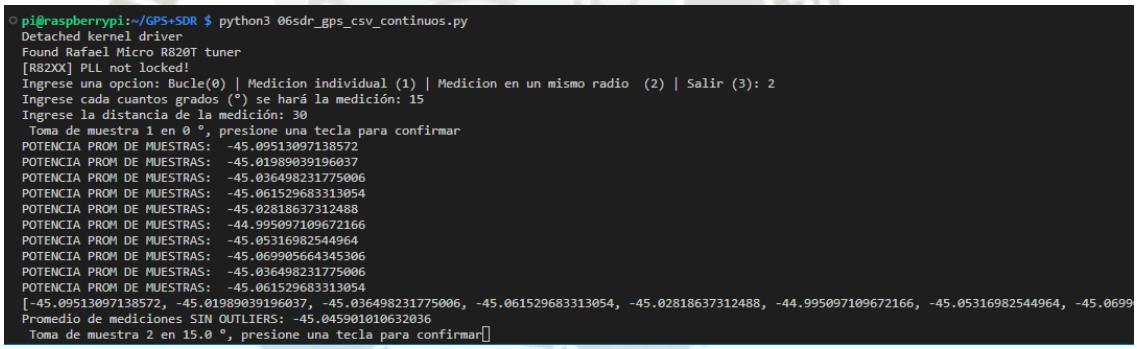


Figura 91: Ejecución de Script. Fuente: Elaboración propia

Las columnas de datos almacenados en cada archivo .csv estarán definidos según la opción de captura seleccionada:

- Captura de data unitaria y en bucle:
  - Potencia: Valor de potencia promedio obtenido por RTL-SDR conectado.
  - Latitud y Longitud: Coordenadas donde se obtuvo la muestra.
  - Altura: Altura en metros sobre nivel del mar en punto de captura.
  - Frequency: Frecuencia configurada en el SDR al momento de captura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
Potencia, Latitud, Longitud, Altura, Frequency
15, -16.42571, -71.57286, 2500, 300
25, -16.42548, -71.57358, 2502, 300
50, -16.42564, -71.57383, 2505, 300
80, -16.42584, -71.57403, 2510, 300
70, -16.42635, -71.57305, 2505, 300
100, -16.42619, -71.57424, 2502, 300
150, -16.42623, -71.57410, 2508, 300
100, -16.42630, -71.57400, 2506, 300
90, -16.42643, -71.57374, 2507, 300
```

Figura 92: Archivo .csv: captura unitaria/bucle. Fuente: Elaboración propia

- Captura a una distancia (radio) fija:
  - Potencia: Valor de potencia promedio obtenido por RTL-SDR conectado.
  - Grado: Coordenadas donde se obtuvo la muestra.
  - Distancia: Distancia en metros entre transmisor y prototipo.
  - Frequency: Frecuencia configurada en el SDR al momento de captura.

```
Potencia,Grado,Distancia,Frequency
-37.84847848781929,0,5,102.3
-37.958967170346526,10.0,5,102.3
-37.74911406566886,20.0,5,102.3
-37.74736484074264,30.0,5,102.3
-38.45272540191206,40.0,5,102.3
-38.24798446179761,50.0,5,102.3
-38.42623447438759,60.0,5,102.3
-38.24949561804316,70.0,5,102.3
```

Figura 93: Archivo .csv: captura de distancia fija. Fuente: Elaboración propia

1.4 Descarga de datos obtenidos

Por cada sesión de muestreo se creará un nuevo archivo ".csv" que contiene la información recolectada; los documentos resultantes estarán almacenados en la carpeta "measures" en el sistema de archivos del Raspberry Pi (Fig.90) y serán accesibles y descargables a través de la conexión SSH al computador conectado.

Cada archivo contendrá en el nombre la frecuencia de muestreo, la fecha y hora de creación; al presionar click derecho sobre cada archivo en el menú de opciones desplegables se seleccionará la opción de descarga y aparecerá una ventana para guardarlo en el sistema de archivos de la computadora local, de igual forma permite selección múltiple de elementos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

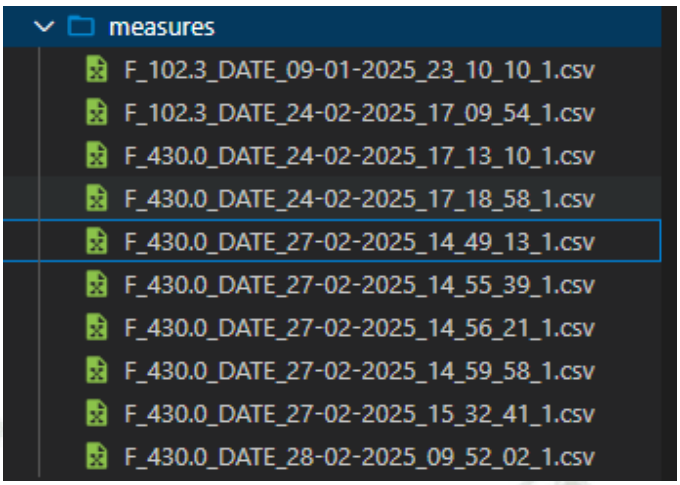


Figura 94: Archivos generados en sesiones de captura. Fuente: Elaboración propia

1.5 Procesamiento de datos en Interfaz desarrollada en React

En esta sección se describirá el flujo de interacción entre el usuario y el sistema para el procesamiento de las muestras capturadas por el Raspberry mediante la interfaz.

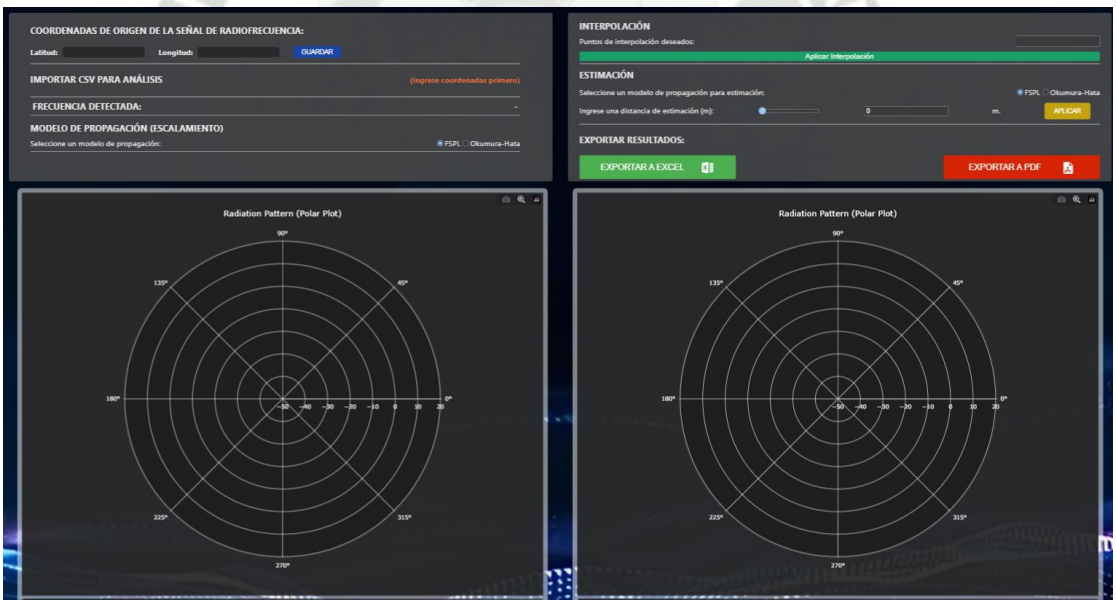


Figura 95: Vista general de la interfaz. Fuente: Elaboración propia

1.5.2 Ingreso de coordenadas de origen de señal

Se registrará la latitud y longitud donde se origina la señal transmisora a ser muestreada, estas serán tomadas como referencia para realizar cálculos de dimensionamiento y estimación de potencia. Si la información corresponde a coordenadas válidas se habilitará el input de documentos de la siguiente sección.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.5.3 Importación de documento en formato CSV

Una vez validadas las coordenadas ingresadas, el sistema habilitará el input de archivos *(<input type =" file">)*, el cual filtrará los archivos por extensión, permitiendo subir solo aquellos con formato .csv para su procesamiento.

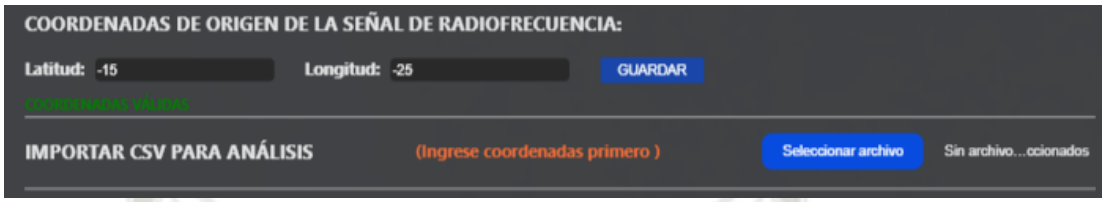


Figura 96: Input de archivos .csv. Fuente: Elaboración propia

Una vez seleccionado el archivo, su contenido será atendido por la API de "Filereader" de Javascript, permitiendo accedes a sus valores en formato de texto, dividir datos en líneas y columnas basándose en el separador (,) y extraer la información en arrays en distintas variables almacenados en la aplicación temporalmente mediante el hook de React "useState".

1.5.4 Modelos de propagación para escalamiento

Una vez cargada la data desde el archivo importado, se deberá seleccionar en el sistema el modelo de propagación (Fig. 95) para hacer el escalamiento de potencia y estimación de la misma en el origen geográfico de la señal, dependiendo de las condiciones del entorno en las que se realizó el muestreo. Las opciones disponibles serán las siguientes:

- Modelo Free Space Path Loss: Ideal para entornos libre de obstrucciones o interferencias de edificios, árboles o estructuras que puedan afectar la propagación de señal. Para este caso no se requerirá ningún input para que el sistema realice los cálculos. Se asume que la única atenuación presente es debido a la dispersión de la onda en el espacio.
- Modelo Okumura-Hata: Adecuado para entornos urbanos, suburbanos y rurales donde existen múltiples obstáculos que afectan a la propagación de la señal, Para el cálculo, el sistema requerirá el ingreso de los siguientes datos: Altura de la antena transmisora y receptora, tamaño de ciudad y tipo de área.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

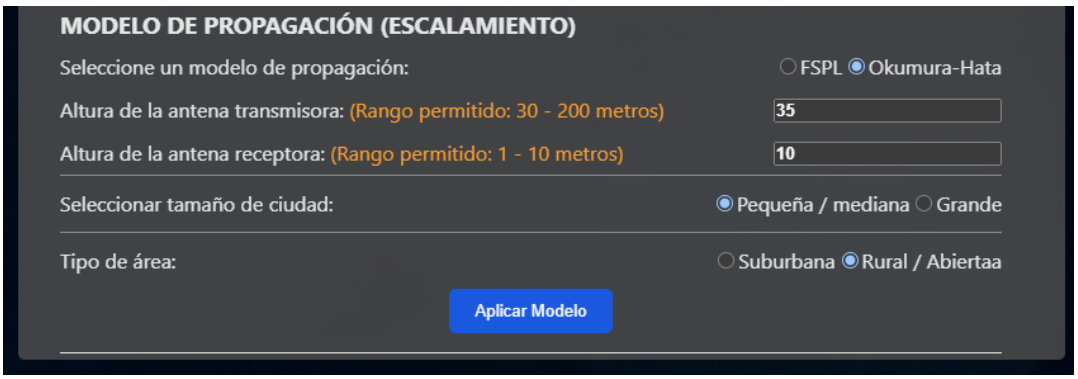


Figura 97: Configuración de modelos de propagación. Fuente: Elaboración propia

1.5.5 Interpolación de data

La interpolación consistirá en generar n puntos adicionales entre cada par de mediciones consecutivas con el objetivo de mejorar la precisión en la estimación del patrón de radiación, incrementando la resolución final. Será un parámetro definido mediante un input numérico.

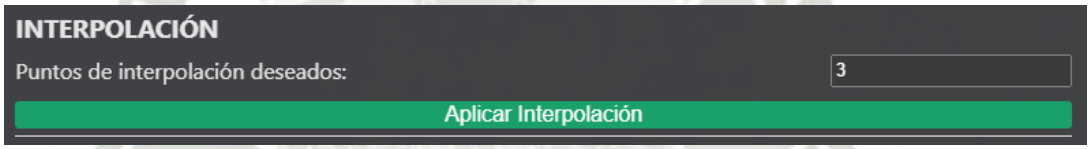


Figura 98: Configuración de puntos de interpolación. Fuente: Elaboración propia

1.5.6 Estimación de potencia a diferentes distancias

En esta sección, el sistema permitirá al usuario ingresar, de manera opcional, una distancia específica desde el punto de origen de transmisión a través de un campo de entrada. A partir de este valor, se calculará la potencia resultante utilizando el modelo de atenuación elegido en esta sección (FSPL o Okumura-Hata).

El cálculo se basará en la aplicación de los modelos de propagación disponibles, considerando las condiciones del entorno y los parámetros de atenuación correspondientes. Así mismo contará con validación para el ingreso de valores correctos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

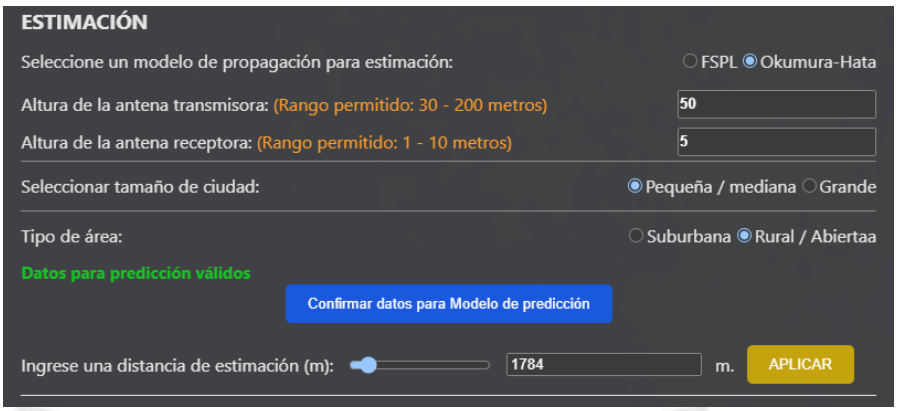
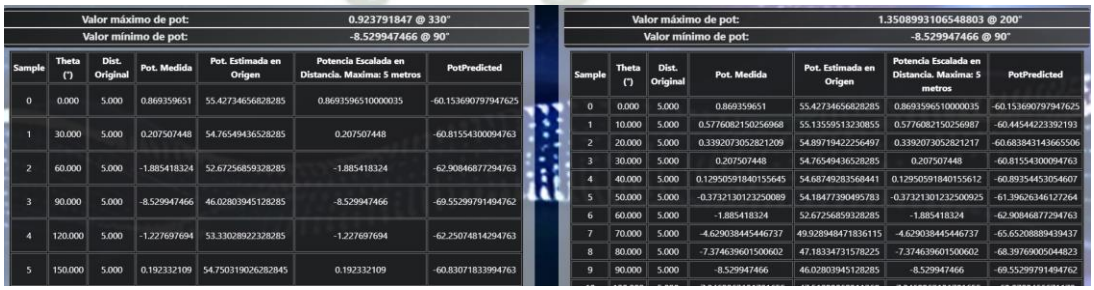


Figura 99: Configuración de parámetros de estimación. Fuente: Elaboración propia

1.5.7 Tablas de data resultantes

El sistema presentará dos tablas de data de forma paralela:

- Tabla basada en data original: Esta tabla mostrará los cálculos de potencia estimada en el origen, potencia escalada según el radio máximo y predicción de potencia, utilizando exclusivamente las muestras presentes en el archivo CSV importado, sin modificaciones ni interpolaciones adicionales.
- Tabla basada en data interpolada: Antes de realizar los cálculos en esta tabla, el sistema aplicará un algoritmo de interpolación, agregando "n" puntos intermedios entre las muestras originales, según el valor definido por el usuario. Posteriormente, se llevarán a cabo los mismos cálculos que en la tabla de datos originales, pero con un mayor nivel de detalle gracias a la interpolación. Las columnas de esta tabla serán idénticas a las de la tabla basada en datos originales, permitiendo una comparación directa.



Valor máximo de pot: 0.923791847 @ 330°
Valor mínimo de pot: -8.529947466 @ 90°

Sample	Theta (°)	Dist. Original	Pot. Medida	Pot. Estimada en Origen	Potencia Escalada en Distancia. Maxima: 5 metros	PotPredicted
0	0.000	5.000	0.869359651	55.42734656828285	0.8693596510000035	-60.153690797947625
1	30.000	5.000	0.207507448	54.76549436528285	0.207507448	-60.81554300094763
2	60.000	5.000	-1.885418324	52.67256859328285	-1.885418324	-62.90846877294763
3	90.000	5.000	-8.529947466	46.02803945128285	-8.529947466	-69.55299791494762
4	120.000	5.000	-1.227697694	53.33028922328285	-1.227697694	-62.2507481429476
5	150.000	5.000	0.192332109	54.750319026282845	0.192332109	-60.830718339947

Valor máximo de pot: 1.3508993106548803 @ 200°
Valor mínimo de pot: -8.529947466 @ 90°

Sample	Theta (°)	Dist. Original	Pot. Medida	Pot. Estimada en Origen	Potencia Escalada en Distancia. Maxima: 5 metros	PotPredicted
0	0.000	5.000	0.869359651	55.42734656828285	0.8693596510000035	-60.153690797947625
1	10.000	5.000	0.5776082150256968	55.135595132308555	0.5776082150256987	-60.44544223392193
2	20.000	5.000	0.3392073052821209	54.89719422256497	0.3392073052821217	-60.683843143665506
3	30.000	5.000	0.207507448	54.76549436528285	0.207507448	-60.81554300094763
4	40.000	5.000	0.12950591840155645	54.68749283568441	0.12950591840155612	-60.89354453054607
5	50.000	5.000	-0.3732130123250089	54.18477390495783	-0.3732130123250925	-61.39626346127264
6	60.000	5.000	-1.885418324	52.67256859328285	-1.885418324	-62.90846877294763
7	70.000	5.000	-4.629038445446737	49.928948471836115	-4.629038445446737	-65.65208889439437
8	80.000	5.000	-7.374639601500602	47.18334731578225	-7.374639601500602	-68.39769005044823
9	90.000	5.000	-8.529947466	46.02803945128285	-8.529947466	-69.55299791494762

Figura 100: Tablas de data original e interpolada. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.5.8 Gráficos

En esta sección, el sistema generará dos gráficos polares que representarán el patrón de radiación de la señal, permitiendo visualizar la distribución de la potencia en función de la dirección:

- Gráfico basado en data original: Este gráfico mostrará el patrón de radiación utilizando exclusivamente las muestras de potencia registradas en el archivo original, sin modificaciones ni interpolaciones adicionales.
- Gráfico basado en datos interpolados y originales: En este caso, el sistema combinará los datos originales con los puntos interpolados generados previamente. Esto permitirá obtener una representación más detallada y continua del patrón de radiación, mejorando la visualización y el análisis de la propagación de la señal.

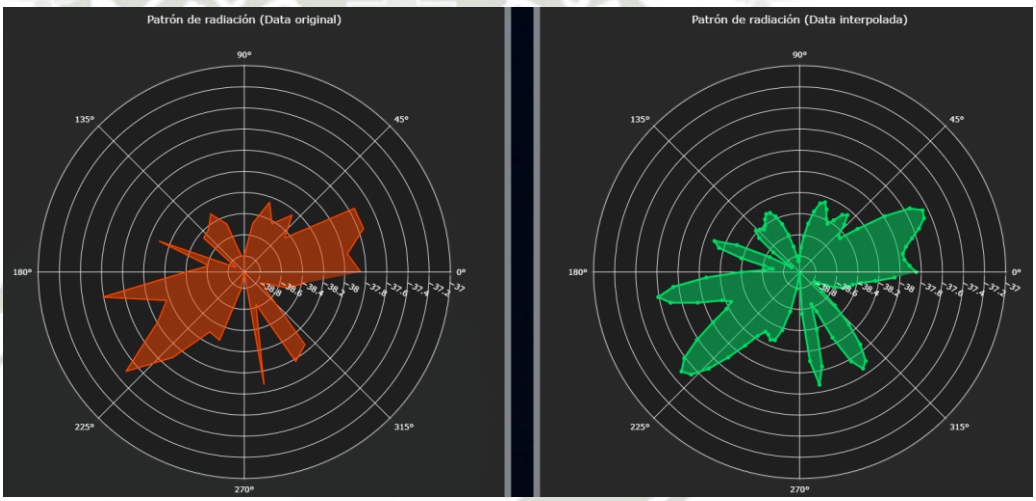


Figura 101: Gráfico de data original(izquierda) e interpolada (derecha). Fuente: Elaboración propia

1.5.9 Exportación de resultados

El sistema incluirá la funcionalidad de exportar los resultados obtenidos, permitiendo al usuario guardar y compartir la información procesada. Los datos de la tabla original y la tabla interpolada podrán exportarse en los siguientes formatos:

- Excel (.xlsx): Dentro del documento se generará dos hojas:
  - Hoja 1: Contendrá la data original con todas las mediciones registradas y cálculos en base a estas.
  - Hoja 2: Incluirá la data interpolada y cálculos asociados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

	A	B	C	D	E	F	G
1	Sample	Theta (°)	Dist. Original	Pot. Medida	Pot. Estimada	Potencia Esc	PotPredicted
2	0	0.000	5.000	-37.848478	-11.223783	-37.848478	-89.186652
3	1	10.000	5.000	-37.958967	-11.334271	-37.958967	-89.29714
4	2	20.000	5.000	-37.749114	-11.124418	-37.749114	-89.087287
5	3	30.000	5.000	-37.747365	-11.122669	-37.747365	-89.085538
6	4	40.000	5.000	-38.452725	-11.828029	-38.452725	-89.790899
7	5	50.000	5.000	-38.247984	-11.623288	-38.247984	-89.586158
8	6	60.000	5.000	-38.426234	-11.801538	-38.426234	-89.764408
9	7	70.000	5.000	-38.249496	-11.6248	-38.249496	-89.587669
10	8	80.000	5.000	-38.486183	-11.861487	-38.486183	-89.824356
11	9	90.000	5.000	-38.801424	-12.176728	-38.801424	-90.139597
12	10	100.000	5.000	-38.799268	-12.174572	-38.799268	-90.137441
13	11	110.000	5.000	-38.46992	-11.845224	-38.46992	-89.808093
14	12	120.000	5.000	-38.317899	-11.693203	-38.317899	-89.656072
15	13	130.000	5.000	-38.426565	-11.801869	-38.426565	-89.764738
16	14	140.000	5.000	-38.450814	-11.826118	-38.450814	-89.788987
17	15	150.000	5.000	-38.864414	-12.239718	-38.864414	-90.202587

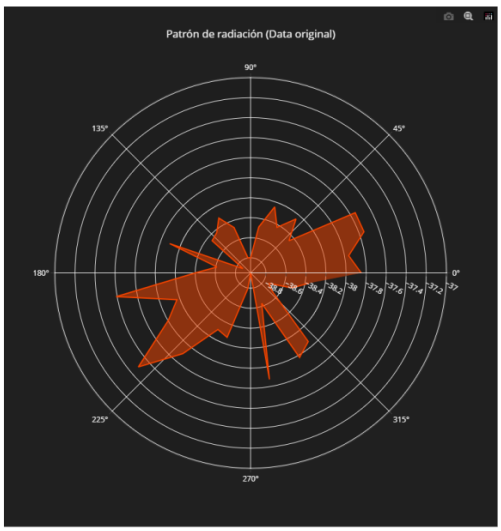
Figura 102: Muestra de archivo .xlsx exportado. Fuente: Elaboración propia

- PDF (.pdf): Incluirá la data original, así como la interpolada, además se adjuntarán los gráficos resultantes (patrones de radiación). La organización del documento estará presente de manera clara y entendible para facilitar futuros análisis.

Reporte de Datos

Parámetro	Valor
Fecha	5/3/2025
Frecuencia (MHz)	102.3
Número de Muestras	1500
Latitud de Origen	-16.426009185942572
Longitud de Origen	-71.57327162130076

Diagrama de radiación 1 + data:



Sample	Theta (°)	Dist. Original	Pot. Medida	Pot. Estimada en Origen	Pot. Escalada (a 5m)	PotPredicted
0	0.000	5.000	-37.84847848781929	-11.223782504972391	-37.84847848781929	-89.18665159235535

Figura 103: Muestra de archivo .pdf exportado. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



Figura 104: Selección de formato de importación. Fuente: Elaboración propia

2. Metodología de pruebas

Para realizar los tests del sistema, se requieren los siguientes elementos:

- Sistema portátil de medición desarrollado (Raspberry Pi + RTL SDR 2832)
- Laptop con Visual Studio Code y software desarrollado.
- Wifi Hotspot.
- Antenas construidas en esta investigación.
- Emisor de radiofrecuencia (Configurado para operar en frecuencias de interés).
- Fuente de poder (Suministrará energía al emisor y antenas).

Condiciones de pruebas: Las pruebas se llevarán a cabo en dos tipos de entornos con características diferenciadas para evaluar la propagación de la señal en un contexto real:

- Espacio abierto: Zonas despejadas sin obstrucciones significativas para evaluar el comportamiento del sistema en condiciones ideales de propagación o espacio libre.
- Entorno urbano: Áreas con alta densidad de construcciones y reflexión electromagnética.

Tablas de datos: contendrán los valores registrados y contemplarán las columnas:

- Número de muestra.
- Ángulo de medición (Theta).
- Distancia de muestreo.
- Potencia medida.
- Potencia estimada en origen de señal.
- Estimación de potencia a distancia ingresada (si aplica).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.1 Prueba estática con antenas diseñadas

El propósito de esta prueba será verificar el comportamiento y propagación de la antena diseñada y su concordancia con las simulaciones realizadas. Para esta prueba se emplearán las antenas diseñadas:

- Yagi-Uda 430 MHz
- Dipolo 430 MHz

Las condiciones de prueba serán:

- Espacio despejado, garantizando condiciones óptimas para medición de propagación de señal y validación de los modelos teóricos.

El procedimiento para la medición será:

- Posicionamiento a una distancia fija entre emisor y prototipo receptor para todas las tomas.
- Encender señal emisora en 430 Mhz.
- Se realizará la captura de señal inicial y esta será considerada el ángulo 0° de medición.
- Después de cada toma se girará la antena emisora en 15° para el próximo muestreo.
- Una vez finalizada la prueba se generará el archivo con toda la información obtenida en la sesión de muestreo, se descargará en la laptop y procesará en el software desarrollado.

2.2 Prueba móvil con antenas diseñadas

El objetivo será verificar la correcta captura de potencia en cada punto y el emparejamiento con las coordenadas geográficas obtenidas por el GPS, obteniendo resultados equivalentes a los de las pruebas estáticas con radio fijo. Para esta prueba se emplearán las antenas diseñadas:

- Yagi-Uda 430 MHz
- Dipolo 430 MHz

Las condiciones de prueba serán:

- Prueba 1: Espacio despejado, garantizando condiciones óptimas para medición de propagación de señal y validación con pruebas estáticas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Prueba 2: Espacio urbano, reflejando como afectan los obstáculos a la propagación de la señal.

El procedimiento para la medición será:

- Prueba 1 (Espacio despejado):
  - Mantener un radio fijo entre emisor y prototipo receptor para todas las capturas.
  - Encender señal emisora en 430 Mhz.
  - Se realizará la captura de señal inicial y esta será considerada el ángulo 0° de medición.
  - Para realizar cada captura se girará con el prototipo desarrollado alrededor de la antena, manteniendo el radio inicial, pero no necesariamente un intervalo fijo de ángulos entre cada captura.
  - Una vez finalizada la prueba se generará el archivo con toda la información obtenida en la sesión de muestreo, se descargará en la laptop y procesará en el software desarrollado.

- Prueba 2 (Espacio Urbano):
  - Elegir un punto inicial de captura.
  - Encender señal emisora en 430 Mhz.
  - Para realizar cada captura se girará con el prototipo desarrollado alrededor de la antena, sin necesariamente mantener un radio e intervalos fijos de ángulos entre cada captura, es decir a distintas distancias y separaciones de “theta”.
  - Una vez finalizada la prueba se generará el archivo con toda la información obtenida en la sesión de muestreo, se descargará en la laptop y procesará en el software desarrollado.

2.3 Prueba móvil a estaciones locales emisoras de radiofrecuencia

Se tomará muestras de estaciones emisoras de radiofrecuencia, radios FM, por ejemplo, en distintos puntos geográficos alrededor de la antena, para esta prueba se empleará:

- Prototipo móvil desarrollado con antena receptora.
- Laptop con Visual Studio Code y software desarrollado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Wifi Hotspot.

El procedimiento para la medición será:

- Elegir una ubicación dentro de la ciudad con acceso a la señal de la estación FM objetivo.
- Realizar una primera medición de la señal en la ubicación seleccionada, registrando potencia recibida y coordenadas GPS.
- Desplazarse por la zona urbana con el prototipo desarrollado, registrando la señal de la estación FM en diferentes puntos. No se requiere mantener distancias fijas ni ángulos específicos entre capturas, permitiendo un muestreo variado en cuanto a ubicación y orientación.
- Descargar los datos resultantes de la sesión de muestreo en la laptop y cargarlos en el software desarrollado. Realizar interpolación, escalamiento de potencia y estimación de propagación según el modelo seleccionado.
- Analizar, evaluar e interpretar resultados e identificar posibles interferencias o anomalías en la señal según el entorno urbano.

3. Pruebas realizadas

El conjunto de pruebas fue llevado a cabo siguiendo las especificaciones detalladas en la sección anterior, asegurando condiciones controladas y metodologías consistentes para obtener resultados confiables.

Posteriormente, se aplicaron modelos de propagación para la estimación de potencia en el origen, se generaron gráficos polares para visualizar el patrón de radiación de las antenas en función del entorno y condiciones de prueba, aplicación de interpolación para complementar las muestras.

Finalmente, los datos obtenidos fueron analizados en detalle y se realizó la comparación de los resultados con resultados de las simulaciones, identificando posibles errores, limitaciones y mejoras en el sistema de medición y procesamiento. Estos resultados servirán como base para la validación del sistema integral desarrollado y la optimización futura del sistema.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1 Prueba a antena direccional Yagi-Uda diseñada

A continuación, se describirán las condiciones de prueba, resultados obtenidos y comparación entre las gráficas de patrón de radiación simuladas y las obtenidas a través de las sesiones de muestra para la antena Yagi-Uda.

3.1.1 Prueba estática

Las condiciones de la prueba estática fueron las siguientes:

- Tipo de medición: Antena transmisora rotando, prototipo desarrollado en posición fija.
- Frecuencia de transmisión: 430.00 MHz.
- Entorno de medición: Campo abierto, sin obstáculos y línea de vista directa.
- Número de muestras: 24 Muestras.
- Periodicidad de muestreo: Cada 15 grados.
- Distancia de muestreo fija: 10 metros.
- Estimación de potencia a distancia mayor: 25 metros
- Polarización: Polarización horizontal
- Modelo de propagación: Free Space Path Loss
- Modelo de propagación para estimación: Free Space Path Loss
- Interpolación aplicada: 2 puntos.

Las muestras obtenidas están especificadas en la siguiente tabla:

N°	Theta (°)	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia estimada a: 250 m.
0	0.000	-0.2509271	44.8662252	-28.209727
1	15.000	0.48161435	45.5987667	-27.477186
2	30.000	-0.9253495	44.1918028	-28.88415
3	45.000	-6.4658219	38.6513304	-34.424622
4	60.000	-14.420851	30.6963013	-42.379651
5	75.000	-27.600431	17.5167213	-55.559231
6	90.000	-35.824891	9.29226133	-63.783691
7	105.000	-35.782455	9.33469733	-63.741255
8	120.000	-25.599696	19.5174563	-53.558496
9	135.000	-19.49674	25.6204123	-47.45554
10	150.000	-18.891722	26.2254303	-46.850522
11	165.000	-21.885422	23.2317303	-49.844222
12	180.000	-18.102377	27.0147753	-46.061177
13	195.000	-16.731302	28.3858503	-44.690102

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

14	210.000	-18.640273	26.4768793	-46.599073
15	225.000	-22.55548	22.5616723	-50.51428
16	240.000	-21.695063	23.4220893	-49.653863
17	255.000	-25.464281	19.6528713	-53.423081
18	270.000	-29.650612	15.4665403	-57.609412
19	285.000	-26.684907	18.4322453	-54.643707
20	300.000	-16.49615	28.6210023	-44.45495
21	315.000	-10.550774	34.5663783	-38.509574
22	330.000	-6.078482	39.0386703	-34.037282
23	345.000	-2.5575989	42.5595534	-30.516399

Tabla 11: Datos obtenidos de antena Yagi-Uda 430 Mhz a 10 m, Fuente: Elaboración propia

La Tabla 12 presenta las muestras complementadas con los datos generados a partir del algoritmo de interpolación. En ella, las muestras originales se encuentran resaltadas, mientras que las restantes corresponden a los valores estimados mediante el proceso de interpolación.

N°	Theta (°)	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia estimada a: 250 m.
0	0.000	-0.2509271	44.8662252	-28.209727
1	5.000	0.07952176	45.1966741	-27.879278
2	10.000	0.34526933	45.4624217	-27.613531
3	15.000	0.48161435	45.5987667	-27.477186
4	20.000	0.40931587	45.5264682	-27.549484
5	25.000	-0.0090257	45.1081267	-27.967826
6	30.000	-0.9253495	44.1918028	-28.88415
7	35.000	-2.4280473	42.6891051	-30.386847
8	40.000	-4.3513202	40.7658322	-32.31012
9	45.000	-6.4658219	38.6513304	-34.424622
10	50.000	-8.64434	36.4728124	-36.60314
11	55.000	-11.168197	33.948955	-39.126998
12	60.000	-14.420851	30.6963013	-42.379651
13	65.000	-18.608509	26.5086437	-46.567309
14	70.000	-23.228381	21.8887711	-51.187181
15	75.000	-27.600431	17.5167213	-55.559231
16	80.000	-31.170384	13.9467685	-59.129184
17	85.000	-33.887022	11.2301306	-61.845822
18	90.000	-35.824891	9.29226133	-63.783691
19	95.000	-36.987097	8.13005517	-64.945897

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

20	100.000	-37.090984	8.02616828	-65.049784
21	105.000	-35.782455	9.33469733	-63.741255
22	110.000	-32.920683	12.196469	-60.879484
23	115.000	-29.217923	15.8992298	-57.176723
24	120.000	-25.599696	19.5174563	-53.558496
25	125.000	-22.805945	22.3112073	-50.764745
26	130.000	-20.834283	24.2828696	-48.793083
27	135.000	-19.49674	25.6204123	-47.45554
28	140.000	-18.660258	26.456894	-46.619058
29	145.000	-18.411421	26.7057313	-46.370221
30	150.000	-18.891722	26.2254303	-46.850522
31	155.000	-20.08573	25.0314221	-48.04453
32	160.000	-21.350315	23.7668371	-49.309115
33	165.000	-21.885422	23.2317303	-49.844222
34	170.000	-21.149849	23.9673032	-49.108649
35	175.000	-19.637811	25.4793411	-47.596611
36	180.000	-18.102377	27.0147753	-46.061177
37	185.000	-17.142723	27.9744293	-45.101523
38	190.000	-16.742459	28.3746935	-44.701259
39	195.000	-16.731302	28.3858503	-44.690102
40	200.000	-16.987512	28.1296407	-44.946312
41	205.000	-17.583513	27.5336393	-45.542313
42	210.000	-18.640273	26.4768793	-46.599073
43	215.000	-20.159155	24.9579975	-48.117955
44	220.000	-21.663108	23.454044	-49.621909
45	225.000	-22.55548	22.5616723	-50.51428
46	230.000	-22.465486	22.651666	-50.424286
47	235.000	-21.925825	23.1913276	-49.884625
48	240.000	-21.695063	23.4220893	-49.653863
49	245.000	-22.347414	22.7697382	-50.306214
50	250.000	-23.719673	21.3974791	-51.678473
51	255.000	-25.464281	19.6528713	-53.423081
52	260.000	-27.240864	17.8762888	-55.199664
53	265.000	-28.737789	16.3793631	-56.696589
54	270.000	-29.650612	15.4665403	-57.609412
55	275.000	-29.706179	15.4109738	-57.664979
56	280.000	-28.756507	16.3606456	-56.715307
57	285.000	-26.684907	18.4322453	-54.643707
58	290.000	-23.520042	21.5971104	-51.478842

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

59	295.000	-19.871982	25.2451702	-47.830782
60	300.000	-16.49615	28.6210023	-44.45495
61	305.000	-13.96258	31.154572	-41.92138
62	310.000	-12.099756	33.0173959	-40.058557
63	315.000	-10.550774	34.5663783	-38.509574
64	320.000	-9.0276415	36.0895108	-36.986442
65	325.000	-7.5180196	37.5991327	-35.47682
66	330.000	-6.078482	39.0386703	-34.037282
67	335.000	-4.7586203	40.358532	-32.717421
68	340.000	-3.5800986	41.5370537	-31.538899
69	345.000	-2.5575989	42.5595534	-30.516399
70	350.000	-1.6938727	43.4232796	-29.652673
71	355.000	-0.9439492	44.1732031	-28.902749

Tabla 12: Datos post - interpolación, antena Yagi-Uda 430 Mhz a 10 m, Fuente: Elaboración propia

El software hará uso de los datos de ambas tablas para la creación de los gráficos de patrón de radiación en una presentación en paralelo, donde:

- Gráfico 1:
  - Origen: Datos obtenidos del muestreo de la señal.
  - Color de trazado: Rojo, #rgba (250,70,0,1)
  - Tipo: Gráfico polar
  - Escala: dBm
  - Número de muestras: 24 muestras
- Gráfico 2:
  - Origen: Datos de muestreo de la señal complementados con interpolación.
  - Color de trazado: Verde, #rgba (0,220,100,1)
  - Tipo: Gráfico polar
  - Escala: dBm
  - Número de muestras: 71 muestras
  - N° de puntos interpolados entre muestras: 2 puntos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

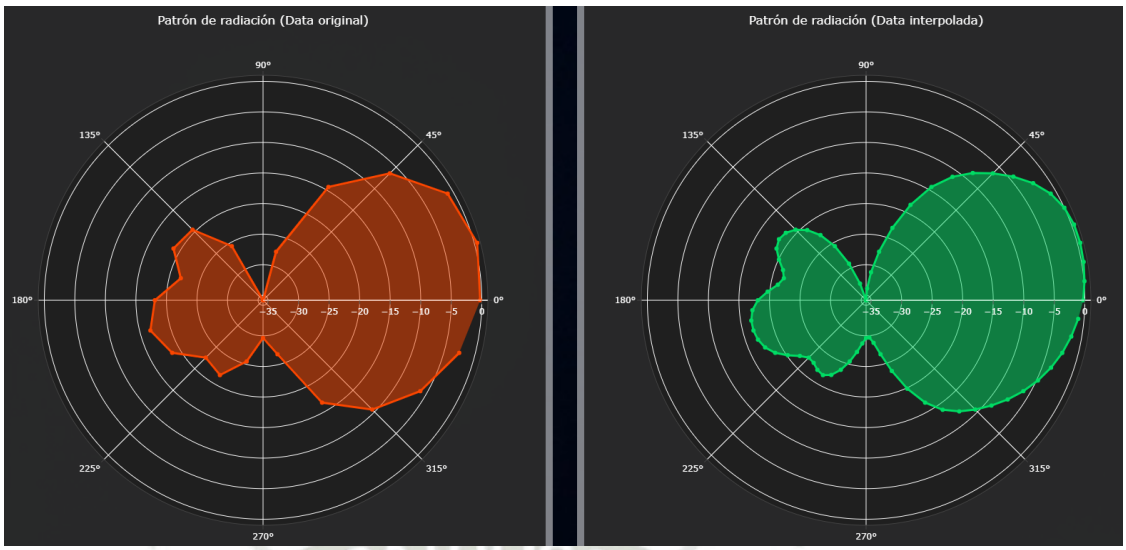


Figura 105: Patrones de radiación de antena Yagi-Uda: Data Original (Izquierda) y Data complementada (Derecha). Fuente: Elaboración propia

El diagrama polar resultante de los datos interpolados, presenta una transición suave entre cada punto, respetando los valores originales de medición, logrando representar de manera más natural el comportamiento de la antena. Comparando los diagramas polares de radiación obtenidos a través de las muestras en campo y los gráficos obtenidos de la simulación de la antena Yagi-Uda (*Fig.82)*, se puede destacar lo siguiente:

- Similitud general en comportamiento de radiación:
  - Ambas figuras presentarán un patrón de radiación direccional, con un lóbulo principal orientado principalmente a una sección definida y un lóbulo secundario más pequeño justo en la dirección opuesta.
- Diferencias:
  - En el gráfico resultante de la interpolación, los valores de potencia varían suavemente entre cada muestra, lo cual es esperable en mediciones del mundo real debido a factores del entorno, además de la radiación adicional de potencia emitida por el mismo cable y transmisor de origen de la señal de 430 MHz.
  - En una medición de campo también influirán factores como el ruido de señales externas, armónicos de otras frecuencias e interferencias provenientes de otras fuentes electromagnéticas cercanas.
  - Mientras tanto en la simulación los cambios en la ganancia se presentan con curvas más limpias y sin ruido, siendo idealizadas al ser teóricas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Consideraciones:
    - Para la medición real el punto de orientación del lóbulo principal está en el ángulo 0°.
    - Para la simulación el punto de orientación del lóbulo principal está en el ángulo -90°.
    - En las muestras reales obtenidas de la antena desarrollada, la forma del patrón obtenido en escala de dBm presenta más cercanía al patrón simulado en escala de magnitud, y lo opuesto para el caso de la simulación en escala de dBm, por lo que se puede confirmar que la antena implementada tiene mayor directividad que la simulada en su misma escala.

3.1.2 Prueba móvil

Las condiciones de la prueba móvil fueron las siguientes:

- Tipo de medición: Antena transmisora estática, prototipo desarrollado rotando en radios distintos.
- Frecuencia de transmisión: 430.00 MHz.
- Entorno de medición: Campo abierto, sin obstáculos y línea de vista directa.
- Número de muestras: 19 Muestras.
- Distancia de muestreo: Distancias variables.
- Polarización: Polarización horizontal
- Modelo de propagación: Free Space Path Loss
- Modelo de propagación para estimación: Free Space Path Loss
- Interpolación aplicada: 2 puntos.

Las muestras obtenidas están especificadas en la siguiente tabla:

N°	Theta (°)	Distancia	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia escalada a distancia máx: 16.88 m	Potencia estimada a: 250 m
0	2.114	10.549	-2.8339005	42.7477299	-6.918565382	-30.328223
1	7.673	13.741	-4.2672077	43.6101175	-6.05617778	-29.465835
2	14.725	10.863	-2.6518498	43.1846019	-6.481693305	-29.891351
3	39.212	10.348	-8.5049412	36.909333	-12.75696228	-36.16662

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4	65.449	9.413	-14.334328	30.257383	-19.40891226	-42.81857
5	95.416	9.606	-25.009139	19.7585467	-29.90774858	-53.317406
6	115.532	9.940	-26.694666	18.3705868	-31.29570845	-54.705366
7	139.383	11.359	-29.298295	16.925409	-32.74088629	-56.150544
8	158.457	11.659	-25.187557	21.2626472	-28.40364806	-51.813305
9	173.560	11.235	-17.952794	28.1760066	-21.49028868	-44.899946
10	194.173	12.413	-16.612072	30.3828082	-19.28348709	-42.693144
11	212.893	13.275	-24.462202	23.1154414	-26.55085385	-49.960511
12	226.347	14.139	-20.856014	27.2694254	-22.3968698	-45.806527
13	240.945	15.264	-22.405923	26.384836	-23.2814592	-46.691116
14	258.274	16.883	-19.436538	30.2297575	-19.43653774	-42.846195
15	286.988	14.785	-24.854657	23.6591913	-26.00710398	-49.416761
16	300.977	13.229	-16.067733	31.4797602	-18.18653503	-41.596192
17	326.569	10.630	-4.5019374	41.1456532	-8.520642083	-31.930299
18	349.428	12.424	-2.5021825	44.5002851	-5.166010162	-28.575667

Tabla 13: Datos obtenidos de antena Yagi-Uda 430 MHz, radios variables. Fuente: Elaboración propia

La Tabla 14 presenta las muestras complementadas con los datos generados a partir del algoritmo de interpolación. En ella, las muestras originales se encuentran resaltadas, mientras que las restantes corresponden a los valores estimados mediante el proceso de interpolación.

N°	**Theta (°)**	**Distancia**	**Potencia dBm**	**Potencia estimada en origen**	**Potencia escalada a distancia máx: 16.88 m**	**Potencia estimada a: 250 m**
0	2.114	10.549	-2.8339005	42.7477299	-6.9185654	-30.328223
1	3.967	12.001	-3.5175669	43.1064562	-6.5598391	-29.969496
2	5.820	13.162	-4.0468102	43.4117347	-6.2545606	-29.664218
3	7.673	13.741	-4.2672077	43.6101175	-6.0561778	-29.465835
4	10.024	13.382	-3.9752144	43.6516869	-6.0146084	-29.424266
5	12.375	12.222	-3.3119895	43.4911893	-6.175106	-29.584763
6	14.725	10.863	-2.6518498	43.1846019	-6.4816933	-29.891351
7	22.888	8.591	-2.7377284	41.4759153	-8.1903799	-31.600037
8	31.050	9.113	-5.3600078	39.2083162	-10.457979	-33.867636
9	39.212	10.348	-8.5049412	36.909333	-12.756962	-36.16662
10	47.958	10.646	-10.755101	34.8157698	-14.850525	-38.260183
11	56.704	10.094	-12.347027	32.7717906	-16.894505	-40.304162
12	65.449	9.413	-14.334328	30.257383	-19.408912	-42.81857
13	75.438	9.163	-17.93464	26.4703157	-23.19598	-46.605637

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

14	85.427	9.342	-21.975979	22.5758265	-27.090469	-50.500126
15	95.416	9.606	-25.009139	19.7585467	-29.907749	-53.317406
16	102.121	9.694	-25.923274	18.9228457	-30.74345	-54.153107
17	108.826	9.771	-26.296372	18.6217208	-31.044574	-54.454232
18	115.532	9.940	-26.694666	18.3705868	-31.295708	-54.705366
19	123.482	10.348	-27.700286	17.7047902	-31.961505	-55.371162
20	131.433	10.874	-28.810481	17.02429	-32.642005	-56.051662
21	139.383	11.359	-29.298295	16.925409	-32.740886	-56.150544
22	145.741	11.620	-28.811698	17.6148877	-32.051408	-55.461065
23	152.099	11.728	-27.446629	19.059899	-30.606396	-54.016054
24	158.457	11.659	-25.187557	21.2626472	-28.403648	-51.813305
25	163.492	11.483	-22.821388	23.4949359	-26.171359	-49.581017
26	168.526	11.301	-20.27861	25.9004484	-23.765847	-47.175504
27	173.560	11.235	-17.952794	28.1760066	-21.490289	-44.899946
28	180.431	11.466	-15.751295	30.5481009	-19.118194	-42.527852
29	187.302	11.929	-15.150078	31.4911059	-18.175189	-41.584847
30	194.173	12.413	-16.612072	30.3828082	-19.283487	-42.693144
31	200.413	12.735	-19.734965	27.488459	-22.177836	-45.587494
32	206.653	12.992	-22.99912	24.3967407	-25.269555	-48.679212
33	212.893	13.275	-24.462202	23.1154414	-26.550854	-49.960511
34	217.378	13.535	-23.629928	24.1139278	-25.552367	-48.962025
35	221.862	13.831	-22.036958	25.8950587	-23.771237	-47.180894
36	226.347	14.139	-20.856014	27.2694254	-22.39687	-45.806527
37	231.213	14.469	-20.972039	27.3572829	-22.309012	-45.71867
38	236.079	14.829	-21.854934	26.6883267	-22.977969	-46.387626
39	240.945	15.264	-22.405923	26.384836	-23.281459	-46.691116
40	246.721	15.896	-21.643624	27.4935223	-22.172773	-45.58243
41	252.498	16.501	-20.2066	29.2561321	-20.410163	-43.81982
42	258.274	16.883	-19.436538	30.2297575	-19.436538	-42.846195
43	267.846	16.723	-21.490985	28.0885929	-21.577702	-44.98736
44	277.417	15.871	-24.737698	24.3788716	-25.287424	-48.697081
45	286.988	14.785	-24.854657	23.6591913	-26.007104	-49.416761
46	291.651	14.292	-22.688698	25.5399068	-24.126388	-47.536046
47	296.314	13.793	-19.508292	28.4131607	-21.253135	-44.662792
48	300.977	13.229	-16.067733	31.4797602	-18.186535	-41.596192
49	309.508	11.992	-10.793205	35.8725496	-13.793746	-37.203403
50	318.038	10.930	-6.9965463	38.8803365	-10.785959	-34.195616
51	326.569	10.630	-4.5019374	41.1456532	-8.5206421	-31.930299
52	334.189	11.276	-3.217097	42.9172291	-6.7490662	-30.158723

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

53	341.808	12.155	-2.6205884	44.1788472	-5.4874481	-28.897105
54	349.428	12.424	-2.5021825	44.5002851	-5.1660102	-28.575667
55	353.657	12.048	-2.5669176	44.1505979	-5.5156973	-28.925355
56	357.885	11.373	-2.6866578	43.5195133	-6.146782	-29.556439

Tabla 14: Datos post - interpolación, captura móvil, antena Yagi-Uda 430 Mhz. Fuente: Elaboración propia

El software hará uso de los datos de ambas tablas para la creación de los gráficos de patrón de radiación en una presentación en paralelo, donde:

- Gráfico 1:
  - Origen: Datos obtenidos del muestreo de la señal.
  - Color de trazado: Rojo, #rgba (250,70,0,1)
  - Tipo: Gráfico polar
  - Escala: dBm
  - Número de muestras: 19 muestras
- Gráfico 2:
  - Origen: Datos de muestreo de la señal complementados con interpolación.
  - Color de trazado: Verde, #rgba (0,220,100,1)
  - Tipo: Gráfico polar
  - Escala: dBm
  - Número de muestras: 57 muestras
  - N° de puntos interpolados entre muestras: 2 puntos

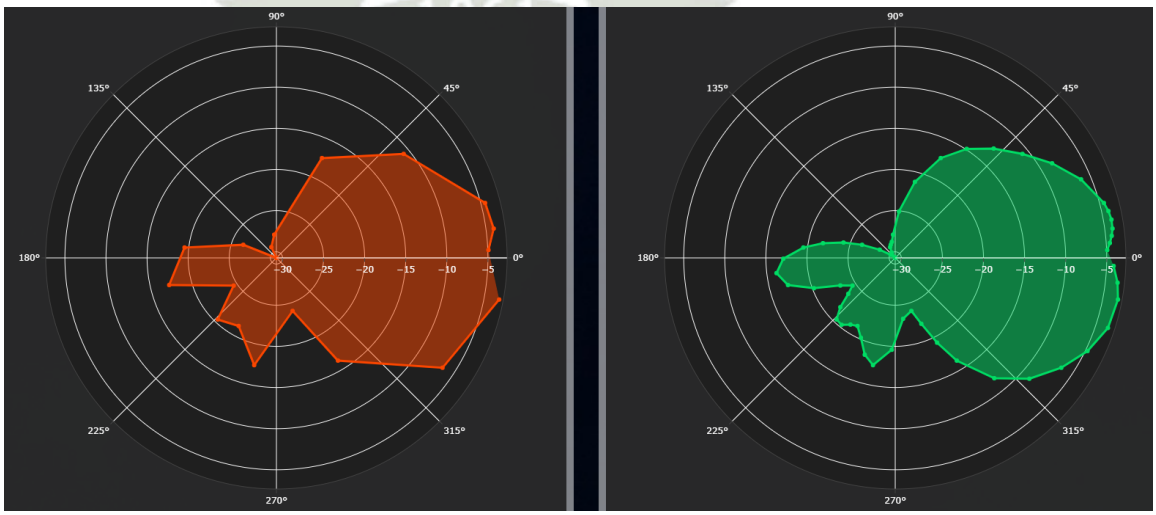


Figura 106: Patrones de radiación de antena Yagi-Uda en prueba móvil: Data Original (Izquierda) y Data complementada (Derecha). Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El diagrama polar resultante de los datos interpolados, presenta una transición suave entre cada punto, respetando los valores originales de medición, logrando representar de manera más real el comportamiento de la antena. Comparando los diagramas polares de radiación resultantes de las muestras obtenidas con un radio estático, se puede destacar lo siguiente:

- Similitud en comportamiento de radiación:
    - Ambas figuras presentarán un patrón de radiación direccional, con un lóbulo principal orientado principalmente a una sección definida y lóbulos secundarios menores justo en la dirección opuesta del lóbulo principal.
    - Los valores de potencia estimada en el origen y potencia estimada a 250 metros son cercanos y coincidentes con el patrón de radiación entre la sesión de muestreo estática y la sesión móvil.
- Diferencias:
    - En el gráfico resultante de la sesión de captura con radios diferentes, se presentan diferencias de valor entre cada muestra de forma más abrupta, con picos y valles más pronunciados.
    - El patrón de radiación resultante de la sesión con radios variables fue generado a través de un escalamiento aplicando la estimación de potencia mediante el modelo de atenuación Free Space Path Loss.
    - Las diferencias de potencia en los valores de potencia obtenidos en ambas sesiones no son estrictamente iguales a pesar de mantener las mismas condiciones de prueba, factores como ruido interno térmico del RTL-SDR, oscilador interno con fluctuaciones en frecuencia y fase, ruido de fondo causado por otras señales en bandas cercanas y sus armónicos pueden afectar la recepción de la señal.
- Consideraciones:
    - Tanto para la medición móvil como para la estática, se orientó la antena hacia el equipo de medición inicialmente, por lo tanto, el punto central del lóbulo principal está aproximadamente en el ángulo 0°.
    - En ambas sesiones de muestreo, se tiene como resultado la presencia de lóbulos secundarios en un patrón de radiación, con un contorno similar, resultantes de interferencias constructivas y destructivas causadas por la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

difracción de la señal entre cada elemento de la antena; este resultado es típico para este tipo de antenas.

Al realizar la proyección del patrón de radiación en el mapa geográfico, se puede observar que, para esta prueba, los puntos de captura de señal (representados con color verde), fueron realizados alrededor de la antena objetivo, no necesariamente respetando un mismo radio ni periodicidad de ángulos entre cada muestra. Con estos datos, se pudo procesar las muestras y después de escalarlas se obtuvo el patrón de radiación de la figura 106, el cual se escaló y se plasmó para representar de forma estimada como es la propagación de la antena en el espacio geográfico (Figura 107). Para esta prueba se realizó en un campo abierto sin interferencias de por medio.

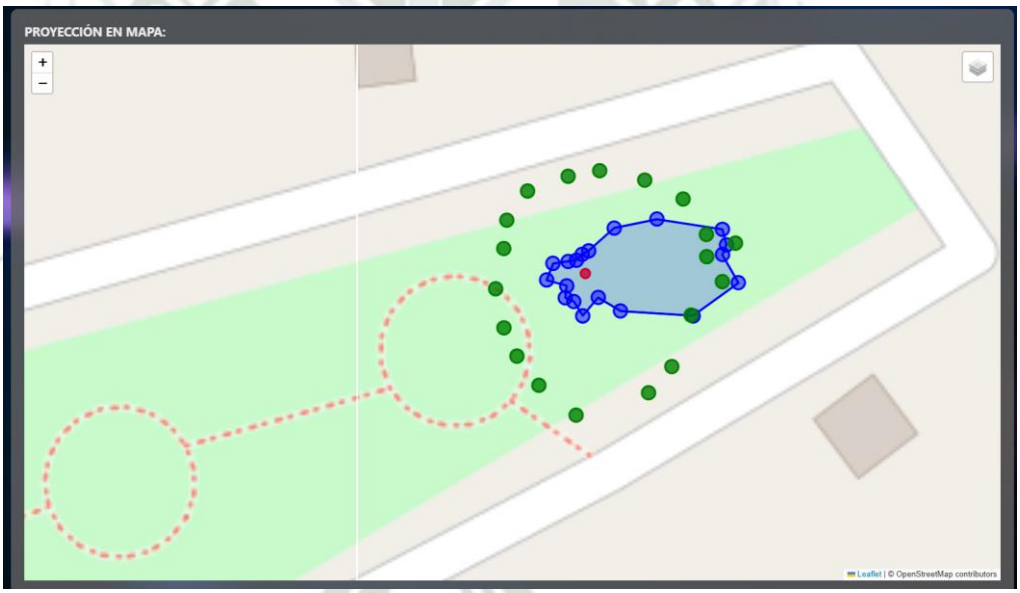


Figura 107: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda proyectado sobre mapa geográfico. Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Prueba móvil en ámbito urbano distancia media

Las condiciones de la prueba móvil fueron las siguientes:

- Tipo de medición: Antena transmisora estática, prototipo desarrollado rotando en radios y ángulos distintos.
- Ubicación de la antena transmisora: Sobre edificio de 15 metros.
- Orientación de lóbulo principal de la antena: Hacia el oeste.
- Frecuencia de transmisión: 430.00 MHz

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Entorno de medición: Urbano
- Número de muestras: 21 Muestras.
- Distancia de muestreo: Distancias variables
- Direccionalidad de receptor: Omnidireccional
- Modelo de propagación: Free Space Path Loss
- Modelo de propagación para estimación: Free Space Path Loss
- Interpolación aplicada: 1 punto
- Ganancia configurada en SDR: 0

Las muestras obtenidas están especificadas en la siguiente tabla:

N°	Theta (°)	Distancia	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia escalada a distancia máx: 130.032 m	Potencia estimada a: 250 m
0	8.967	60.645	-41.427535	19.3455666	-48.05261829	-53.730386
1	36.783	53.020	-44.083025	15.5229173	-51.8752676	-57.553035
2	63.959	59.633	-42.246573	18.3802874	-49.01789753	-54.695665
3	73.720	70.625	-43.194383	18.9019183	-48.4962666	-54.174034
4	85.137	91.566	-42.745492	21.606381	-45.79180392	-51.469572
5	101.726	84.532	-44.692475	18.9650564	-48.43312857	-54.110896
6	134.978	93.924	-44.536014	20.0366611	-47.36152382	-53.039291
7	152.226	117.086	-45.049614	21.4376519	-45.96053301	-51.638301
8	161.898	130.032	-41.645204	25.752981	-41.64520391	-47.322971
9	176.090	96.782	-25.034957	39.7980776	-27.60010736	-33.277875
10	176.913	115.640	-18.809539	47.5697663	-19.82841861	-25.506186
11	186.751	111.767	-19.87284	46.2105776	-21.1876073	-26.865375
12	196.733	110.516	-19.98941	45.9962526	-21.40193236	-27.0797
13	203.179	109.657	-21.812286	44.1055673	-23.29261761	-28.970385
14	212.835	114.873	-42.178239	24.1432985	-43.25488646	-48.932654
15	225.403	127.268	-43.798372	23.4131345	-43.9850504	-49.662818
16	233.282	126.025	-43.222203	23.9040507	-43.49413427	-49.171902
17	241.944	87.591	-44.351642	19.6146715	-47.78351345	-53.461281
18	265.388	54.029	-42.250574	17.5191185	-49.87906638	-55.556834
19	333.318	50.927	-44.593803	14.6623223	-52.7358626	-58.41363
20	346.988	59.093	-43.869834	16.6779685	-50.72021638	-56.397984

Tabla 15: Datos obtenidos de antena Yagi-Uda 430 MHz, prueba móvil distancia media. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La Tabla 16 presenta las muestras complementadas con los datos generados a partir del algoritmo de interpolación. En ella, las muestras originales se encuentran resaltadas, mientras que las restantes corresponden a los valores estimados mediante el proceso de interpolación.

N°	Theta (°)	Distancia	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia escalada a distancia máx: 16.88 m	Potencia estimada a: 250 m
0	**8.967**	**60.645**	**-41.427535**	**19.3455666**	**-48.05261829**	**-53.730386**
1	22.875	55.971	-43.461043	16.5944089	-50.803776	-56.481544
2	**36.783**	**53.020**	**-44.083025**	**15.5229173**	**-51.8752676**	**-57.553035**
3	50.371	53.560	-42.773633	16.9222528	-50.47593211	-56.1537
4	**63.959**	**59.633**	**-42.246573**	**18.3802874**	**-49.01789753**	**-54.695665**
5	68.840	63.840	-42.778084	18.4638619	-48.93432307	-54.612091
6	**73.720**	**70.625**	**-43.194383**	**18.9019183**	**-48.4962666**	**-54.174034**
7	79.429	82.205	-42.9918	20.3785821	-47.01960287	-52.69737
8	**85.137**	**91.566**	**-42.745492**	**21.606381**	**-45.79180392**	**-51.469572**
9	93.432	91.470	-43.585286	20.7755824	-46.62260255	-52.30037
10	**101.726**	**84.532**	**-44.692475**	**18.9650564**	**-48.43312857**	**-54.110896**
11	118.352	85.124	-44.096107	19.5794518	-47.81873314	-53.496501
12	**134.978**	**93.924**	**-44.536014**	**20.0366611**	**-47.36152382**	**-53.039291**
13	143.602	97.930	-46.459908	18.505506	-48.89267894	-54.570447
14	**152.226**	**117.086**	**-45.049614**	**21.4376519**	**-45.96053301**	**-51.638301**
15	157.062	135.303	-41.853394	26.0365873	-41.36159767	-47.039365
16	**161.898**	**130.032**	**-41.645204**	**25.752981**	**-41.64520391**	**-47.322971**
17	168.994	63.523	-47.824912	14.1937071	-53.20447779	-58.882245
18	**176.090**	**96.782**	**-25.034957**	**39.7980776**	**-27.60010736**	**-33.277875**
19	176.502	106.269	-21.879477	43.7316247	-23.66656026	-29.344328
20	**176.913**	**115.640**	**-18.809539**	**47.5697663**	**-19.82841861**	**-25.506186**
21	181.832	147.888	-8.1570582	60.8742706	-6.523914339	-12.201682
22	**186.751**	**111.767**	**-19.87284**	**46.2105776**	**-21.1876073**	**-26.865375**
23	191.742	102.125	-23.121894	42.1757381	-25.22244686	-30.900214
24	**196.733**	**110.516**	**-19.98941**	**45.9962526**	**-21.40193236**	**-27.0797**
25	199.956	111.235	-19.353329	46.6923675	-20.70581742	-26.383585
26	**203.179**	**109.657**	**-21.812286**	**44.1055673**	**-23.29261761**	**-28.970385**
27	208.007	110.700	-31.776444	34.2248195	-33.17336539	-38.851133
28	**212.835**	**114.873**	**-42.178239**	**24.1432985**	**-43.25488646**	**-48.932654**
29	219.119	121.036	-45.938934	20.8193793	-46.57880565	-52.256573
30	**225.403**	**127.268**	**-43.798372**	**23.4131345**	**-43.9850504**	**-49.662818**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

31	229.342	130.066	-43.093618	24.3447571	-43.05342783	-48.731195
32	**233.282**	**126.025**	**-43.222203**	**23.9040507**	**-43.49413427**	**-49.171902**
33	237.613	109.039	-43.802112	21.9550298	-45.44315517	-51.120923
34	**241.944**	**87.591**	**-44.351642**	**19.6146715**	**-47.78351345**	**-53.461281**
35	253.666	57.512	-43.89567	17.0292021	-50.36898287	-56.04675
36	**265.388**	**54.029**	**-42.250574**	**17.5191185**	**-49.87906638**	**-55.556834**
37	299.353	47.835	-42.531473	15.5993179	-51.79886705	-57.476635
38	**333.318**	**50.927**	**-44.593803**	**14.6623223**	**-52.7358626**	**-58.41363**
39	340.153	55.184	-44.356993	15.5886712	-51.80951368	-57.487281
40	**346.988**	**59.093**	**-43.869834**	**16.6779685**	**-50.72021638**	**-56.397984**
41	357.978	61.418	-42.754736	18.1437441	-49.25444082	-54.932208

Tabla 16: Datos post - interpolación, captura móvil distancia media, antena Yagi-Uda 430 Mhz. Fuente: Elaboración propia

El software hará uso de los datos de ambas tablas para la creación de los gráficos de patrón de radiación en una presentación en paralelo, donde:

- Gráfico 1:
  - Origen: Datos obtenidos del muestreo de la señal.
  - Color de trazado: Rojo, #rgba (250,70,0,1)
  - Tipo: Gráfico polar
  - Escala: dBm
  - Número de muestras: 21 muestras
- Gráfico 2:
  - Origen: Datos de muestreo de la señal complementados con interpolación.
  - Color de trazado: Verde, #rgba (0,220,100,1)
  - Tipo: Gráfico polar
  - Escala: dBm
  - Número de muestras: 42 muestras
  - N° de puntos interpolados entre muestras: 1 punto

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

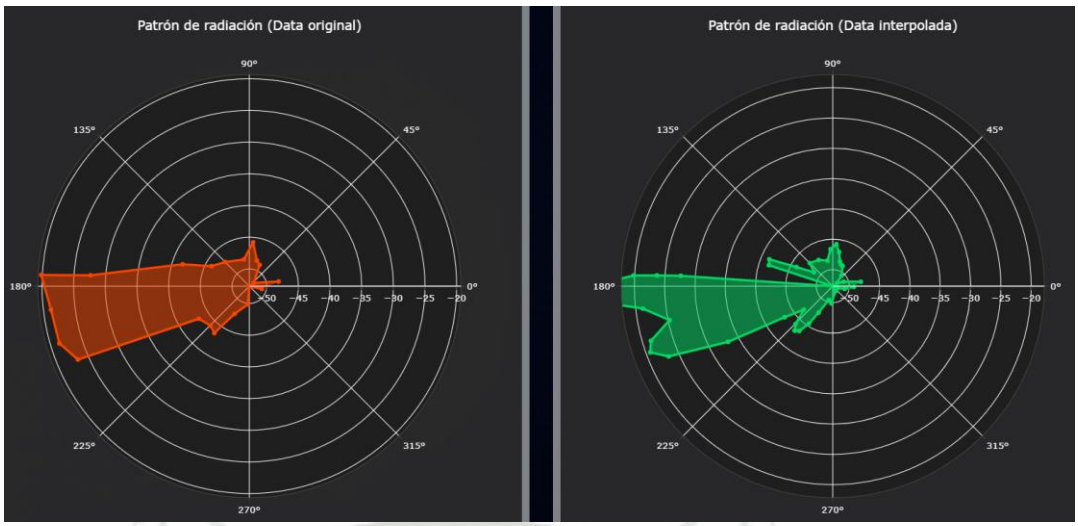


Figura 108: Patrones de radiación de antena Yagi-Uda en prueba móvil distancia media: Data Original (Izquierda) y Data complementada (Derecha). Fuente: Elaboración propia

El patrón de radiación calculado y plasmado en el mapa geográfico (Figura 109), muestra cómo se tomaron las muestras mediante un desplazamiento alrededor del origen geográfico de la señal, revelando notoriamente el lóbulo de propagación principal de la señal y como se atenúa mientras se presentan obstáculos en el espacio, para un análisis a detalle se usará la capa de vista satelital sobre el mapa.



Figura 109: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda proyectado sobre mapa geográfico, capturas a distancia media. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Figura 110: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda proyectado sobre mapa geográfico, capturas a distancia media. Fuente: Elaboración propia

En la figura 110, se aplicó la vista satelital, para facilitar la interpretación de como los obstáculos entre la antena emisora y receptora afectan a la potencia de la señal recibida, se escogieron los puntos de captura (contorno amarillo), su potencia asociada (punto contorno naranja) y el punto más cercano sin obstáculos (contorno celeste) para el análisis:

Punto superior amarillo:

- Coordenadas: -16.40913, -71.52842
- Potencia asociada: -41.64520 dBm
- Potencia en punto con línea de vista más cercano: -19.82842 dBm
- Diferencias de potencia: 21.81678 dBm

Punto inferior amarillo:

- Coordenadas: -16.41005, -71.52816
- Potencia asociada: -43.25489 dBm
- Potencia en punto con línea de vista más cercano: -23.29262 dBm
- Diferencias de potencia: 19.96227 dBm

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Con la información calculada se pueden destacar los siguientes puntos:

1. **Efecto de los obstáculos en la potencia recibida:**
    - La comparación entre los puntos con "línea de vista directa" (a través del parque, contorno celeste) y aquellos con obstrucciones en el trayecto (contorno amarillo) muestran diferencias de potencia de 21.82 dBm y 19.96 dBm, representan una reducción considerable de potencia recibida.
2. **Impacto de la vegetación en la propagación:**
    - Aunque la vegetación (árboles y arbustos) introduce pequeñas irregularidades en el trayecto de la señal, su impacto es menor en comparación con las edificaciones. La señal puede atravesar hojas y ramas con cierta atenuación, sin un efecto drástico en la comunicación.
3. **Direccionalidad y cobertura:**
    - La antena Yagi al estar orientada hacia el oeste, concentra su energía en esa dirección, como se puede apreciar en la distribución de las mediciones en el mapa.
    - La propagación es eficiente en espacios abiertos, pero cuando la línea de vista se ve obstaculizada (puntos de contorno amarillo) por estructuras sólidas como edificaciones, se generan pérdidas considerables comparándolos con los puntos más cercanos (contorno celeste) con línea de vista y obstáculos de vegetación.

3.1.4 Prueba móvil en ámbito urbano larga distancia

Las condiciones de la prueba móvil fueron las siguientes:

- Tipo de medición: Antena transmisora estática, prototipo desarrollado rotando en radios y ángulos distintos.
- Ubicación de la antena transmisora: Sobre edificio de 15 metros.
- Orientación de lóbulo principal de la antena: Hacia el oeste.
- Frecuencia de transmisión: 430.00 MHz
- Entorno de medición: Urbano
- Número de muestras: 45 Muestras.
- Distancia de muestreo: Distancias variables desde 125 m. hasta 1.33 km
- Direccionalidad de antena receptora: Omnidireccional

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Modelo de propagación: Free Space Path Loss
- Ganancia configurada en SDR: 30

Las muestras obtenidas están especificadas en la siguiente tabla:

N°	Theta (°)	Distancia	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia escalada a distancia máx: 16.88 m	Potencia estimada a: 2000 m
0	2.919	261.774	-38.972413	34.5032775	-53.107709	-56.634475
1	3.169	260.518	-39.538385	33.89551	-53.715477	-57.242242
2	16.291	304.915	-39.958571	34.8421639	-52.768823	-56.295588
3	110.013	125.465	-46.108883	20.9787197	-66.632267	-70.159033
4	135.497	143.115	-44.176412	24.0544184	-63.556568	-67.083334
5	140.683	229.640	-42.082279	30.2558292	-57.355157	-60.881923
6	142.684	184.807	-39.269259	31.1822721	-56.428715	-59.95548
7	169.382	285.995	-20.158965	54.0853616	-33.525625	-37.052391
8	183.612	495.182	-20.158965	58.8534911	-28.757496	-32.284261
9	191.554	195.391	-15.171614	55.7636119	-31.847375	-35.37414
10	207.086	1277.337	-32.963546	54.2797162	-33.33127	-36.858036
11	207.248	1142.777	-31.776103	54.5002824	-33.110704	-36.63747
12	208.988	202.204	-16.12658	55.1063842	-32.504602	-36.031368
13	211.034	1298.668	-31.862233	55.5248797	-32.086107	-35.612873
14	211.840	1280.438	-29.766031	57.4982907	-30.112696	-33.639462
15	212.930	1211.852	-29.093805	57.6923376	-29.918649	-33.445415
16	213.883	1155.330	-39.833091	46.5381806	-41.072806	-44.599572
17	213.892	1154.725	-37.762305	48.6044165	-39.00657	-42.533336
18	214.841	1316.765	-36.869083	50.6382368	-36.97275	-40.499515
19	214.857	1317.149	-37.883715	49.6261377	-37.984849	-41.511615
20	215.056	1274.175	-40.550671	46.6710626	-40.939924	-44.46669
21	215.066	1274.425	-39.562409	47.6610277	-39.949959	-43.476725
22	216.225	1227.375	-32.182579	54.7141205	-32.896866	-36.423632
23	216.229	1227.647	-35.525648	51.3729715	-36.238015	-39.764781
24	217.380	1175.085	-41.780243	44.7382959	-42.872691	-46.399456
25	217.480	1326.470	-38.318485	49.2526157	-38.358371	-41.885137
26	217.486	1326.532	-36.760086	50.8114204	-36.799566	-40.326332
27	218.047	1108.134	-34.437698	51.5713004	-36.039686	-39.566452
28	218.985	982.794	-37.586334	47.3800641	-40.230923	-43.757688
29	219.032	979.855	-32.749668	52.1907188	-35.420268	-38.947033
30	219.309	1208.482	-41.424024	45.3379332	-42.273053	-45.799819
31	219.314	1208.062	-41.075465	45.6834727	-41.927514	-45.45428

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

32	219.468	977.652	-34.212185	50.7086541	-36.902333	-40.429098
33	221.897	987.456	-36.971776	48.0357284	-39.575258	-43.102024
34	227.535	1006.531	-32.979052	52.1946396	-35.416347	-38.943113
35	230.276	1019.510	-41.041856	44.2431228	-43.367864	-46.894629
36	238.101	953.539	-44.70932	39.9946054	-47.616381	-51.143147
37	238.121	953.358	-38.766756	45.9355158	-41.675471	-45.202236
38	238.132	953.286	-37.527091	47.1745264	-40.43646	-43.963226
39	269.640	449.429	-48.302342	29.8680374	-57.742949	-61.269715
40	297.195	356.456	-47.91199	28.2452727	-59.365714	-62.89248
41	332.052	487.369	-43.926497	34.9478144	-52.663172	-56.189938
42	352.315	1173.128	-47.113245	39.3908188	-48.220168	-51.746933
43	352.320	1173.131	-48.096407	38.4076774	-49.203309	-52.730075
44	352.939	976.455	-45.839086	39.0711092	-48.539877	-52.066643
45	353.413	1332.575	-49.977374	37.6336123	-49.977374	-53.50414

Tabla 17: Datos obtenidos de antena Yagi-Uda 430 MHz, prueba móvil distancia media. Fuente: Elaboración propia

El patrón de radiación generado a partir de la sesión de muestreo a larga distancia en entorno urbano es el siguiente:

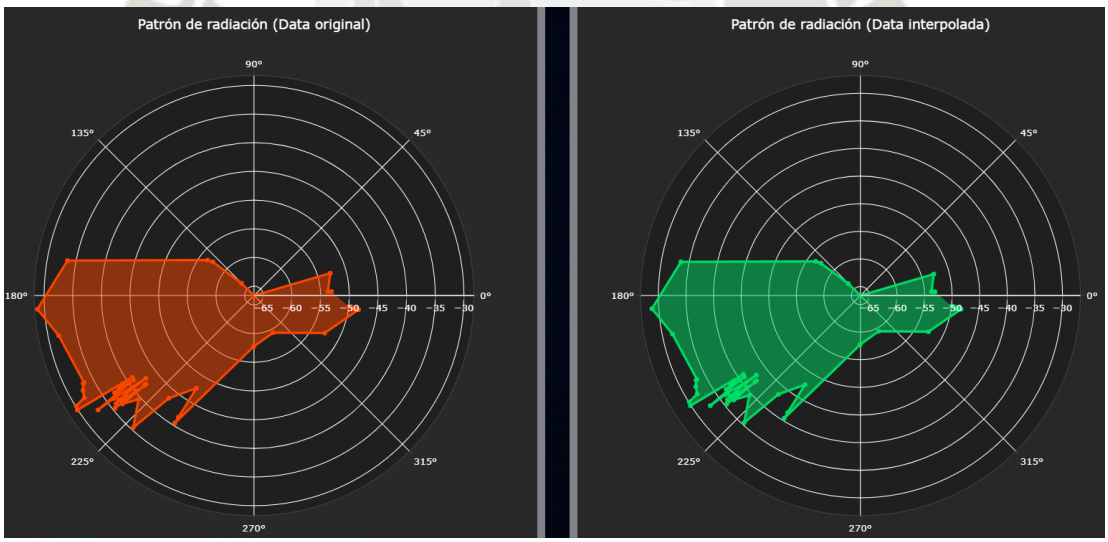


Figura 111: Patrones de radiación de antena Yagi-Uda en prueba móvil urbana a larga distancia: Data Original (Izquierda) y Data complementada (Derecha). Fuente: Elaboración propia

El patrón de radiación proyectado en el mapa geográfico se puede observar en la Figura 112, en base a la información y gráficos obtenidos, se puede determinar:

- Forma del área de cobertura: Asimétrica, densidad de propagación mayor hacia el área oeste de la antena.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Direccionalidad: Se nota una tendencia de mayor densidad hacia el sector oeste, lo que demuestra la dirección teórica del lóbulo principal de radiación de la antena Yagi-Uda.
- Atenuación urbana: En los extremos norte, sur y este, las mediciones son menos densas y dispersas, sugiriendo la baja emisión de potencia en estas direcciones y una fuerte atenuación por obstáculos urbanos como edificios, árboles y/o estructuras metálicas.
- Distorsión del modelo ideal de patrón de espacio libre: A pesar de conservar su direccionalidad inherente, el patrón sufre de una considerable distorsión, en lugar de un lóbulo limpio y uniforme, se perciben asimetrías, picos y valles entre medidas cercanas y zonas de sombra electromagnética.
- Reflexión y multitrayectoria: Las muestras con irregularidades de potencia entre sus valores vecinos más cercanos indican presencia de reflexiones/rebotes de señal causadas por estructuras de concreto o metálicas, lo cual es común en entornos urbanos complejos. Este fenómeno introduce señales de múltiples trayectorias que pueden generar una interferencia destructiva o constructiva, alterando la intensidad medida.
- Lóbulos secundarios: La aparición lóbulos no previstos en comparación al patrón de radiación con línea de vista directa (Figura 108) puede atribuirse a la influencia de reflexiones, difracciones y absorciones del entorno urbano. Estos lóbulos secundarios representan rutas alternas de propagación generadas por las interacciones complejas de las ondas electromagnéticas con su entorno, y reflejan una modificación importante del comportamiento teórico del sistema emisor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



Figura 112: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda proyectado sobre mapa geográfico, capturas a distancia media. Fuente: Elaboración propia

3.1.5 Prueba móvil en ámbito rural

Las condiciones de la prueba móvil fueron las siguientes:

- Tipo de medición: Antena transmisora estática, prototipo desarrollado rotando en radios y ángulos distintos.
- Ubicación de la antena transmisora: Sobre edificio de 12 metros.
- Orientación de lóbulo principal de la antena: Hacia el oeste.
- Frecuencia de transmisión: 430.00 MHz
- Entorno de medición: Urbano
- Número de muestras: 66 Muestras.
- Distancia de muestreo: Distancias variables
- Direccionalidad antena receptora: Omnidireccional
- Modelo de propagación: Free Space Path Loss
- Ganancia configurada en SDR: 25
- Potencia estimada adicional: 3000 metros

Las muestras obtenidas están especificadas en la siguiente tabla:

N°	Theta (°)	Distancia	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia escalada a distancia máx: 16.88 m	Potencia estimada a: 250 m
0	10.970	401.757	-43.44849	33.74793	-63.234872	-60.911647
1	35.298	322.349	-44.983911	30.2997774	-66.683025	-64.3598
2	45.035	321.616	-44.985114	30.2788	-66.704002	-64.380777
3	75.724	264.945	-37.195886	36.3843713	-60.598431	-58.275206
4	82.951	118.947	-20.162929	46.461258	-50.521544	-48.198319

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5	107.981	235.538	-28.439637	44.1187435	-52.864058	-50.540834
6	131.477	244.825	-24.219495	48.6747642	-48.308038	-45.984813
7	133.557	1000.646	-40.888167	44.2345911	-52.748211	-50.424986
8	133.725	1535.537	-43.513715	45.3286442	-51.654158	-49.330933
9	134.354	1920.823	-44.838562	45.948336	-51.034466	-48.711241
10	134.666	1695.074	-39.393549	50.3073761	-46.675426	-44.352201
11	135.088	2249.032	-44.954133	47.2029333	-49.779869	-47.456644
12	137.847	2292.582	-44.74975	47.5738983	-49.408904	-47.085679
13	141.020	388.434	-14.753419	62.1500676	-34.832734	-32.50951
14	141.903	588.465	-24.376897	56.1346668	-40.848135	-38.524911
15	142.173	2477.539	-44.959794	48.0377704	-48.945032	-46.621807
16	150.099	2343.433	-44.94841	47.565793	-49.417009	-47.093784
17	155.172	2294.270	-44.014157	48.3158838	-48.666918	-46.343694
18	159.280	2316.751	-42.726489	49.6882527	-47.294549	-44.971325
19	160.752	1959.523	-44.267001	46.6931592	-50.289643	-47.966418
20	163.041	2248.407	-44.243424	47.9112256	-49.071576	-46.748352
21	163.919	1935.013	-39.40022	51.4506101	-45.532192	-43.208967
22	164.893	2058.420	-44.783546	46.6042865	-50.378515	-48.055291
23	164.894	2058.173	-44.793051	46.5937383	-50.389064	-48.065839
24	169.323	2110.202	-36.653438	54.950194	-42.032608	-39.709383
25	170.884	2482.246	-37.929504	55.0845457	-41.898256	-39.575032
26	171.728	2936.367	-39.467601	55.0057576	-41.977044	-39.65382
27	171.738	2744.523	-31.871098	62.0153899	-34.967412	-32.644188
28	173.690	3163.404	-44.765799	50.3544454	-46.628357	-44.305132
29	176.491	3404.819	-42.684106	53.0749258	-43.907876	-41.584652
30	176.734	3501.539	-41.64845	54.3538818	-42.62892	-40.305696
31	176.735	3501.552	-42.588697	53.4136656	-43.569136	-41.245912
32	176.838	3686.477	-44.875109	51.5742745	-45.408527	-43.085303
33	176.838	3686.475	-44.83958	51.6097988	-45.373003	-43.049779
34	181.796	3778.859	-40.894179	55.7701865	-41.212615	-38.889391
35	182.019	66.940	-5.16696	56.463915	-40.518887	-38.195662
36	185.869	3906.377	-44.670788	52.2818481	-44.700954	-42.377729
37	185.870	3906.424	-44.432138	52.5206021	-44.4622	-42.138975
38	185.878	3906.563	-43.547429	53.405621	-43.577181	-41.253956
39	189.389	3919.968	-44.863176	52.1196259	-44.863176	-42.539952
40	189.813	1255.559	-44.267084	42.826812	-54.15599	-51.832765
41	189.925	3517.570	-42.947647	53.0943609	-43.888441	-41.565217
42	189.998	1606.074	-30.073189	59.1592729	-37.823529	-35.500305
43	192.180	2857.297	-36.181331	58.0549309	-38.927871	-36.604647

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

44	193.786	2510.777	-38.887833	54.2254813	-42.757321	-40.434096
45	193.931	1127.074	-35.403156	50.7530461	-46.229756	-43.906531
46	193.935	1127.019	-35.12308	51.0326939	-45.950108	-43.626884
47	195.703	1880.646	-37.180925	53.4223684	-43.560434	-41.237209
48	196.400	2104.358	-35.793453	55.786092	-41.19671	-38.873485
49	196.479	651.142	-22.484889	58.9057746	-38.077027	-35.753803
50	197.616	1903.796	-32.78777	57.9217903	-39.061012	-36.737787
51	198.009	819.611	-31.975904	51.4134084	-45.569393	-43.246169
52	198.479	1072.541	-34.369137	51.3562922	-45.62651	-43.303285
53	198.482	1072.355	-34.670862	51.0530658	-45.929736	-43.606512
54	199.286	590.049	-16.283718	64.2511954	-32.731607	-30.408382
55	203.680	552.371	-24.134374	55.8273937	-41.155408	-38.832184
56	203.686	552.281	-24.088999	55.8713506	-41.111451	-38.788227
57	206.979	474.097	-17.113874	61.5206133	-35.462189	-33.138964
58	216.591	322.970	-15.170032	60.1303744	-36.852428	-34.529203
59	231.652	225.397	-29.905239	42.2708741	-54.711928	-52.388703
60	247.297	126.506	-27.840463	39.3188903	-57.663912	-55.340687
61	253.489	222.951	-27.186543	44.8948144	-52.087988	-49.764763
62	257.937	273.846	-36.93789	36.9293946	-60.053407	-57.730183
63	288.067	133.478	-30.780083	36.8452546	-60.137547	-57.814323
64	331.455	640.486	-44.411092	36.8362498	-60.146552	-57.823328
65	355.160	498.504	-43.973127	35.0974031	-61.885399	-59.562174

Tabla 18: Datos obtenidos de antena Yagi-Uda 430 MHz, prueba móvil distancia media. Fuente: Elaboración propia

El patrón de radiación resultante de las muestras tomadas es el siguiente:

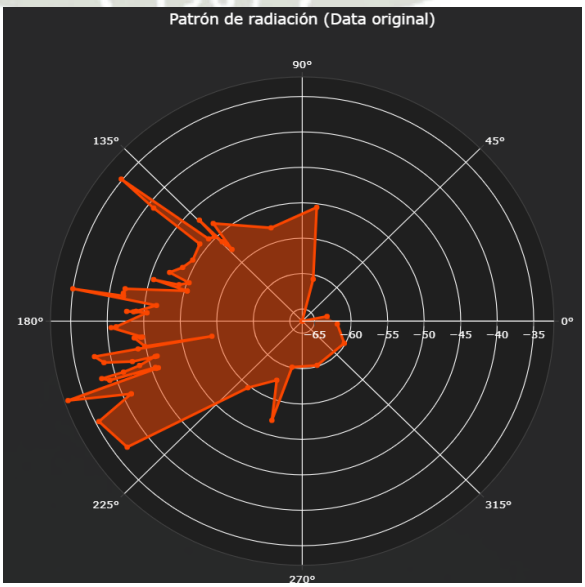


Figura 113: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda ámbito rural. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para el análisis de la propagación de la antena Yagi sobre el espacio geográfico será necesario referenciarse en el patrón de radiación estimado proyectado sobre la vista de mapa presentado en la siguiente figura:

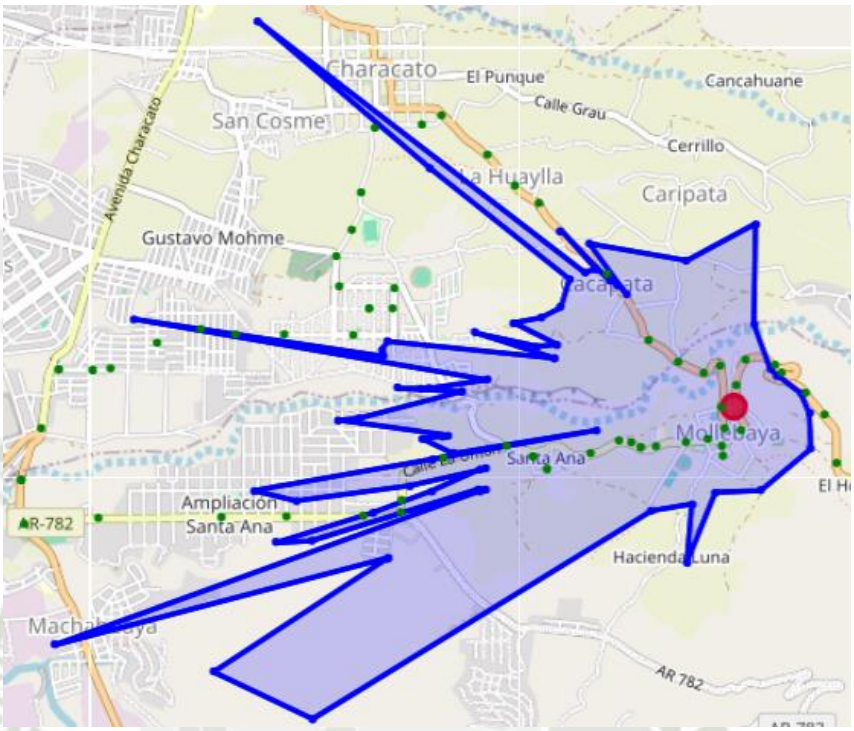


Figura 114: Patrón de radiación de antena Yagi-Uda ámbito rural proyectado en mapa. Fuente: Elaboración propia

Como rasgo principal se observa la direccionalidad de la antena hacia el oeste geográfico, indicando una correcta alineación con la orientación esperada del patrón de radiación. La propagación de la señal muestra un amplio alcance en zonas abiertas, pero se producen atenuaciones y bloqueos notorios en áreas urbanas densas como las presentadas en el sector oeste de la antena a aproximadamente 2 kilómetros del punto de origen de la señal.

Adicionalmente se puede observar como un obstáculo topográfico (como la presencia de una montaña en la sesión de prueba) afecta de manera drástica la propagación de la señal, se realizará un acercamiento a la imagen, aplicación de vista satelital y selección de muestras para el análisis:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



Figura 115: Acercamiento de sección patrón de radiación antena Yagi-Uda ámbito rural proyectado en mapa.
Fuente: Elaboración propia

Se comparan las siguientes muestras de potencia:

- Muestra con línea de vista directa:
  - Color de contorno: Verde limón
  - Potencia escalada: -50.52154 dBm
  - Ángulo: 82.951°
- Muestra con obstáculo geográfico:
  - Color de contorno: Naranja
  - Potencia escalada: -60.59843 dBm
  - Ángulo: 75.724°

La presencia de un obstáculo geográfico como la montaña en este caso, introduce una pérdida drástica de 10.02 dB, equivalente a un factor de 10 veces menos de potencia en escala logarítmica, confirmándose pérdida debido a los fenómenos de difracción, absorción y reflexiones posibles en la superficie de la montaña. De igual forma las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

muestras delimitadas con contorno celeste (capturadas en la parte posterior de la montaña) presentan valores de potencia de -66.704 dBm y -66.683 dBm, demostrando que a pesar de tener una cercanía con la antena emisora, la señal se ve intensamente afectada por la presencia de la montaña en la propagación.

3.2 Prueba de antena dipolo diseñada

A continuación, se describirán las condiciones de prueba, resultados obtenidos y comparación entre las gráficas de patrón de radiación simuladas y las obtenidas a través de las sesiones de muestreo para la antena dipolo.

3.2.1 Prueba estática

Las condiciones de la prueba estática fueron las siguientes:

- Tipo de medición: Antena transmisora rotando, prototipo desarrollado en posición fija.
- Frecuencia de transmisión: 430.00 MHz.
- Entorno de medición: Campo abierto, sin obstáculos y línea de vista directa.
- Número de muestras: 24 Muestras.
- Periodicidad de muestreo: Cada 15 grados.
- Distancia de muestreo fija: 12.76 metros.
- Estimación de potencia a distancia mayor: 250 metros
- 59Polarización: Polarización horizontal
- M60odelo de propagación: Free Space Path Loss
- Modelo de propagación para estimación: Free Space Path Loss
- Interpolación aplicada: 2 puntos.

Las muestras obtenidas están especificadas en la siguiente tabla:

N°	Theta (°)	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia estimada a: 250 m.
0	0.000	-1.1551577	46.038069	-27.037883
1	15.000	-1.8775842	45.3156426	-27.76031
2	30.000	-2.9129346	44.2802922	-28.79566
3	45.000	-4.0827859	43.1104409	-29.965512
4	60.000	-6.2731467	40.92008	-32.155872
5	75.000	-9.6094699	37.5837569	-35.492196
6	90.000	-16.508023	30.6852034	-42.390749

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

7	105.000	-18.209502	28.9837248	-44.092228
8	120.000	-11.424446	35.7687805	-37.307172
9	135.000	-6.5713713	40.6218555	-32.454097
10	150.000	-3.2235149	43.9697118	-29.106241
11	165.000	-2.14993	45.0432967	-28.032656
12	180.000	-1.5524892	45.6407376	-27.435215
13	195.000	-1.6119803	45.5812464	-27.494706
14	210.000	-2.9282493	44.2649775	-28.810975
15	225.000	-4.7507385	42.4424883	-30.633464
16	240.000	-7.5493672	39.6438595	-33.432093
17	255.000	-10.471749	36.7214776	-36.354475
18	270.000	-15.578914	31.6143123	-41.46164
19	285.000	-20.340676	26.8525503	-46.223402
20	300.000	-14.337672	32.8555547	-40.220398
21	315.000	-8.4330903	38.7601364	-34.315816
22	330.000	-5.4187417	41.774485	-31.301467
23	345.000	-3.4348948	43.7583319	-29.317621

Tabla 19: Datos obtenidos de antena Dipolo 430 Mhz a 12.76 m. Fuente: Elaboración propia

La Tabla 20 presenta las muestras complementadas con los datos generados a partir del algoritmo de interpolación.

N°	Theta (°)	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia estimada a: 250 m.
0	0.000	-1.1551577	46.03806904	-27.037883
1	5.000	-1.3681521	45.82507461	-27.250878
2	10.000	-1.6020074	45.59121939	-27.484733
3	15.000	-1.8775842	45.3156426	-27.76031
4	20.000	-2.2064723	44.98675445	-28.089198
5	25.000	-2.5631775	44.63004922	-28.445903
6	30.000	-2.9129346	44.2802922	-28.79566
7	35.000	-3.2398641	43.95336265	-29.12259
8	40.000	-3.603631	43.58959579	-29.486357
9	45.000	-4.0827859	43.11044086	-29.965512
10	50.000	-4.72903	42.4641967	-30.611756
11	55.000	-5.486666	41.70656074	-31.369392
12	60.000	-6.2731467	40.92008003	-32.155872
13	65.000	-7.0662689	40.12695781	-32.948995
14	70.000	-8.0852047	39.10802204	-33.96793

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

15	75.000	-9.6094699	37.58375687	-35.492196
16	80.000	-11.7889	35.40432709	-37.671625
17	85.000	-14.254607	32.93861996	-40.137333
18	90.000	-16.508023	30.6852034	-42.390749
19	95.000	-18.09505	29.09817674	-43.977776
20	100.000	-18.739462	28.45376505	-44.622187
21	105.000	-18.209502	28.98372483	-44.092228
22	110.000	-16.427807	30.76541935	-42.310533
23	115.000	-13.934588	33.25863888	-39.817314
24	120.000	-11.424446	35.76878048	-37.307172
25	125.000	-9.4376468	37.75557997	-35.320373
26	130.000	-7.8970984	39.29612836	-33.779824
27	135.000	-6.5713713	40.62185548	-32.454097
28	140.000	-5.2903206	41.9029061	-31.173046
29	145.000	-4.1289418	43.06428498	-30.011668
30	150.000	-3.2235149	43.96971182	-29.106241
31	155.000	-2.6638086	44.52941819	-28.546534
32	160.000	-2.3535438	44.83968292	-28.23627
33	165.000	-2.14993	45.04329672	-28.032656
34	170.000	-1.9398581	45.2533687	-27.822584
35	175.000	-1.7289449	45.46428185	-27.611671
36	180.000	-1.5524892	45.64073759	-27.435215
37	185.000	-1.4468682	45.74635853	-27.329594
38	190.000	-1.4527748	45.74045198	-27.335501
39	195.000	-1.6119803	45.58124641	-27.494706
40	200.000	-1.9477803	45.24544648	-27.830506
41	205.000	-2.4095651	44.78366163	-28.292291
42	210.000	-2.9282493	44.26497746	-28.810975
43	215.000	-3.4575582	43.7356686	-29.340284
44	220.000	-4.0424611	43.15076567	-29.925187
45	225.000	-4.7507385	42.44248829	-30.633464
46	230.000	-5.6226057	41.57062106	-31.505331
47	235.000	-6.5880184	40.60520836	-32.470744
48	240.000	-7.5493672	39.64385954	-33.432093
49	245.000	-8.4475173	38.74570942	-34.330243
50	250.000	-9.377232	37.81599472	-35.259958
51	255.000	-10.471749	36.72147763	-36.354475
52	260.000	-11.845878	35.34734916	-37.728603
53	265.000	-13.540711	33.65251566	-39.423437

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

54	270.000	-15.578914	31.61431227	-41.46164
55	275.000	-17.848348	29.34487846	-43.731074
56	280.000	-19.697656	27.49557083	-45.580382
57	285.000	-20.340676	26.85255028	-46.223402
58	290.000	-19.256703	27.93652342	-45.139429
59	295.000	-16.986847	30.2063798	-42.869573
60	300.000	-14.337672	32.85555467	-40.220398
61	305.000	-11.976973	35.21625343	-37.859699
62	310.000	-10.017465	37.17576199	-35.900191
63	315.000	-8.4330903	38.76013642	-34.315816
64	320.000	-7.1884803	40.00474645	-33.071206
65	325.000	-6.2110102	40.9822166	-32.093736
66	330.000	-5.4187417	41.77448505	-31.301467
67	335.000	-4.7334823	42.45974443	-30.616208
68	340.000	-4.0920216	43.10120512	-29.974747
69	345.000	-3.4348948	43.75833192	-29.317621
70	350.000	-2.7167219	44.4765049	-28.599448
71	355.000	-1.9484616	45.24476515	-27.831187

Tabla 20: Datos post - interpolación, antena Dipolo 430 Mhz a 12.76 m. Fuente: Elaboración propia

El software hará uso de los datos para la creación de los gráficos de patrón de radiación en una presentación en paralelo, donde:

- Gráfico 1:
  - Origen: Datos obtenidos del muestreo de la señal.
  - Color de trazado: Rojo, #rgba (250,70,0,1)
  - Tipo: Gráfico polar
  - Escala: dBm
  - Número de muestras: 24 muestras
- Gráfico 2:
  - Origen: Datos de muestreo de la señal complementados con interpolación.
  - Color de trazado: Verde, #rgba (0,220,100,1)
  - Tipo: Gráfico polar
  - Escala: dBm
  - Número de muestras: 71 muestras
  - N° de puntos interpolados entre muestras: 2 puntos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

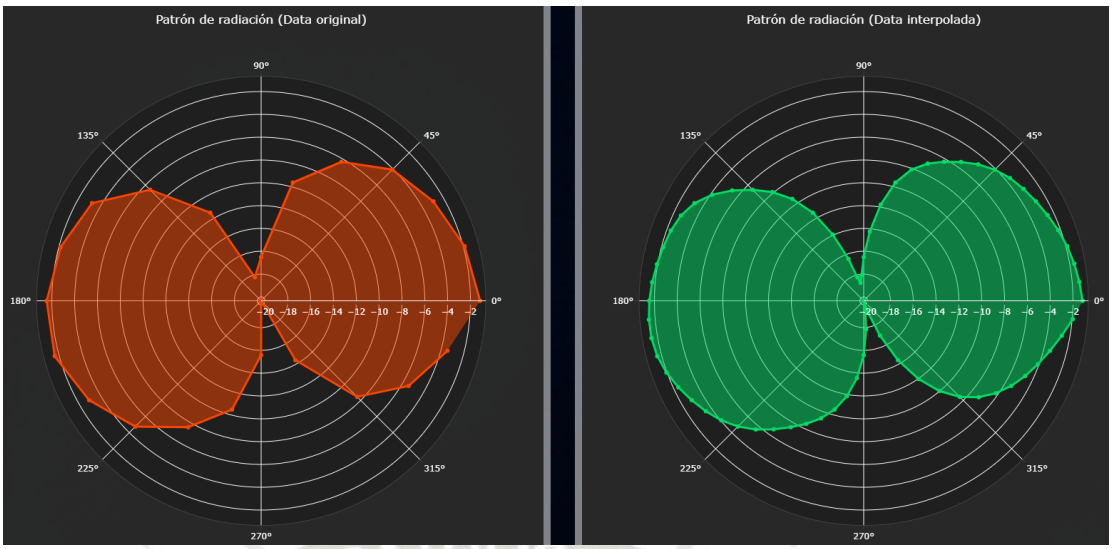


Figura 116: Patrones de radiación de antena dipolo: Data Original (Izquierda) y Data complementada (Derecha).
Fuente: Elaboración propia

En comparación con los diagramas polares de radiación obtenidos a través de las muestras en campo y los gráficos obtenidos de la simulación de la antena Dipolo (*Fig. 76)*, se puede destacar lo siguiente:

- Similitud general en comportamiento de radiación:
  - Ambas figuras presentan dos lóbulos principales en direcciones opuestas (0° y 180°).
  - Se presenta simetría bilateral típica.
  - Caída abrupta de radiación en los extremos perpendiculares al dipolo ($\pm$**90**°).
- Diferencias:
  - En la medición real, las caídas de potencia en las zonas perpendiculares no son tan abruptas como en la simulación, puede deberse a reflexión de ondas, ruido electromagnético.
- Consideraciones:
  - Para la medición real el punto de orientación del lóbulo principal está en el ángulo 0° y 180°.
  - Para la simulación el punto de orientación del lóbulo principal está en el ángulo 0° y 180°.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.2.2 Prueba móvil

Las condiciones de la prueba móvil fueron las siguientes:

- Tipo de medición: Antena transmisora estática, prototipo desarrollado rotando en radios distintos.
- Frecuencia de transmisión: 430.00 MHz.
- Entorno de medición: Campo abierto, sin obstáculos y línea de vista directa.
- Número de muestras: 22 Muestras.
- Distancia de muestreo: Distancias variables.
- Polarización: Polarización horizontal
- Modelo de propagación: Free Space Path Loss
- Modelo de propagación para estimación: Free Space Path Loss
- Interpolación aplicada: 2 puntos.

Las muestras obtenidas están especificadas en la siguiente tabla:

N°	Theta (°)	Distancia	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia escalada a distancia máx: 16.79 m	Potencia estimada a: 250 m
0	4.999	12.760	-1.7506844	45.4831668	-4.1361123	-27.592786
1	11.355	12.330	-1.5102271	45.4262912	-4.192988	-27.649661
2	22.562	13.283	-1.9066434	45.676529	-3.9427502	-27.399424
3	39.390	12.674	-3.1053017	44.0704586	-5.5488206	-29.005494
4	56.642	11.316	-5.0511949	41.1396686	-8.4796106	-31.936284
5	79.591	10.627	-8.9835515	36.6619784	-12.957301	-36.413974
6	100.553	11.066	-17.63392	28.3628418	-21.256437	-44.713111
7	118.576	11.670	-13.044626	33.4140322	-16.205247	-39.66192
8	138.429	13.378	-8.5145019	39.1306536	-10.488626	-33.945299
9	154.323	13.216	-4.5079812	43.0312358	-6.5880433	-30.044717
10	185.498	13.734	-2.0063415	45.8668533	-3.7524259	-27.209099
11	197.240	13.570	-1.791452	45.9769773	-3.6423019	-27.098975
12	208.861	13.093	-0.8207595	46.6369837	-2.9822954	-26.438969
13	222.170	12.257	-1.8697146	45.0150781	-4.6042011	-28.060874
14	234.528	12.652	-6.3688059	40.7917423	-8.8275369	-32.28421
15	253.327	16.792	-21.121517	28.497762	-21.121517	-44.57819
16	266.683	15.055	-20.231389	28.4394186	-21.179861	-44.636534
17	279.349	13.241	-19.166803	28.3889604	-21.230319	-44.686992

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

18	294.413	12.517	-18.904679	28.1622053	-21.457074	-44.913747
19	311.727	12.714	-9.0982627	38.1044324	-11.514847	-34.97152
20	336.723	11.302	-3.8426381	42.3376687	-7.2816104	-30.738284
21	354.561	11.340	-1.853055	44.3562379	-5.2630412	-28.719715

Tabla 21: Datos obtenidos de antena Dipolo 430 MHz, radios variables. Fuente: Elaboración propia

La Tabla 22 presenta las muestras complementadas con los datos generados a partir del algoritmo de interpolación, las muestras originales se encuentran resaltadas, mientras que las restantes corresponden a los valores estimados mediante el proceso de interpolación.

N°	Theta (°)	Distancia	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia escalada a distancia máx: 16.79 m	Potencia estimada a: 250 m
0	4.999	12.760	-1.7506844	45.4831668	-4.1361123	-27.592786
1	7.118	12.552	-1.645402	45.4453656	-4.1739136	-27.630587
2	9.237	12.393	-1.558967	45.4216963	-4.1975828	-27.654256
3	11.355	12.330	-1.5102271	45.4262912	-4.192988	-27.649661
4	15.091	12.519	-1.5464939	45.5162179	-4.1030613	-27.559735
5	18.826	12.917	-1.698604	45.6342051	-3.9850741	-27.441747
6	22.562	13.283	-1.9066434	45.676529	-3.9427502	-27.399424
7	28.171	13.416	-2.2364088	45.4420491	-4.1772301	-27.633903
8	33.780	13.144	-2.6162685	44.8807807	-4.7384985	-28.195172
9	39.390	12.674	-3.1053017	44.0704586	-5.5488206	-29.005494
10	45.140	12.175	-3.7496839	43.0735487	-6.5457304	-30.002404
11	50.891	11.714	-4.4414661	42.0466047	-7.5726744	-31.029348
12	56.642	11.316	-5.0511949	41.1396686	-8.4796106	-31.936284
13	64.292	10.918	-5.6934943	40.1908406	-9.4284386	-32.885112
14	71.942	10.685	-6.7435997	38.9536658	-10.665613	-34.122287
15	79.591	10.627	-8.9835515	36.6619784	-12.957301	-36.413974
16	86.579	10.722	-12.36562	33.3522004	-16.267079	-39.723752
17	93.566	10.894	-15.785012	30.0702266	-19.549053	-43.005726
18	100.553	11.066	-17.63392	28.3628418	-21.256437	-44.713111
19	106.561	11.179	-17.084049	29.0099785	-20.609301	-44.065974
20	112.569	11.344	-15.211833	31.011465	-18.607814	-42.064487
21	118.576	11.670	-13.044626	33.4140322	-16.205247	-39.66192
22	125.194	12.276	-11.241969	35.6400692	-13.97921	-37.435883
23	131.812	12.936	-9.880924	37.4582368	-12.161042	-35.617716
24	138.429	13.378	-8.5145019	39.1306536	-10.488626	-33.945299

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

25	143.727	13.439	-7.1891753	40.5004013	-9.1188778	-32.575551
26	149.025	13.335	-5.7837338	41.8366287	-7.7826504	-31.239324
27	154.323	13.216	-4.5079812	43.0312358	-6.5880433	-30.044717
28	164.714	13.276	-2.8613807	44.7125642	-4.9067149	-28.363388
29	175.106	13.550	-2.1508657	45.6016047	-4.0176745	-27.474348
30	185.498	13.734	-2.0063415	45.8668533	-3.7524259	-27.209099
31	189.412	13.722	-2.0127035	45.852589	-3.7666902	-27.223364
32	193.326	13.664	-1.9675192	45.8604067	-3.7588724	-27.215546
33	197.240	13.570	-1.791452	45.9769773	-3.6423019	-27.098975
34	201.113	13.448	-1.4511318	46.2410346	-3.3782445	-26.834918
35	204.987	13.292	-1.0718998	46.5199062	-3.099373	-26.556046
36	208.861	13.093	-0.8207595	46.6369837	-2.9822954	-26.438969
37	213.297	12.811	-0.8548337	46.4058634	-3.2134157	-26.670089
38	217.733	12.515	-1.2223545	45.8316428	-3.7876363	-27.24431
39	222.170	12.257	-1.8697146	45.0150781	-4.6042011	-28.060874
40	226.289	12.116	-2.7364497	44.0716687	-5.5476104	-29.004284
41	230.409	12.200	-4.1266745	42.7494607	-6.8698184	-30.326492
42	234.528	12.652	-6.3688059	40.7917423	-8.8275369	-32.28421
43	240.795	14.126	-11.581137	36.4558541	-13.163425	-36.620098
44	247.061	15.826	-17.255166	31.7822732	-17.837006	-41.293679
45	253.327	16.792	-21.121517	28.497762	-21.121517	-44.57819
46	257.779	16.619	-21.795746	27.7477227	-21.871556	-45.32823
47	262.231	15.927	-21.227322	27.9387878	-21.680491	-45.137165
48	266.683	15.055	-20.231389	28.4394186	-21.179861	-44.636534
49	270.905	14.318	-19.517455	28.716075	-20.903204	-44.359877
50	275.127	13.715	-19.159989	28.7002252	-20.919054	-44.375727
51	279.349	13.241	-19.166803	28.3889604	-21.230319	-44.686992
52	284.371	12.838	-19.535023	27.753692	-21.865587	-45.322261
53	289.392	12.600	-19.693117	27.4326998	-22.186579	-45.643253
54	294.413	12.517	-18.904679	28.1622053	-21.457074	-44.913747
55	300.184	12.579	-16.26056	30.8498908	-18.769388	-42.226062
56	305.956	12.692	-12.59211	34.5974612	-15.021818	-38.478491
57	311.727	12.714	-9.0982627	38.1044324	-11.514847	-34.97152
58	320.059	12.408	-5.9992019	40.9802862	-8.6389929	-32.095666
59	328.391	11.857	-4.626207	41.9545834	-7.6646958	-31.121369
60	336.723	11.302	-3.8426381	42.3376687	-7.2816104	-30.738284
61	342.669	11.041	-3.1256088	42.8670745	-6.7522047	-30.208878
62	348.615	11.016	-2.3792841	43.5956287	-6.0236504	-29.480324
63	354.561	11.340	-1.853055	44.3562379	-5.2630412	-28.719715

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

64	358.040	11.725	-1.7296122	44.7575718	-4.8617074	-28.318381
65	1.520	13.078	-1.9148355	45.5386832	-4.0805959	-27.537269

Tabla 22: Datos post - interpolación, captura móvil, antena Dipolo 430 Mhz. Fuente: Elaboración propia

El software hará uso de los datos de ambas tablas para la creación de los gráficos de patrón de radiación en una presentación en paralelo, donde:

- Gráfico 1:
  - Origen: Datos obtenidos del muestreo de la señal.
  - Color de trazado: Rojo, #rgba (250,70,0,1)
  - Tipo: Gráfico polar
  - Escala: dBm
  - Número de muestras: 22 muestras
- Gráfico 2:
  - Origen: Datos de muestreo de la señal complementados con interpolación.
  - Color de trazado: Verde, #rgba (0,220,100,1)
  - Tipo: Gráfico polar
  - Escala: dBm
  - Número de muestras: 66 muestras
  - N° de puntos interpolados entre muestras: 2 puntos

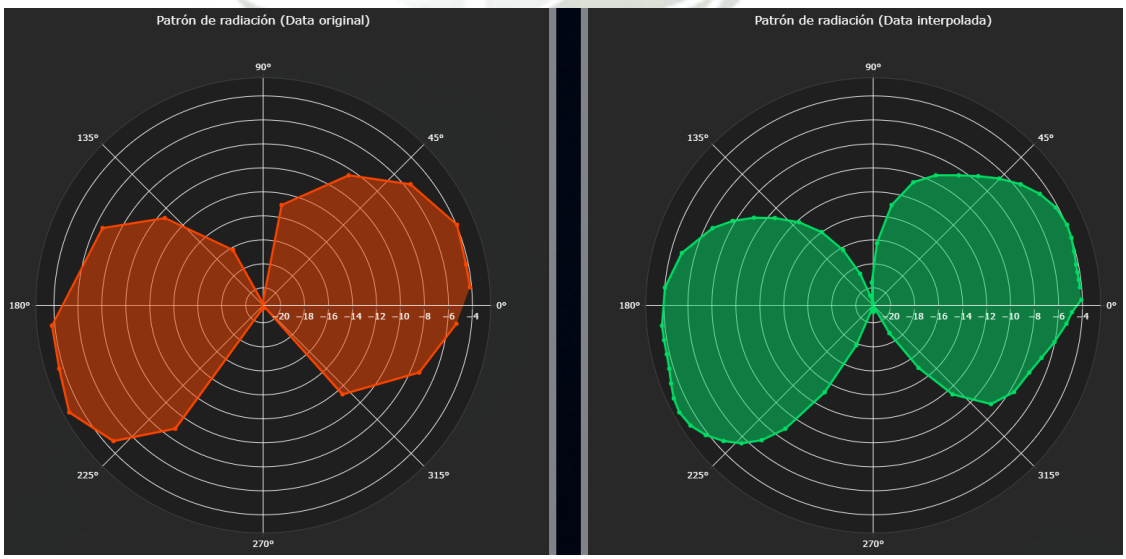


Figura 117: Patrones de radiación de antena Yagi-Uda en prueba móvil: Data Original (Izquierda) y Data complementada (Derecha). Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Comparando los diagramas polares de radiación resultantes de las muestras obtenidas con un radio estático, se puede destacar lo siguiente:

- Similitud en comportamiento de radiación:
  - Presencia de patrón simétrico y limpio, lóbulos opuestos definidos.
  - Valores de potencia en dBm cercanos y correlacionados respecto a los ángulos.
- Diferencias:
  - La sesión de captura estática al ser realizada con un radio constante, presenta un patrón de radiación más estable, simétrico y predecible.
  - Los puntos escalados mediante FSPL en la sesión de captura móvil muestran más variabilidad, especialmente en el gráfico sin interpolación.
- Consideraciones:
  - Tanto para la medición móvil como para la estática, se orientó la antena dipolo con los elementos de forma paralela hacia el equipo de medición, de igual forma la antena receptora se orientó paralela a la antena emisora.

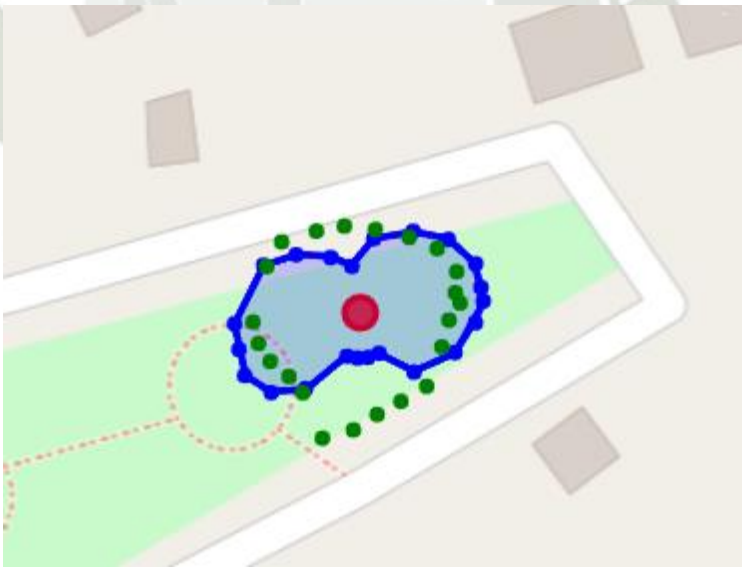


Figura 118: Patrón de radiación de antena dipolo proyectado sobre mapa geográfico. Fuente: Elaboración propia

Al proyectar el patrón de radiación en el mapa geográfico, se observa que los puntos de medición de la señal (representados en color verde) fueron tomados alrededor de la antena objetivo, sin mantener un radio constante ni una distribución angular uniforme entre muestras. A partir de estos datos, tras su normalización, se generó el patrón de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

radiación mostrado en la imagen. Este patrón se escaló con base en el radio máximo registrado y se representó visualmente para estimar cómo se propaga la señal de la antena en el espacio geográfico. La prueba se realizó en un área abierta sin obstáculos, permitiendo una observación más precisa del comportamiento de la radiación electromagnética en el entorno.

3.2.3 Prueba móvil a larga distancia en ámbito rural

Las condiciones de la prueba móvil fueron las siguientes:

- Tipo de medición: Antena transmisora estática, prototipo desarrollado rotando en radios y ángulos distintos.
- Ubicación de la antena transmisora: Sobre edificio de 15 metros.
- Orientación de lóbulos principales de la antena: Hacia el norte y sur.
- Frecuencia de transmisión: 430.00 MHz
- Entorno de medición: Rural.
- Número de muestras: 51 Muestras.
- Distancia de muestreo: Distancias variables
- Direccionalidad antena receptora: Omnidireccional
- Modelo de propagación: Free Space Path Loss
- Ganancia configurada en SDR: 25
- Potencia estimada adicional: 3000 metros
- Modelo de propagación estimación de potencia a mayor distancia: Okumura-Hata

Las muestras obtenidas están especificadas en la siguiente tabla:

N°	Theta (°)	Distancia	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia escalada a distancia máx: 3930.57 m	Potencia estimada a: 3000 m
0	7.215	414.837	-46.995685	30.4790235	-66.52724	-77.37223
1	35.669	319.885	-44.770293	30.4467248	-66.559539	-77.404528
2	77.095	256.422	-30.060949	43.2353029	-53.77096	-64.61595
3	82.560	190.428	-9.0605531	61.6512204	-35.355043	-46.200033
4	82.924	127.620	-4.4351602	62.8003806	-34.205883	-45.050873
5	116.705	261.596	-16.795422	56.6743385	-40.331925	-51.176915

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

6	134.178	1515.139	-28.596345	60.1298576	-36.876406	-47.721396
7	134.605	1855.509	-39.838101	50.648315	-46.357948	-57.202938
8	134.607	1855.597	-40.473514	50.0133136	-46.99295	-57.83794
9	134.884	1680.041	-38.255397	51.3681559	-45.638107	-56.483097
10	134.889	1679.936	-29.139003	60.4840033	-36.52226	-47.36725
11	134.900	1679.800	-39.136883	50.4854202	-46.520843	-57.365833
12	134.906	1679.719	-37.782942	51.8389453	-45.167318	-56.012308
13	134.909	1679.602	-35.234592	54.3866866	-42.619577	-53.464567
14	135.065	2208.199	-40.027926	51.9699916	-45.036272	-55.881262
15	135.065	2208.148	-41.228732	50.7689837	-46.23728	-57.082269
16	135.131	793.936	-27.879144	55.2337144	-41.772549	-52.617539
17	137.846	2288.692	-39.771743	52.5371552	-44.469108	-55.314098
18	139.616	2371.650	-40.601142	52.0170232	-44.98924	-55.83423
19	140.257	349.082	-15.852777	60.1229226	-36.883341	-47.728331
20	142.058	600.178	-20.339431	60.3433163	-36.662947	-47.507937
21	151.527	2314.046	-44.130158	48.2744356	-48.731828	-59.576818
22	158.233	2312.258	-45.648033	46.7498442	-50.256419	-61.101409
23	166.382	2242.575	-47.219541	44.9125497	-52.093714	-62.938703
24	170.768	2431.493	-44.018775	48.815839	-48.190424	-59.035414
25	171.822	2744.696	-47.347281	46.5397566	-50.466507	-61.311497
26	171.825	2937.619	-44.473966	50.0030962	-47.003167	-57.848157
27	173.842	3168.351	-45.751546	49.382271	-47.623992	-58.468982
28	173.851	3168.476	-46.353547	48.7806124	-48.225651	-59.070641
29	176.693	3415.899	-45.122548	50.6647052	-46.341558	-57.186548
30	176.891	3685.522	-46.461851	49.9852819	-47.020981	-57.865971
31	181.114	3772.832	-47.594742	49.0557608	-47.950502	-58.795492
32	184.133	67.159	-26.596863	35.0623309	-61.943932	-72.788922
33	189.330	3930.570	-45.978099	51.0281647	-45.978099	-56.823088
34	189.759	1249.961	-39.066142	47.9889363	-49.017327	-59.862317
35	190.588	1789.081	-40.36939	49.8003642	-47.205899	-58.050889
36	191.790	2944.992	-45.612882	48.8859535	-48.12031	-58.9653
37	193.174	2632.378	-44.124668	49.3994478	-47.606815	-58.451805
38	196.864	689.678	-34.721997	47.1680807	-49.838183	-60.683172
39	197.454	1905.080	-40.850482	49.8649349	-47.141328	-57.986318
40	197.458	1905.153	-41.395632	49.3201172	-47.686146	-58.531136
41	205.391	533.532	-36.538876	43.1214863	-53.884777	-64.729767
42	216.887	328.923	-27.484254	47.9747922	-49.031471	-59.876461
43	240.161	267.728	-20.976779	52.6942612	-44.312002	-55.156992
44	242.755	122.447	-5.6313366	61.2447671	-35.761496	-46.606486

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

45	250.498	238.012	-15.498706	57.1504282	-39.855835	-50.700825
46	261.898	177.705	-9.34303	60.7681364	-36.238127	-47.083117
47	274.341	391.758	-14.147501	62.8300148	-34.176248	-45.021238
48	284.414	451.178	-16.030464	62.173654	-34.832609	-45.677599
49	292.033	461.480	-20.277869	58.1223457	-38.883918	-49.728907
50	301.853	121.378	-7.8876265	58.9123384	-38.093925	-48.938915
51	325.047	20.546	1.00415279	52.3759258	-44.630337	-55.475327
52	346.515	573.833	-45.015685	35.2771774	-61.729086	-72.574076

Tabla 23: Datos obtenidos de antena Yagi-Uda 430 MHz, prueba móvil larga distancia rural. Fuente: Elaboración propia

Una vez procesados los datos adquiridos, el sistema generará el patrón de radiación para la antena dipolo en zona rural:

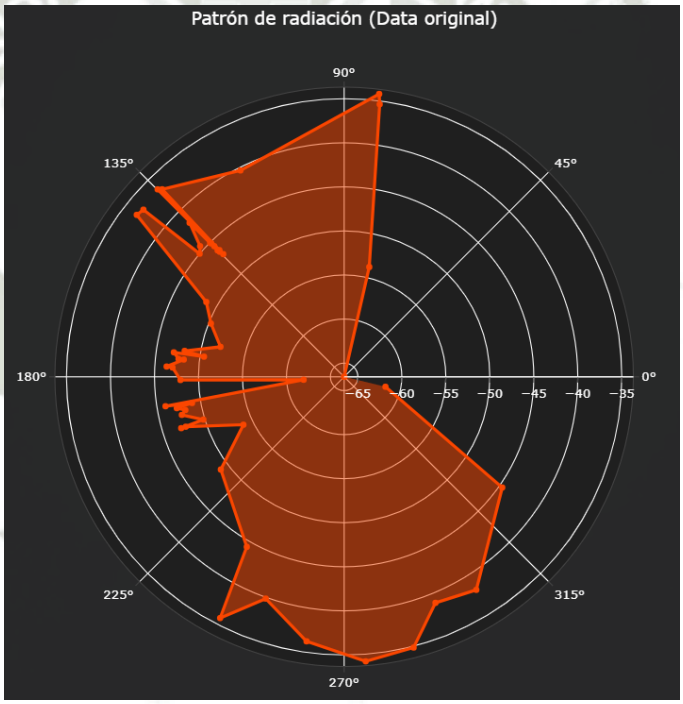


Figura 119: Patrones de radiación de antena dipolo en prueba móvil rural, larga distancia. Fuente: Elaboración propia

Según la figura resultante se puede determinar:

1. **Forma general del patrón:**
    - El patrón no presenta simetría, dado que es una medición real en entornos con obstáculos y fenómenos de propagación presentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- La mayor concentración de ganancia (valores más altos) se encuentra concentrada hacia el norte (90°) y hacia el sur (270°), indicando una clara direccionalidad en ambos sectores.
- La presencia de múltiples lóbulos secundarios hacia el cuadrante noreste (entre 135° y 180°) sugiere presencia de reflexiones e interferencias.

2. **Lóbulos y zonas de atenuación:**
    - Los lóbulos principales se presentan en los ángulos 90° y 270°, lo cual implica que la antena o sistema emisor presenta una mayor ganancia en estos ángulos; coincidiendo con el patrón de radiación característico de la antena dipolo, donde sus lóbulos principales están orientados con 180° de diferencia.
    - Por el lado este del patrón, entre (80° y 320°) se presenta una zona de sombra electromagnética, lo que indica la presencia de obstáculos físicos que bloquean drásticamente la transmisión de potencia en esta zona.
3. **Factores que afectan el patrón:**
    - Reflexión multipath: Las señales pueden rebotar en superficies como paredes, vehículos, postes, entre otros objetos, generando lóbulos inesperados.
    - Obstrucciones físicas: Objetos interpuestos en el camino entre la antena emisora y receptora generan zonas de absorción parcial de señal o zonas de sombras.
    - Interferencia electromagnética: Puede introducir errores aleatorios variables en el tiempo, generando picos irregulares.

Para comprender porque se produjeron alteraciones en el patrón de radiación obtenido en esta prueba de campo respecto al patrón característico (Fig.116 y Fig.117), se requerirá analizarlo con la proyección del patrón sobre el mapa geográfico:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

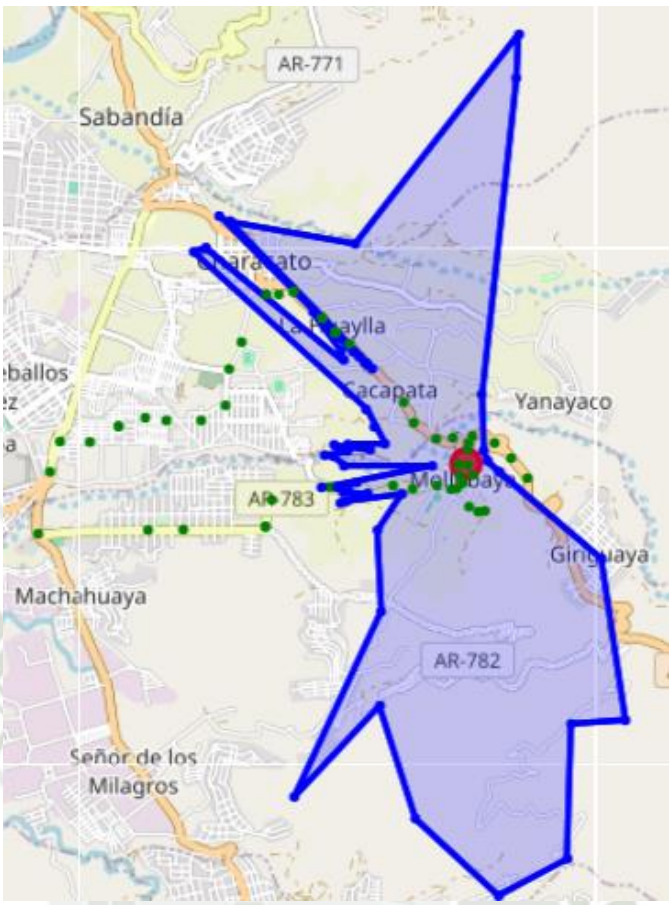


Figura 120: Patrón de radiación de antena dipolo proyectado sobre mapa geográfico. Fuente: Elaboración propia

1. **Lóbulos principales:**
    - La alta ganancia presente tanto en la zona norte como la zona sur del mapa coincide con el patrón de radiación típico de una antena dipolo, cuya máxima propagación se manifiesta en direcciones perpendiculares a los elementos de la antena dipolo.
2. **Lóbulos secundarios:**
    - La presencia de pequeños lóbulos secundarios irregulares en el sector oeste del mapa, indica reflexiones multipath, ocasionadas por edificaciones urbanas presentes en el área donde se tomaron las muestras (sector semiurbano, con gran presencia de viviendas entre 1 y 3 pisos), además de la presencia de calles, techos metálicos, vegetación, vehículos, antenas, entre otras estructuras que permiten crear trayectorias alternativas de señal generando interferencias destructivas y constructivas que crean picos y valles de potencia sobre el sector.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. Zonas de sombras

- Presente predominantemente en el sector "este" del mapa (Yanayaco), con una caída abrupta de potencia.
- Al emplear la capa satelital en el mapa (Figura 117), la zona de sombra coincide con la presencia de una montaña que supera la altura del punto de origen de la señal, por lo tanto, para cada punto de captura de potencia (contorno rojo) detrás de esta presentan los siguientes valores: -66.5594 dBm, -66.52724 dBm y -61.72909 dBm, mientras que para el punto de captura más cercano con línea de vista libre hacia la antena (contorno amarillo), presenta una potencia de -34.20588 dBm.
- Calculando la diferencia de potencia, considerando que 10 dB de diferencia representa 10 veces más de potencia, se obtiene:

$$\boldsymbol{Diferencia = -34.20588\ dBm - (-61.72909\ dBm) = 27.52321\ dB}$$

$$\boldsymbol{Proporción = 10^{\frac{27.5232}{10}} = 562}$$

Por lo tanto, corresponde a una señal 562 veces más fuerte con línea de vista directa comparado con la muestra tomada teniendo como obstáculo la montaña.

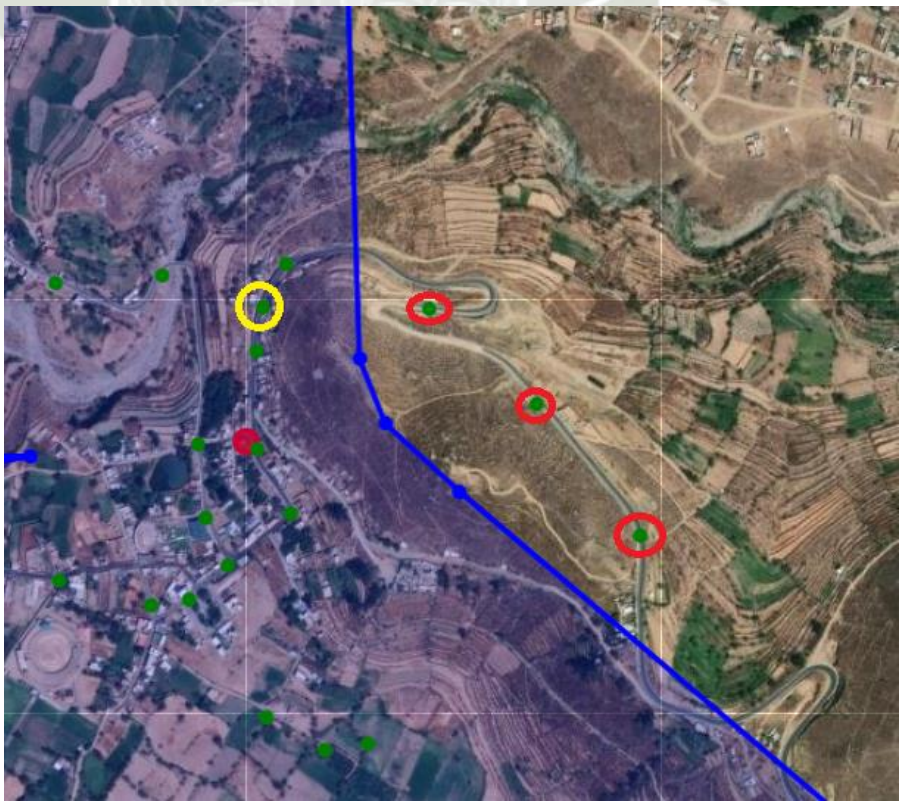


Figura 121: Acercamiento de Patrón de radiación antena en capa satelital. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3 Prueba a estación local de radiofrecuencia 102.3 FM

Las condiciones de captura de la señal son las siguientes:

- **Tipo de medición**: Antena transmisora estática, prototipo desarrollado rotando en radios y ángulos distintos.
- **Frecuencia:** 102.3 MHz, radio FM
- **Coordenadas origen de señal:** -16.397710410913508, -71.52534830744531
- **Entorno de medición**: Urbano.
- **Número de muestras:** 75 Muestras.
- **Distancia de muestreo:** Distancias mayores a 1 km.
- **Direccionalidad antena receptora:** Omnidireccional
- **Altura antena transmisora:** 35 metros
- **Altura antena receptora:** 2.5 metros
- **Modelo de propagación:** Okumura-Hata
- **Ganancia configurada en SDR:** 0 dB
- **Potencia estimada adicional:** 3000 metros
- **Modelo de propagación estimación de potencia a mayor distancia:** Okumura-Hata
- **Tamaño de ciudad seleccionado:** Grande
- **Tipo de área seleccionada:** Suburbana

La antena empleada por la estación de radio con frecuencia 102.3 MHz en Arequipa corresponde al tipo colineal de dipolos, como puede observarse en la parte superior de la torre de transmisión (Figura 122). Esta configuración es frecuente en emisoras de radiodifusión con el objetivo de brindar cobertura uniforme y eficiente en entornos urbanos densamente poblados.

Una antena colineal de dipolos es un arreglo vertical diseñado específicamente para incrementar la ganancia en el plano horizontal, optimizando la cobertura radial a largas distancias sin necesidad de incrementar la potencia de transmisión. Esta configuración consiste en varios dipolos alineados uno sobre otro y alimentados en fase, lo que permite que sus lóbulos individuales se sumen constructivamente en el horizonte. El resultado es un patrón de radiación omnidireccional horizontal, idealmente con baja dispersión de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

energía hacia el cielo o el suelo, lo cual es óptimo para cobertura en zonas urbanas donde se requiere una cobertura uniforme alrededor del punto de emisión.

Estas antenas se montan sobre torres altas y emplean elementos de aislamiento y fases precisas entre dipolos para garantizar la coherencia del haz. Una de sus principales ventajas es la capacidad de ampliar la cobertura sin exceder los límites regulatorios de potencia. En el caso observado (Figura 122), la estructura instalada por la emisora presenta una disposición colineal clásica, compuesta por múltiples elementos alineados verticalmente, visibles en la cúspide de la torre auto soportada. Su diseño responde a la necesidad de mantener una cobertura sólida en todas las direcciones del entorno urbano de Arequipa, superando barreras físicas gracias a la altura y la direccionalidad horizontal predominante del conjunto.

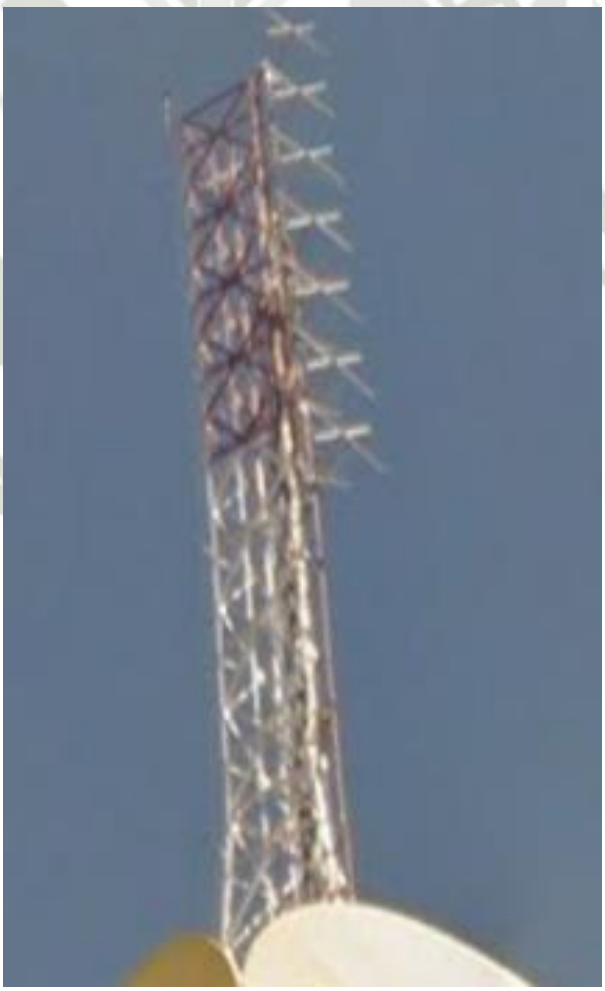


Figura 122: Arreglo colineal de elementos utilizado en radiodifusora FM 102.3 MHz, montado sobre torre auto soportada. Fuente: Captura propia

Las muestras obtenidas están especificadas en la siguiente tabla:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

N°	Theta (°)	Distancia	Potencia dBm	Potencia estimada en origen	Potencia escalada a distancia máx: 2572.55 m	Potencia estimada a: 3000 m
0	47.504	1140.913	-19.769999	75.236121	-32.053476	-34.375696
1	52.573	1280.041	-23.522673	73.2217585	-34.067839	-36.390059
2	61.336	1317.692	-28.485718	68.6966795	-38.592918	-40.915138
3	62.872	1389.968	-20.983567	77.0055571	-30.28404	-32.60626
4	68.956	1482.629	-26.899853	72.0642481	-35.225349	-37.547569
5	69.045	1480.914	-23.96652	74.9801039	-32.309493	-34.631713
6	71.598	1448.770	-16.687715	81.9273756	-25.362222	-27.684442
7	83.444	1133.043	-22.629375	72.2721737	-35.017423	-37.339644
8	89.066	1039.467	-21.863902	71.7353911	-35.554206	-37.876426
9	133.469	1020.559	-16.816692	76.505267	-30.78433	-33.10655
10	136.909	1000.756	-10.202205	82.8237149	-24.465882	-26.788102
11	152.220	1161.589	-20.248739	75.0287049	-32.260892	-34.583112
12	154.951	1355.851	-23.618775	73.9949011	-33.294696	-35.616916
13	155.073	1395.112	-17.639991	80.4049368	-26.88466	-29.20688
14	169.833	1529.378	-23.940541	75.4925633	-31.797034	-34.119254
15	173.545	1616.729	-31.077563	69.1946751	-38.094922	-40.417142
16	183.325	1767.504	-26.428512	75.190763	-32.098834	-34.421054
17	191.738	1898.700	-33.007371	69.6936197	-37.595977	-39.918198
18	192.348	1904.042	-37.519452	65.2239796	-42.065618	-44.387838
19	193.853	1917.484	-24.023203	78.8265116	-28.463086	-30.785306
20	193.859	1917.520	-23.97863	78.8713681	-28.418229	-30.740449
21	193.865	1917.655	-24.154406	78.6966574	-28.59294	-30.91516
22	194.549	1924.858	-34.160829	68.7468705	-38.542727	-40.864947
23	194.744	1927.048	-37.525522	65.3993559	-41.890241	-44.212461
24	195.774	1938.313	-36.603242	66.4096928	-40.879904	-43.202124
25	197.643	1970.193	-30.513642	72.7457488	-34.543848	-36.866068
26	199.330	1942.888	-28.747696	74.300855	-32.988742	-35.310962
27	201.174	1979.965	-31.268069	72.0660714	-35.223526	-37.545746
28	201.455	2012.774	-27.188487	76.3939443	-30.895653	-33.217873
29	204.919	2001.185	-35.976154	67.5190411	-39.770556	-42.092776
30	205.847	2002.513	-28.900052	74.6051603	-32.684437	-35.006657
31	206.172	2004.768	-28.175682	75.346538	-31.943059	-34.265279
32	206.419	2007.209	-29.188258	74.3523457	-32.937251	-35.259472
33	207.444	2010.793	-31.723621	71.8439284	-35.445669	-37.767889
34	209.172	2019.261	-39.498748	64.1322921	-43.157305	-45.479525
35	210.270	2054.131	-28.583949	75.3057559	-31.983841	-34.306061
36	210.972	2086.148	-29.857534	74.2658253	-33.023772	-35.345992

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

37	213.192	2112.830	-39.688991	64.6263734	-42.663224	-44.985444
38	213.210	2112.533	-40.657211	63.6560263	-43.633571	-45.955791
39	216.714	2074.561	-36.428244	67.6109706	-39.678627	-42.000847
40	222.186	2093.959	-27.87289	76.3069339	-30.982663	-33.304883
41	230.700	2266.268	-27.313017	78.0614752	-29.228122	-31.550342
42	233.156	2134.636	-22.132704	82.337781	-24.951816	-27.274036
43	236.185	1994.627	-21.221115	82.2244898	-25.065107	-27.387327
44	237.931	1866.089	-19.93942	82.4998339	-24.789763	-27.111983
45	239.523	1712.620	-11.610958	89.5317617	-17.757835	-20.080056
46	239.689	1615.485	-22.318849	77.9417561	-29.347841	-31.670061
47	242.043	1585.160	-16.022147	83.9521801	-23.337417	-25.659637
48	245.930	1452.073	-15.979655	82.6698393	-24.619758	-26.941978
49	254.065	1321.257	-19.407199	77.8160214	-29.473576	-31.795796
50	255.521	1317.561	-25.803813	71.3770837	-35.912513	-38.234734
51	257.099	1384.327	-24.788412	73.1392789	-34.150318	-36.472538
52	262.870	1843.589	-18.725355	83.5306376	-23.75896	-26.08118
53	266.827	1698.503	-22.681072	78.3366063	-28.952991	-31.275211
54	285.946	1621.609	-25.506949	74.8108202	-32.478777	-34.800997
55	293.611	1637.024	-27.922433	72.5382716	-34.751326	-37.073546
56	302.003	1765.767	-22.648073	78.9563439	-28.333253	-30.655473
57	306.183	1855.741	-31.635711	70.719537	-36.57006	-38.89228
58	306.214	1855.329	-31.78898	70.5629154	-36.726682	-39.048902
59	310.157	1932.086	-19.442199	83.5221237	-23.767473	-26.089694
60	314.348	2072.370	-27.606431	76.4168195	-30.872778	-33.194998
61	320.304	2349.164	-32.16507	73.7521611	-33.537436	-35.859656
62	326.779	2572.555	-31.652505	75.6370918	-31.652505	-33.974725
63	327.789	2271.484	-26.839542	78.5696807	-28.719916	-31.042137
64	331.534	2010.077	-42.689215	60.8729594	-46.416638	-48.738858
65	333.650	1885.275	-37.124616	65.4691728	-41.820424	-44.142644
66	336.235	1755.886	-26.238859	75.2807865	-32.008811	-34.331031
67	343.765	1926.876	-33.885794	69.0377391	-38.251858	-40.574078
68	346.736	1848.329	-29.762742	72.532041	-34.757556	-37.079776
69	350.485	1205.721	-21.710556	74.1302308	-33.159366	-35.481586
70	350.859	1291.689	-29.968183	66.9131104	-40.376487	-42.698707
71	351.093	1725.404	-25.714725	75.5403462	-31.749251	-34.071471
72	351.823	1480.282	-30.6079	68.3322669	-38.95733	-41.27955
73	351.862	1481.715	-29.685691	69.2690949	-38.020502	-40.342722
74	352.087	1001.237	-20.317861	72.7153284	-34.574269	-36.896489

Tabla 24: Datos obtenidos de estación FM 102.3 MHz, prueba móvil larga distancia urbana. Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

A partir de las muestras capturadas en campo, se realizó el proceso de tratamiento y escalamiento de los datos, aplicando el modelo de atenuación de Okumura-Hata. Este modelo empírico, reconocido por su efectividad en entornos urbanos y suburbanos, fue elegido debido a su capacidad para reflejar de forma realista las pérdidas por propagación en frecuencias VHF, como las utilizadas en radiodifusión FM. Al considerar factores como la distancia, la altura de la antena transmisora y las condiciones del entorno, se logró una representación más fidedigna del comportamiento del campo electromagnético, permitiendo así obtener un patrón de radiación que se ajusta de forma coherente a la realidad del entorno de la estación (Figura 123).

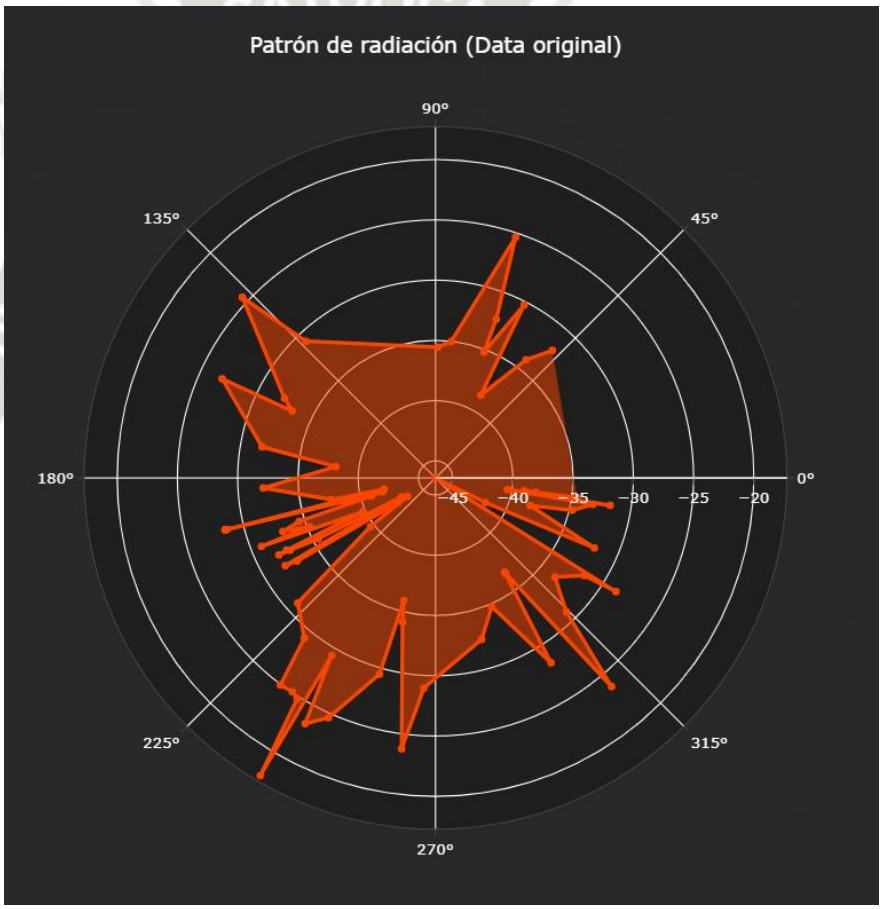


Figura 123: Patrón de radiación de estación 102.3 MHz FM en prueba urbana. Fuente: Elaboración propia

En teoría, una antena colineal de dipolos, está diseñada para emitir un patrón omnidireccional en el plano horizontal (es decir, un círculo teórico perfecto desde una vista horizontal superior), buscando alcanzar a oyentes en todas las direcciones sin priorizar una dirección en específico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En la práctica, el patrón obtenido en las sesiones de muestreo no representa un patrón omnidireccional ideal, ya que se observan:

- Zonas con mayor ganancia (picos de señal),
- Direcciones con pérdida significativa de señal (mínimos profundos),
- Ruido o irregularidades.

Esto indica que el patrón es realista pero no ideal, lo cual es esperado en entornos urbanos por los siguientes motivos:

1. Condiciones del entorno: efectos del terreno, interferencias, multitrayectoria y obstáculos que alteran la propagación.
2. Altura relativa variable del receptor vs. transmisor: si el plano no está perfectamente alineado con el plano de máxima radiación de la antena (generalmente horizontal), se pueden generar atenuaciones.
3. Interferencia electromagnética externa: Presencia de otras señales en la misma banda o en armónicos cercanos puede generar intermodulación o distorsiones en la medición. Esto incluye emisoras adyacentes, torres vecinas o incluso equipos electrónicos no blindados.
4. Armónicos: Los armónicos propios y ajenos, sumados a otros productos espurios, pueden distorsionar la medición de un patrón de radiación real.
5. Intermodulación y acoplamiento: Cuando varias señales armónicas están presentes en un entorno densamente poblado de emisoras, pueden generarse productos de intermodulación. Esto ocurre cuando dos o más señales no lineales interactúan (por ejemplo, en una torre compartida) y generan nuevas frecuencias espurias que no están relacionadas directamente con ninguna emisora, pero que sí pueden interferir con la medición de la antena o con otras transmisiones.

El patrón de radiación proyectado sobre el mapa geográfico se puede observar en la siguiente Figura 124, donde:

- Marcador Rojo: Origen geográfico de la señal en frecuencia 102.3 MHz.
- Marcadores Verdes: Puntos de captura de muestras de potencia.
- Marcadores Azules: Puntos de potencia escalados.
- Área sombreada: Zona contenida por las muestras de potencia escaladas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

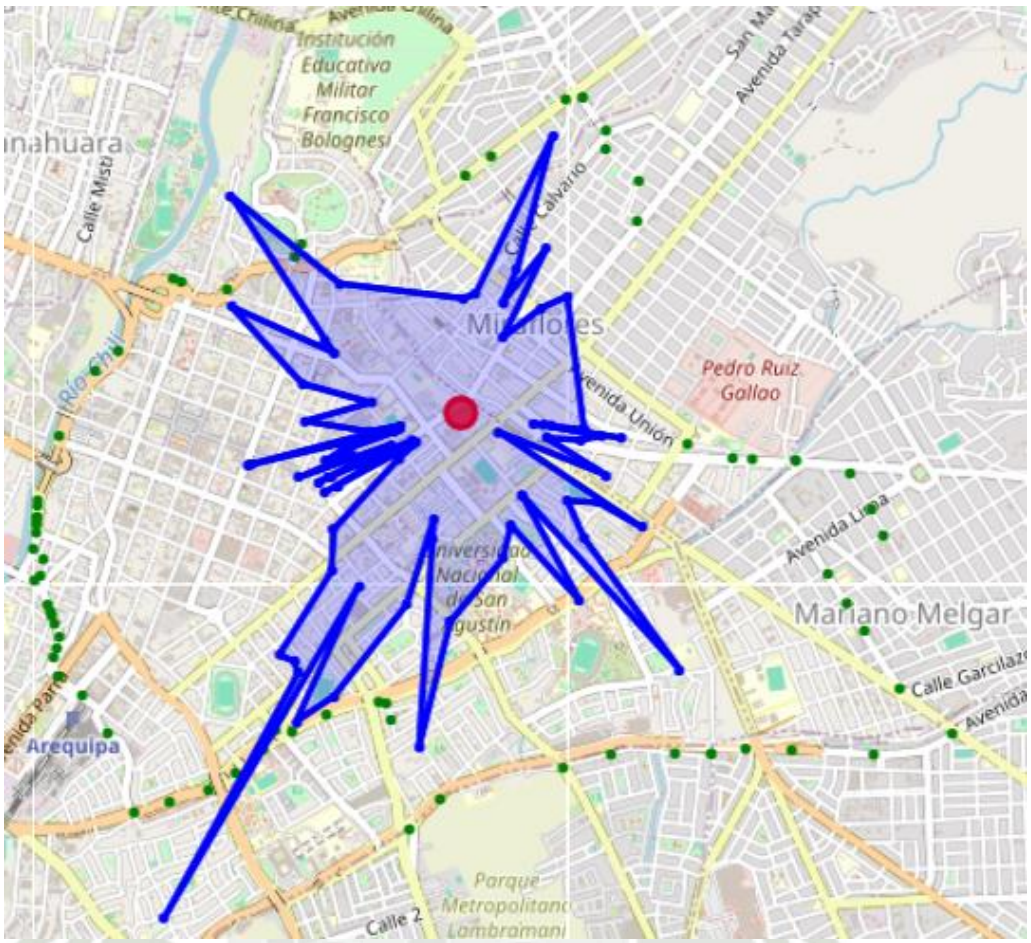


Figura 124: Patrón de radiación de estación 102.3 MHz FM, prueba urbana sobre mapa geográfico. Fuente: Elaboración propia

De la proyección del patrón de radiación sobre el mapa, se puede evidenciar los siguientes detalles:

1. **Distribución general del patrón de radiación:**

   En el patrón de radiación procesado a partir de las muestras de campo, no se observa un lóbulo principal dominante/principal, lo cual es coherente con el tipo de antena empleada por la estación: una antena colineal de dipolos, diseñada específicamente para emitir de manera omnidireccional en el plano horizontal. Esta característica permite teóricamente una propagación de señal relativamente uniforme en todas las direcciones del entorno, asegurando una cobertura radial desde el punto de transmisión. Sin embargo, en la práctica, esta omnidireccionalidad ideal se ve notoriamente alterada por el entorno urbano, las condiciones topográficas y fabricación de la antena, lo cual explica las variaciones de intensidad a lo largo de la sesión de muestreo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2. **Lóbulos secundarios e interferencias:**

   A pesar del objetivo de una emisora radial de mantener una cobertura pareja, el mapa evidencia la generación de ciertos lóbulos secundarios irregulares, especialmente hacia los sectores noroeste y suroeste, atribuibles a efectos de reflexión, difracción y dispersión generados por obstáculos físicos. Estas irregularidades reflejan fenómenos de propagación multipath clásicos en entornos urbanos y semiurbanos, donde estructuras como techos metálicos, antenas, vehículos y edificaciones de diferentes alturas actúan como superficies reflectantes o barreras atenuantes. Asimismo, interferencias adicionales pueden generarse por armónicos provenientes de la misma emisora o de otras estaciones cercanas operando en frecuencias múltiples del canal original, afectando la calidad del patrón resultante.

3. **Zona de sombra y sector con depresión topográfica:**

   En el sector oeste del mapa, se observa una zona con múltiples picos de potencia variables, acompañada de un debilitamiento generalizado en la potencia. Este patrón se explica por la captura de datos en la Avenida La Marina y Vallecito-Arequipa, la cual presenta una depresión natural en el terreno en comparación con otras zonas de medición. La menor altitud produce una atenuación adicional debido a la pérdida parcial de visibilidad con la antena y un incremento en trayectorias reflejadas, intensificando las interferencias y la pérdida de potencia en ese sector.

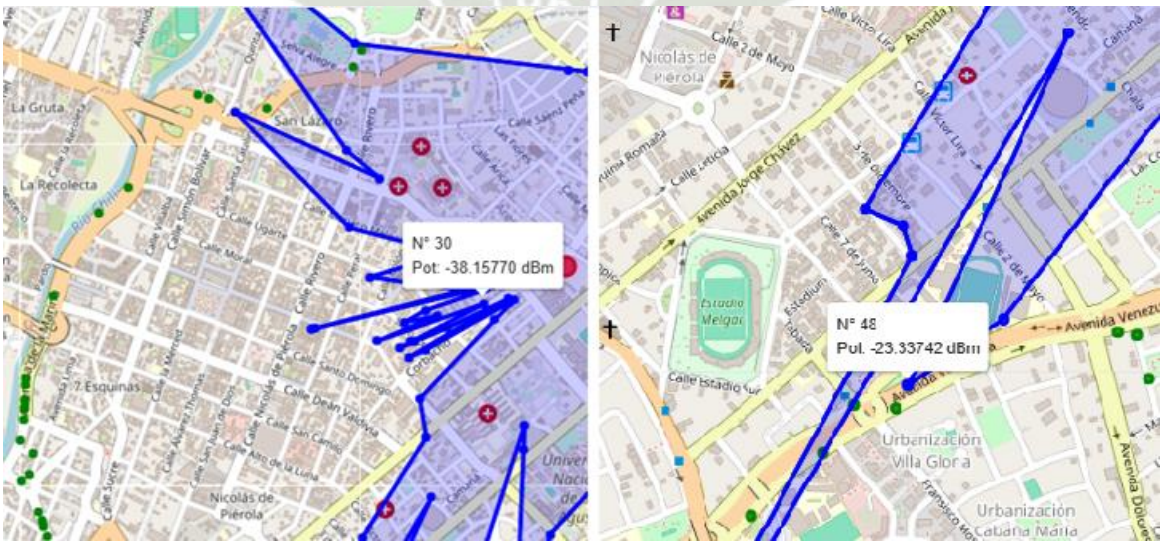


Figura 125: Muestra de potencia capturada en zona de depresión geográfica (Izquierda) y Muestra tomada en zona con mayor elevación(derecha). Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En la figura 125 se evidencia la siguiente comparación:

- **Captura en zona de depresión (Avenida La Marina - Arequipa):**
  - Valor de potencia escalado: -38.15770 dBm
  - Condiciones del entorno: Depresión geográfica presente, además de obstáculos y estructuras presentes obstruyendo la línea de vista directa.
- **Captura en zona de mayor elevación respecto a la anterior (Avenida Venezuela - Arequipa):**
  - Valor de potencia escalado: -23.33742 dBm
  - Condiciones del entorno: Avenida plana de gran ancho (50 metros aproximadamente), que proporciona un ambiente mucho más despejado en el lugar de captura, construcciones predominantemente bajas presentes, de dos pisos en su mayoría.
- **Diferencia de potencia y análisis:**
  - Diferencia en dB:

$$\Delta = -23.33742\ dBm - (-38.15770\ dBm) = 14.82028\ dB$$

  - Relación en potencia (mW):

$$Relación = \frac{10^{\frac{-23.33742}{10}}}{10^{\frac{-38.15770}{10}}} = \frac{4.638x10^{-3}\ mW}{1.526x10^{-4}\ mW} = 30.27$$

Esto significa que la señal en la Av. Venezuela es aproximadamente 30.27 veces más potente que la capturada en la Av. La Marina. Esta diferencia es atribuible a la mejor visibilidad, menor obstrucción y mayor elevación relativa del entorno en el punto de la Av. Venezuela, lo cual favorece una recepción más eficiente y robusta de la señal FM. En contraste, la topografía en forma de depresión y la presencia de estructuras con mayor elevación relativa en la Av. La Marina reducen significativamente la intensidad de la señal debido a la pérdida de línea de vista y mayor atenuación.

4. **Potencia recepcionada**

Como referencia, se tomará el punto de máxima potencia capturada:

- Coordenadas: -16.410984166666665,-71.53349183333333

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Potencia capturada: -11.610957538772498 dBm
- Potencia capturada en mW: 0.068884 mW
- Potencia escalada a 2572.5 metros: -17.757835465603307 dBm
- Distancia hasta el emisor: 1712.620 metros
- Potencia estimada en emisor con modelo Okumura-Hata**:** 89.53176167840995 dBm en 239.523° respecto al este geográfico.
- Potencia estimada en emisor con modelo FSPL**:** 65.7075564263484 dBm en 239.523° respecto al este geográfico.

Considerando que la ganancia del amplificador interno del RTL SDR fue configurada como 0 dB, una recepción de -11.61 dBm a 1.71km de la fuente de señal indica una recepción de señal muy fuerte, como si se presentara una línea de vista muy limpia. Convirtiendo ambas estimaciones de potencia a kilowatts se obtiene:

- Potencia estimada con Okumura - Hata:

$$\boldsymbol{P(W) = 10^{\left(\frac{P_{dBm}-30}{10}\right)}}$$

$$\boldsymbol{P(W) = 10^{\left(\frac{89.5317167840995-30}{10}\right)} \approx 899.349.77\ W}$$

$$\boldsymbol{P(kW) = 899.34977kW}$$

- Potencia estimada con Free Space Path Loss:

$$\boldsymbol{P(W) = 10^{\left(\frac{65.7075564263484-30}{10}\right)} \approx 3720.41\ W}$$

$$\boldsymbol{P(kW) = 3.72kW}$$

Dado que la señal capturada presenta una potencia bastante alta a más de 1.7 km de distancia, sin amplificación en el receptor, y considerando que el trayecto cuenta con una línea de vista despejada en su mayoría, para esta muestra en particular resulta más adecuado aplicar el modelo de pérdida en espacio libre (FSPL) en lugar del modelo Okumura-Hata.

Este último modelo está pensado para ambientes urbanos múltiples con obstáculos como edificios, árboles y variaciones topográficas, lo cual lleva a sobrestimar la potencia emitida en el transmisor al realizar los cálculos. En

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

cambio, el modelo FSPL se ajusta mejor a trayectorias despejadas, como en este caso, proporcionando una estimación más realista de la potencia de origen, aproximadamente 3.72 kW, resulta mucho más coherente y realista para una estación transmisora de FM convencional, cuyos niveles de potencia suelen ubicarse en ese rango, lo que refuerza la elección de este modelo como el más adecuado para este escenario.

4. Conclusiones

La presente investigación logró cumplir satisfactoriamente con el objetivo general planteado: desarrollar un sistema de medición de la señal de una antena en distintas frecuencias de operación programables por el usuario, y poder censar en distintos puntos alrededor de la antena objetivo, recopilar datos que faciliten la generación de un diagrama de radiación, así como estimar valores de potencia de la señal a distancias configurables respecto al punto de emisión.

A través del uso de un receptor SDR (RTL-SDR), una Raspberry Pi y un módulo GPS, se desarrolló un prototipo portátil completamente funcional, capaz de captar señales en la banda FM, registrar su intensidad en dBm, georreferenciar cada muestra, y almacenar los datos en un formato procesable. Esta solución permitió realizar análisis espaciales y temporales sobre la propagación y comportamiento de la señal.

En relación a los objetivos específicos, se concluye lo siguiente:

1. **Diseño del sistema configurable mediante SDR:**

   Se logró implementar un sistema de captura de señales adaptable a múltiples frecuencias, permitiendo que el usuario configure libremente el rango de operación. Esto garantiza versatilidad frente a diversos escenarios de medición.

2. **Almacenamiento y procesado de datos:**

   Se diseñó un mecanismo de almacenamiento mediante archivos CSV, el cual permite contener, exportar y analizar los datos de forma estructurada. Posteriormente, esta información fue usada para graficar el comportamiento de la señal y construir patrones de cobertura aproximados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. **Análisis comparativo con especificaciones de antenas:**

   Se contrastaron los resultados reales con los comportamientos ideales planteados de antenas. Aunque se espera un patrón uniforme, los resultados evidenciaron asimetrías debidas al entorno físico, lo cual resalta la importancia de realizar mediciones empíricas para evaluar el desempeño real.

4. **Predicción de señal a distintas distancias:**

   Se aplicaron modelos teóricos como Okumura-Hata para zonas urbanas, lo que permitió estimar la atenuación de la señal en función de la distancia, altura de las antenas y condiciones urbanas; y también el modelo de Free Space Path Loss para condiciones de línea de vista directa. Esto habilita al sistema no solo para mediciones directas, sino también para proyecciones futuras de cobertura.

5. **Estimación de la potencia en el punto emisor:**

   A partir de mediciones de potencia en campo y el uso de modelos de propagación, se logró una estimación razonable de la potencia radiada por el transmisor. Esta capacidad resulta útil en escenarios donde no se cuenta con acceso directo al equipo emisor o a su configuración original.

En última instancia, se concluye que el sistema desarrollado no solo ha alcanzado satisfactoriamente los objetivos propuestos en la presente investigación, sino que además evidencia un potencial de expansión hacia escenarios de mayor complejidad técnica. Su capacidad para adaptarse a distintos entornos, tanto urbanos como rurales, lo posiciona como una herramienta fiable y versátil en el análisis de señales electromagnéticas. Este enfoque, basado en tecnologías accesibles, ofrece una alternativa viable y precisa para la evaluación de patrones de radiación, estimación de potencia y comportamiento de propagación.

Asimismo, su aplicabilidad se extiende a múltiples ámbitos, desde la ingeniería de telecomunicaciones y la educación técnica, hasta proyectos de planificación y optimización de redes, contribuyendo significativamente al fortalecimiento de capacidades locales en el estudio y gestión del espectro radioeléctrico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Finalmente, se reconoce que el sistema desarrollado puede escalarse fácilmente e integrarse en plataformas más amplias de análisis de espectro, redes de monitoreo o incluso vehículos autónomos de recolección de datos. Su bajo costo, modularidad y compatibilidad con herramientas de procesamiento como Python, QGIS o MATLAB lo convierten en una solución versátil para aplicaciones académicas, profesionales y experimentales.

5. Consideraciones adicionales

La implementación y evaluación del prototipo permitió identificar múltiples aspectos que, si bien no fueron parte central de los objetivos específicos, son importantes para entender el alcance, limitaciones y potencial de mejora del sistema. A continuación, se detallan las principales consideraciones adicionales observadas durante el desarrollo experimental del sistema:

5.1 Precisión del sistema de posicionamiento GPS

Una vez implementado el sistema y mediante las pruebas de campo, se evidencio que el módulo GPS M8N cuenta con una precisión:

- En espacio abierto: Margen de error de 1 metro o menos.
- En espacios cerrados o dentro de edificaciones: Margen de error de 3 metros aproximadamente.

Así mismo para una correcta captura de la información geográfica se requiere un tiempo de 1 segundo aproximadamente manteniendo el sistema inmóvil, asegurando la fiabilidad para condiciones de visibilidad satelital óptima.

5.2 Sensibilidad y comportamiento del receptor RTL SDR

El rendimiento del RTL-SDR estuvo directamente vinculado a la correcta calibración del parámetro de ganancia (*gain*) en el software. Se observó que valores excesivamente bajos dificultaban la captación de señales débiles, mientras que niveles altos introducían saturación por ruido. Por ello, se adoptó un enfoque de ajuste circunstancial, permitiendo un balance óptimo entre sensibilidad y fidelidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.3 Influencia de obstáculos físicos en la propagación de señal

Durante las sesiones de muestreo, se constató que estructuras urbanas como edificaciones, techos metálicos, y vegetación circundante impactan en la calidad de recepción de la señal. Este fenómeno se manifestó en forma de atenuaciones localizadas y variabilidad en los niveles de potencia, atribuibles a efectos de reflexión, difracción y absorción del frente de onda. Particularmente, se observó una notable pérdida de señal en sectores con construcciones densas y calles estrechas, donde el fenómeno de multipath genera interferencias destructivas que degradan la calidad de la medición.

5.4 Topografía del terreno como factor determinante

Se evidenció que la morfología del terreno condiciona significativamente la captación de la señal (Sección 6.3.2.3 y 6.3.3). Esta diferencia se asocia a la obstrucción parcial de la línea de vista y a la mayor probabilidad de apantallamiento por el relieve. Tales hallazgos destacan la necesidad de considerar modelos digitales de elevación (DEM) en futuros análisis para una caracterización más precisa del entorno.

5.5 Aspectos éticos y regulatorios del monitoreo espectral

Aunque la recepción pasiva del espectro no infringe normativas legales, es importante subrayar que en entornos urbanos denso o cerca de instalaciones estratégicas (como aeropuertos, estaciones de policía, o emisoras comerciales), la actividad de monitoreo espectral puede ser objeto de atención. Por lo tanto, para monitoreo de señales de uso privado, aeronáutico y militar se recomienda acompañar con documentación que respalde su uso educativo o científico, además de cumplir con las normativas locales sobre el uso del espectro radioeléctrico.

5.6 Posibles aplicaciones futuras

El sistema desarrollado tiene potencial para ser adaptado a tareas como monitoreo de espectro en zonas rurales para determinar zonas de sombra de cobertura, análisis de redes comunitarias de radio, o incluso para detectar interferencias no autorizadas en bandas licenciadas. Esta flexibilidad sería valiosa para instituciones educativas, emisoras radiales, o planes de expansión de cobertura en zonas de difícil acceso.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Referencias bibliográficas

[1] Montes Granada, W. F., & Pilar Celemín, M. D. (2007). Sistema de adquisición de datos para la medición de parámetros radioeléctricos en antenas lineales en la banda de TV de VHF y UHF. Ingeniería y ciencia, 3(5), 87-110.

[2] Medina-Monroy, J. L., Díaz-Tapia, E., Olvera-Cervantes, J. L., Chávez-Pérez, R. A., & Velázquez-Ventura, A. (2008, October). Análisis y comparación de metodologías para determinar experimentalmente la ganancia de antenas de rf y microondas. In Simposio de Metrología Queretaro Mexico. CENAM (pp. 22-24).

[3] Alonso, R., & Fano, W. G. Equipo medidor de diagramas de radiación de antenas.

[4] Mizutani, K., Sakaguchi, K., Takada, J. I., & Araki, K. (2006). Development of MIMO-SDR platform and its application to real-time channel measurements. IEICE transactions on communications, 89(12), 3197-3207.

[5] Roman, J., Marquez-Viloria, D., Velásquez, R. A., & Botero-Valencia, J. (2020). Sistema de posicionamiento en interiores utilizando señales de radio estaciones FM comerciales y Deep Learning. Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial, 17(1), 34-43.

[6] Bhatt, C. R., Redmayne, M., Billah, B., Abramson, M. J., & Benke, G. (2017). Radiofrequency-electromagnetic field exposures in kindergarten children. J Expo Sci Environ Epidemiol., 27(5), 497-504.

[7] Wireless Telecom Group Inc., «Principles of Power Measurement» Parsippany, 2011

[8] Vijetha, T., & Karthik, R. (2019). Design and analysis of frequency reconfigurable antenna for software defined radio. Journal of Engineering and Applied Sciences, 14(1), 7533–7539.

[9] Fontal, B. (2005). El espectro electromagnético y sus aplicaciones. Escuela de La Ingeniería, 1, 24.

[10] Moebs, W., Ling, S. J., & Sanny, J. (2021). Física universitaria volumen 2. OpenStax. https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-2/

[11] Otín, F., García, D. A., & Martos, J. R. (2004). Campos electromagnéticos (Vol. 70). Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.

[12] The Popular Science Monthly, 48. (1895). Biodiversity Heritage Library. Recuperado de https://www.biodiversitylibrary.org/item/17966

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

[13] Universidad de Valencia. (s.f.). Radiaciones [PDF]. Recuperado de: https://www.uv.es/DSSQA/documentacion/castellano/PDF/14%20RADIACIONES.pdf

[14] U.S. Environmental Protection Agency. (2025, 21 de mayo). Información básica sobre la radiación. https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-la-radiacion

[15] Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (s.f.). Propagación [PDF]. Recuperado de: https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/27/27199/propagacion.pdf

[16] JEBA15. (2019, 27 de marzo). Propiedades físicas que rigen la propagación de ondas electromagnéticas. Telecomunicaciones. https://tareastelecomunicaciones.blogspot.com/2019/03/propiedades-fisicas-que-rigen-la.html

[17] Arieli, R. (n.d.). The Laser Adventure. Universidad de Murcia. https://www.um.es/LEQ/laser/Preface/Toc.htm

[18] Universidad de Córdoba. (n.d.). Ondas electromagnéticas. Conceptos básicos. https://www.uco.es/organiza/departamentos/ing-electrica/documentos/ONDAS_EM_CONCEPTOS_BASICOS.pdf

[19] Instituto Federal de Telecomunicaciones. (s.f.). Espectro radioeléctrico: Generalidades. Recuperado de: https://www.ift.org.mx/espectro-radioelectrico/generalidades

[20] International Telecommunication Union. (2016). Radio Spectrum Guide. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-EF.RAD_SPEC_GUIDE-2016-PDF-S.pdf

[21] Uco.es. (s.f.). Ondas electromagnéticas: Conceptos básicos [en línea]. Recuperado de: http://www.uco.es/organiza/departamentos/ing-electrica/documentos/ONDAS_EM_CONCEPTOS_BASICOS.pdf

[22] Fuentes, J. J. M. (2007). Fundamentos de radiación y radiocomunicación. Escuela Técnica Superior de Ingenieros.

[23] Hertz, H. (1990). Las ondas electromagnéticas (Vol. 2). Univ. Autónoma de Barcelona.

[24] Vielma, M. (2005). Introducción a las Antenas. E-Oss Astrónomos". Recuperado de: Http://www. Astrónomos ClconocimientosavanzadoPresentacion-Antenas Pdf1102007.

[25] Gabriel Antenna. (2025). Antenna product line. Recuperado de: https://gabrielantenna.com/

[26] Martínez Campo, S., Oliveira, M. O., & Valdez Cervantes, L. (2015). Simulation and analysis of the radiation pattern of microstrip patch-type array antenna by moment method

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

[Ponencia]. 13th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, Santo Domingo, República Dominicana. Recuperado de: https://laccei.org/LACCEI2015-SantoDomingo/RefereedPapers/RP279.pdf

[27] Faelomx. (2006, 12 de julio). Tipos de antenas esp.gif. Wikimedia Commons. https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Tipos_de_antenas_esp.gif

[28] Anguera, J., & Pérez, A. (2008). Teoría de Antenas: Guía de estudio. Universitat Ramon Llull. Recuperado de: https://users.salle.url.edu/~jaume.anguera/Teoria-Antenas-by-Jaume%20Anguera.pdf

[29] Rodríguez, M. (2018, 23 de octubre). Tipos de antenas, características y funcionamiento. Onulec. Recuperado de: https://onulec.com/https-www-onulec-com-tipos-de-antenas-caracteristicas-y-funcionamiento/

[30] Syscom Blog. (2019, 28 de enero). La Polarización en las Antenas. Recuperado de: https://www.syscomblog.com/2019/01/la-polarizacion-en-las-antenas.html

[31] Ansys. (2025). What Are S-parameters? Recuperado de: https://www.ansys.com/simulation-topics/what-are-s-parameters

[32] Cadence PCB Solutions. (2024, 8 de febrero). Understanding Scattering Parameters. Cadence. Recuperado de: https://resources.pcb.cadence.com/blog/2024-understanding-scattering-parameters

[33] U.S. Government. (n.d.). Sistema de Posicionamiento Global (GPS). GPS.gov. Recuperado de: https://www.gps.gov/spanish.php

[34] NASA Earthdata. (2025, 20 de junio). Broadcast Ephemeris Data Product. https://www.earthdata.nasa.gov/data/space-geodesy-techniques/gnss/broadcast-ephemeris-data-product

[35] NASA Earthdata. (2025, 20 de junio). GNSS. https://www.earthdata.nasa.gov/data/space-geodesy-techniques/gnss

[36] Cabinet Office, Government of Japan. (n.d.). Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) Official Website. https://qzss.go.jp/en/

[37] Reuter, F. (2001, febrero). Sistemas de Posicionamiento Global: Sistema GLONASS (Serie Didáctica N° 4). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-4-GLONASS-Reuter.PDF

[38] SBG Systems. (n.d.). Beidou Navigation Satellite System (BDS). https://www.sbg-systems.com/es/glossary/beidou-navigation-satellite/

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

[39] EU Agency for the Space Programme. (2024, 16 de abril). What is SBAS? https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/egnos/what-sbas

[40] Viavi Solutions. (n.d.). What is Software Defined Radio (SDR). https://www.viavisolutions.com/en-us/what-software-defined-radio-sdr

[41] RTL-SDR.com. (n.d.). About RTL-SDR. https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/

[42] SDR.in.ua. (n.d.). RTL-SDR V4 (with antenna). https://sdr.in.ua/product/rtl-sdr-v4ant/

[43] Müller, M. (s.f.). Data Sheet for DVB-T USB Stick with RTL2832U and R820T. Universität Regensburg. Recuperado de: https://homepages.uni-regensburg.de/~erc24492/SDR/Data_rtl2832u.pdf

[44] Raspberry Pi Foundation. (n.d.). Documentation. https://www.raspberrypi.com/documentation/

[45] Binary Updates Team. (2024, 20 de marzo). Introduction of Raspberry Pi 3 Model B. Binary Updates. https://binaryupdates.com/introduction-of-raspberry-pi-3-model-b/

[46] Oliver, S. (2016, 1 de noviembre). Pixel Desktop, el nuevo entorno para Raspbian en Raspberry Pi. Genbeta. https://www.genbeta.com/sistemas-operativos/pixel-desktop-el-nuevo-entorno-para-raspbian-en-raspberry-pi

[47] Python Wiki. (2020, 3 de febrero). BeginnersGuide/Programmers. https://wiki.python.org/moin/BeginnersGuide/Programmers

[48] Xue, R. (2025, 19 de junio). pyrtlsdr documentation. https://pyrtlsdr.readthedocs.io/en/latest/

[49] RCDrone.top. (n.d.). APM2.8 APM 2.8 Flight Controller ArduPilot Kit. https://rcdrone.top/es/products/apm2-8-apm-2-8-flight-controller-ardupilot-kit

[50] u-blox. (n.d.). NEO-M8N-0 GNSS Module. Mouser Electronics. https://www.mouser.pe/ProductDetail/u-blox/NEO-M8N-0?qs=zW32dvEIR3unZhZI0KRbew%3D%3D

[51] Genstattu. (n.d.). A guide to understand Lipo Battery. https://genstattu.com/bw/

[52] DataScientest. (2024, 20 de marzo). CSV (Comma-Separated Values): everything you need to know about this file format. DataScientest. https://datascientest.com/en/csv-comma-separated-values-everything-you-need-to-know-about-this-file-format

[53] Mozilla Contributors. (n.d.). JavaScript. MDN Web Docs. https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

[54] ECMA International. (2024, junio). ECMAScript Language Specification (ECMA-262, 16th edition). https://ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-262/

[55] The Babel Project. (2024). Babel Documentation. https://babeljs.io/docs/

[56] Meta. (2025). Descripción General de la Referencia de React. https://es.react.dev/reference/react

[57] Google LLC. (2025). What is Angular? https://angular.dev/overview

[58] Vue.js. (2024). Introduction. https://vuejs.org/guide/introduction

[59] Svelte. (n.d.). Docs. https://svelte.dev/docs

[60] React Native. (2025, 17 de junio). Introduction. https://reactnative.dev/docs/getting-started

[61] Electronic Wings. (2018, 30 de junio). Raspberry Pi UART Communication using Python and C. https://www.electronicwings.com/raspberry-pi/raspberry-pi-uart-communication-using-python-and-c

[62] Python Software Foundation. (2024). time — Acceso y conversiones de tiempo. https://docs.python.org/es/3.10/library/time.html

[63] Python Software Foundation. (2024). string — Operaciones de cadena comunes. https://docs.python.org/es/3.10/library/string.html

[64] Flanagan, T. (2021, 12 de abril). pynmea2: Python library for parsing the NMEA 0183 protocol (GPS) [Software informático]. https://github.com/Knio/pynmea2

[65] Python Software Foundation. (2025, 21 de junio). csv — CSV File Reading and Writing. https://docs.python.org/3/library/csv.html

[66] De Los Santos, P. J. (2016, 25 de enero). Una introducción a Pylab. Numython. https://numython.github.io/posts/2016/01/una-introduccion-pylab/

[67] Roger. (2016). rtlsdr.rtlsdraio — pyrtlsdr 0.3.0 documentation. pyrtlsdr. https://pyrtlsdr.readthedocs.io/en/latest/rtlsdraio.html

[68] Matplotlib Development Team. (2025). Tutorials. https://matplotlib.org/stable/tutorials/index

[69] Python Software Foundation. (2024). math — Funciones matemáticas. https://docs.python.org/3/library/math.html

[70] NumPy Developers. (2025). NumPy documentation. https://numpy.org/doc/stable/

[71] SciPy Developers. (2025). CubicSpline. SciPy. https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.interpolate.CubicSpline.html

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

[72] Díaz Villanueva, W. (n.d.). Splines cúbicos. Departament d'Informàtica, Universitat de València. https://www.uv.es/diaz/mn/node40.html

[73] Le Cam, P., & contributors. (2024). Introduction. React Leaflet. https://react-leaflet.js.org/docs/start-introduction/

[74] EMTEC. (n.d.). SSH Protocol Version 2 (SSH-2). https://www.emtec.com/ssh/ssh-v2.html

[75] Blanch, A. (2024, 22 de abril). SFTP: Qué es y cómo se utiliza. Blog de Arsys. https://www.arsys.es/blog/sftp

[76] Microsoft. (2024). Visual Studio Code Documentation. https://code.visualstudio.com/docs

[77] International Telecommunication Union (ITU). (2025). Frequency Bands allocated to Terrestrial Broadcasting Services. https://www.itu.int/en/ITU-R/terrestrial/broadcast/Pages/bands.aspx

[80] Geerling, J. (2016, 5 de febrero). Power Consumption Benchmarks. Raspberry Pi Dramble Wiki. https://www.pidramble.com/wiki/benchmarks/power-consumption

[81] Realtek Semiconductor Corp. (n.d.). RTL2832U Datasheet. https://homepages.uni-regensburg.de/~erc24492/SDR/Data_rtl2832u.pdf

[82] Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2020). IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications (IEEE Std 485-2020). https://standards.ieee.org/standard/485-2020.html

[83] International Electrotechnical Commission. (2013). Secondary cells and batteries for renewable energy storage — General requirements and methods of test — Part 1: PVES applications (IEC 61427-1:2013). https://cdn.standards.iteh.ai/samples/19105/b845e834e1ea474b864d00923d90efd8/IEC-61427-1-2013.pdf

[84] MTLAB. (2025). Batería LIPO DUPU NANOTECH 11.1V 2200mAh 3S (3 celdas). https://mtlab.pe/producto/dr16/

[85] Raspberry Pi Foundation. (n.d.). NOOBS (New Out Of Box Software). Raspberry Pi. https://www.raspberrypi.org/downloads/noobs/

[86] SD Association. (2025). SD Memory Card Formatter for Windows/Mac. https://www.sdcard.org/downloads/formatter/

[87] Gazzano, M. (2023, 30 de septiembre). The Haversine Formula: A Must-Have for Geospatial Reporting: Determining the Distance from Point A to Point B using SQL. Medium.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

https://medium.com/@mattgazzano/the-haversine-formula-a-must-have-for-geospatial-reporting-1a1258552a5e

[88] Veness, C. (n.d.). Calculate distance and bearing between two Latitude/Longitude points. Movable Type Scripts. https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html

[89] The MathWorks, Inc. (2025). fspl - Pérdida de trayectoria en espacio libre. https://es.mathworks.com/help/antenna/ref/fspl.html

[90] Xirio Online. (s.f.). Modelo de propagación Okumura-Hata. Recuperado de: https://www.xirio-online.com/web/help/es/okumura-hata.htm

[91] Universidad Don Bosco. (2019). Guía 3. https://www.udb.edu.sv/udb_files/recursos_guias/informatica-ingenieria/programacion-iv/2019/ii/guia-3.pdf

[92] Diseño y caracterización de una antena yagi en la banda UHF. (2017). [Tesis de licenciatura]. Universidad de Quintana Roo. https://risisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/1838/QC665.T7.2017-1838.pdf

[93] FMUSER. (2022). Una guía completa de VSWR de FMUSER. https://es.fmuser.net/content/?2220.html

[94] Durney, H., Gautier, J. Y., & Ulloa, F. Análisis, Diseño, Construcción y Medición de Antenas Helicoidales para 2.4 GHz sobre Aero Plataforma de Comunicaciones Globo-Antena (HAPS).

[95] R & S. (2017). R&S®FSH4/8/13/20 Analizador de espectros portátil. R&S. R&S Recuperado de https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuals/gb_1/f/fsh_1/FSH_QuickStartGuide_es_FW230.pdf

[97] Uco.es. (s.f.). Ondas electromagnéticas: Conceptos básicos [en línea]. Recuperado de: http://www.uco.es/organiza/departamentos/ing-electrica/documentos/ONDAS_EM_CONCEPTOS_BASICOS.pdf

[98] Bandas de frecuencia. (2021, 9 de abril). Wikipedia. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Bandas_de_frecuencia

[99] Murillo, P. (s.f.). Fundamentos de radiación y radiocomunicaciones [PDF]. Recuperado de: https://personal.us.es/murillo/docente/Libros/FundRadiacionyRadiocom.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

[100] Sparklers. (s.f.). La sensibilidad de sistemas [en línea]. Recuperado de: https://2020.readthedocs.io/es/latest/introduccion/sistemas.html#:~:text=La%20sensibilidad%20se%20define%20como,se%20especifica%20en%20%CE%BCV

[101] Haversine formula (s.f.). Wikipedia. Recuperado de: https://en.wikipedia.org/wiki/Haversine_formula

[102] Maker Pro. (s.f.). How to use a GPS receiver with Raspberry Pi 4. Recuperado de: https://maker.pro/raspberry-pi/tutorial/how-to-use-a-gps-receiver-with-raspberry-pi-4

[103] Telectronika. (s.f.). Pérdida en el espacio libre. Recuperado de: https://www.telectronika.com/herramientas/perdida-en-el-espacio-libre/

[104] Matplotlib. (s.f.). Polar demo [tutorial]. Recuperado de: https://matplotlib.org/stable/gallery/pie_and_polar_charts/polar_demo.html

[105] Stack Overflow. (s.f.). Haversine formula in Python. Recuperado de: https://stackoverflow.com/questions/4913349/haversine-formula-in-python-bearing-and-distance-between-two-gps-points

[106] Loomio. (s.f.). Cálculo del radioenlace. Recuperado de: https://www.loomio.com/d/RPNWlGHQ/calculo-del-radioenlace

[107] Elementos que componen un sistema de radiocomunicaciones. (s.f.). Genially. Recuperado de: https://view.genially.com/63f2736c2a310900190259c5/interactive-content-elementos-que-componen-un-sistema-de-radiocomunicaciones-unad

[108] Universidad de Salamanca. (s.f.). Materiales dieléctricos [PDF]. Recuperado de: https://electricidad.usal.es/Principal/Fenomenos/Publicaciones/Descargas/02_Dielectricos.pdf

[109] Balanis, C. A. (2005). Antenna theory: Analysis and design (3.ª ed.). Wiley.

[110] MathWorks. (s.f.). Free-space path loss. MathWorks. Recuperado de: https://www.mathworks.com/help/comm/ref/fspl.html#d126e101953

[111] Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R). (2023). ITU-R P.1411-12: Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-12-202308-I!!PDF-E.pdf

[112] Wang, Q., Zhang, Y., He, X., Liu, J., & Liu, C. (2023). Design and Implementation of a Compact UWB Antenna with Reconfigurable Band-Notch Characteristics. Applied Sciences, 14(23), 11120. https://doi.org/10.3390/app142311120

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

[113] Nguyen, T. V., Pham, H. N., & Tran, T. M. (2023). A Low-Cost Direction-Finding System Based on Software-Defined Radio and Signal Strength. Wireless Sensor Network, 15(4), 65–79. https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=125175#t3

[114] Hata, M. (1980). Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 29(3), 317–325.

[115] Deussom Djomadji, E. M., Kabiena, I. B., Mandengue, J. T., Watching, F., & Tonye, E. (2023). Okumura Hata propagation model optimization in 400 MHz band based on differential evolution algorithm: Application to the city of Bertoua. Journal of Computer and Communications, 11(5). Recuperado de: https://doi.org/10.4236/jcc.2023.115005

[116] Okumura, Y., Ohmori, E., Kawano, T., & Fukuda, K. (1968). Field strength and its variability in the VHF and UHF land mobile radio service. Review of the Electrical Communications Laboratories, 16(9/10), 825–873.

[117] Radio Society of Great Britain (RSGB). (2020). RSGB Handbook for Radio Communication. RSGB.

[118] Kraus, J. D. (1988). Antennas (2.ª ed.). McGraw-Hill.

[119] Balanis, C. A. (2016). Antenna theory: Analysis and design (4.ª ed.). Wiley.

[120] Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (s.f.). Apuntes sobre electromagnetismo. Recuperado de: https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/4676/Asignaturas/1457/Archivo1.3288.pdf

[121] Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. (1992). Teoría clásica de campos (Vol. 2). Reverté.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Glosario de términos

CSV (Comma-Separated Values): Formato de archivo de texto plano organizado en estructuras tabulares, delimitando columnas mediante comas y registros mediante saltos de línea.

Densidad espectral de potencia (PSD): Función que describe la distribución de la potencia de una señal aleatoria o determinística en el dominio de la frecuencia. Expresada en unidades de dBm/Hz.

Diagrama polar: Gráfica bidimensional en coordenadas polares que representa la variación angular de la intensidad radiada por una antena, medida en campo lejano. Facilita la caracterización del comportamiento direccional del sistema radiante, revelando propiedades como la simetría del lóbulo principal, presencia de lóbulos secundarios y atenuaciones.

Frecuencia: Parámetro fundamental de toda onda periódica que indica el número de ciclos completos que ocurren por unidad de tiempo, generalmente expresado en hercios (Hz). En el contexto de las radiocomunicaciones, determina la región espectral de operación del sistema, afectando directamente los fenómenos de propagación, absorción, atenuación y difracción asociados.

Ganancia de antena: Relación adimensional, expresada típicamente en decibelios isotrópicos (dBi), que cuantifica la capacidad de una antena para concentrar energía radiada en una dirección específica, en comparación con una antena idealmente isotrópica que radia uniformemente en todas direcciones. Refleja la eficiencia del sistema radiante y su directividad.

GPS (Global Positioning System): Sistema global de radionavegación basado en una constelación de satélites artificiales en órbita terrestre media, permite determinar la posición geoespacial, altitud y tiempo de un receptor terrestre con alta precisión.

Patrón de radiación: Función espacial que describe la variación de la intensidad del campo electromagnético irradiado por una antena en función de la dirección en el espacio. Se representa gráficamente para frecuencias específicas y planos determinados, distinguiendo entre las regiones de máxima radiación (lóbulos principales) y aquellas de menor intensidad (lóbulos laterales y zonas de sombra).

Potencia de señal: Medida cuantitativa de la energía transportada por una onda electromagnética en un determinado punto del espacio o dentro de un sistema de transmisión. Su expresión en unidades logarítmicas como dBm permite una mejor interpretación de rangos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

dinámicos amplios en contextos técnicos como la recepción de señales débiles, caracterización de canales y evaluación del rendimiento de enlaces.

Raspberry Pi: Plataforma computacional de bajo consumo energético y arquitectura ARM diseñada para la enseñanza de ciencias computacionales y la creación de sistemas embebidos. Cuenta con capacidad de ejecución de sistemas operativos, compatibilidad con múltiples interfaces de entrada/salida, ideal para aplicaciones de adquisición de datos, automatización, monitoreo y procesamiento distribuido en tiempo real.

RTL-SDR: Interfaz de radiofrecuencia basada en el chip RTL2832U empleada como receptor de amplio espectro para tareas de exploración del espectro electromagnético. Adaptado para operar como receptor de propósito general dentro del campo de la radio definida por software.

SDR (Software-defined radio): Arquitectura de sistema de comunicaciones donde funciones tradicionalmente implementadas mediante circuitos analógicos y digitales específicos son trasladadas a módulos de procesamiento programables, permitiendo la reconfiguración dinámica de parámetros como frecuencia, modulación y ancho de banda.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexos

Anexo 1: Diagrama electrónico..... 295

Anexo 2: Datasheet Raspberry PI: 296

Anexo 3: Datasheet RTL SDR 2832U V3 Dongle: 300

Anexo 4: Datasheet GPS M8N: 308

Anexo 5: Datasheet Batería Dupu Lipo: 332

Anexo 6: Código de Raspberry Pi para prototipo portátil desarrollado en Python:..... 333

Anexo 7: Código de Interfaz desarrollada en React:..... 337

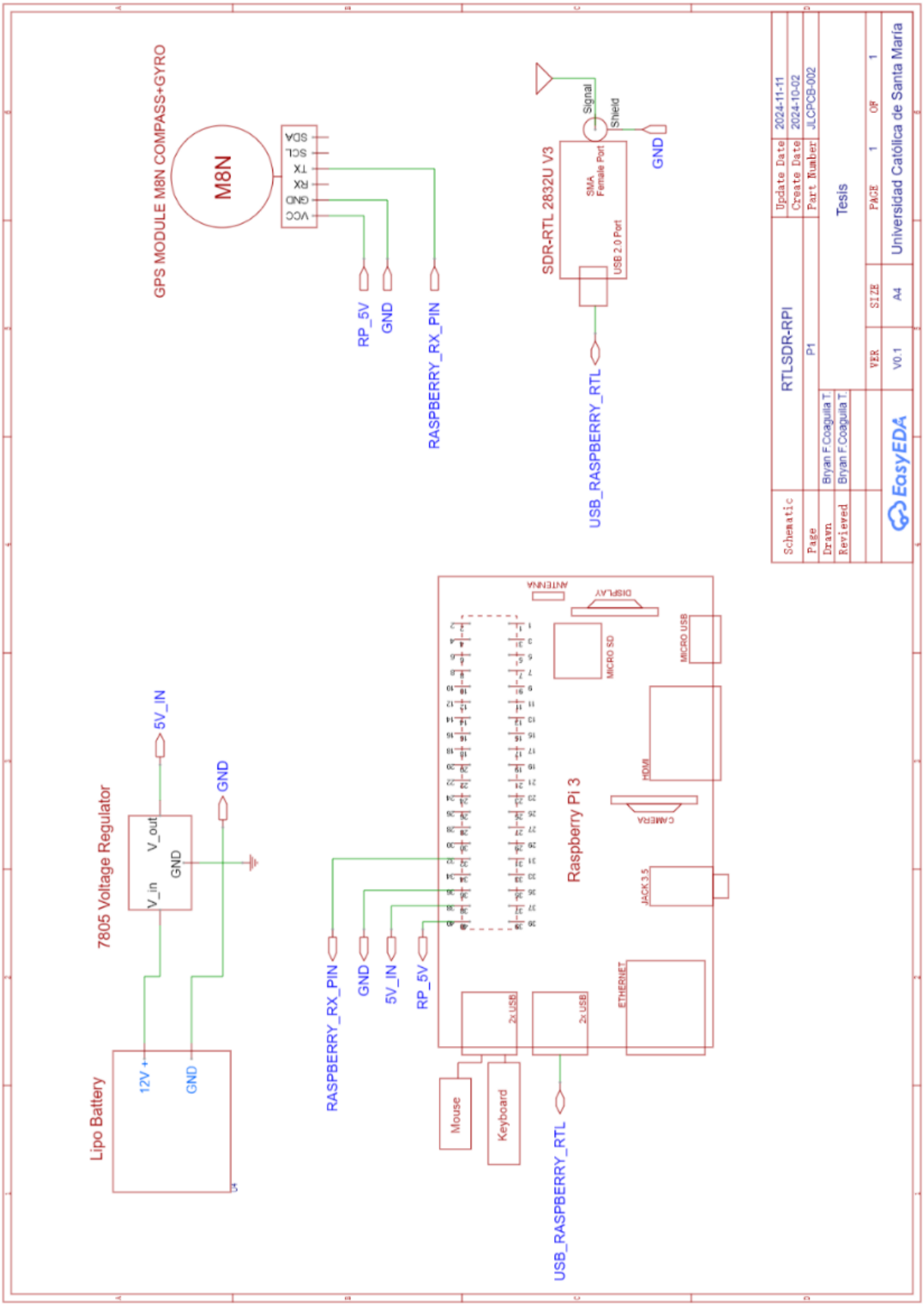
Anexo 8: Perfil Económico 371

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 1: Diagrama electrónico



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

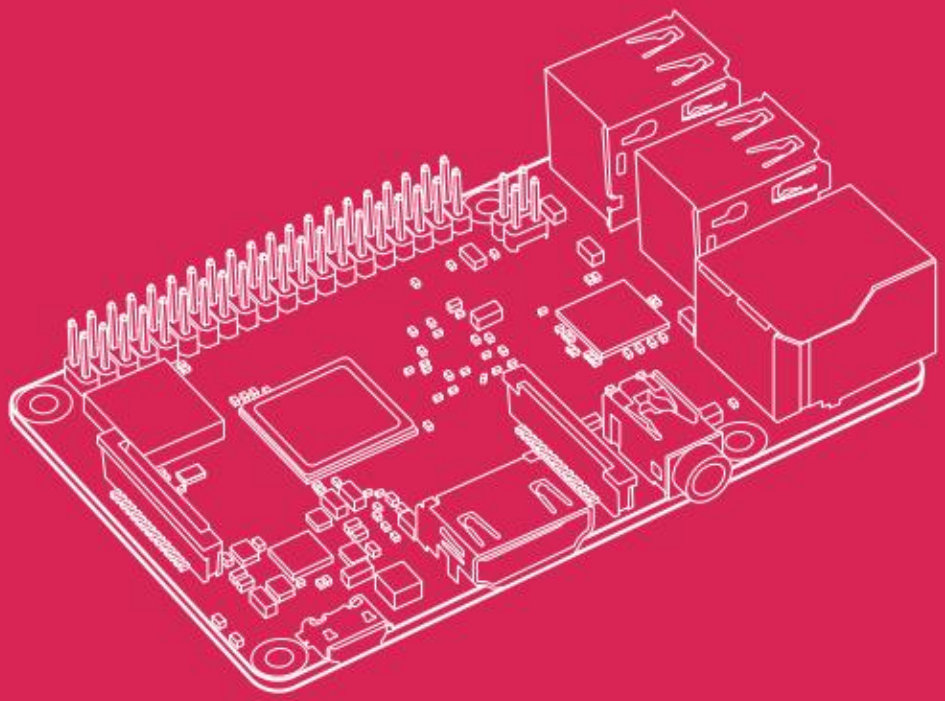
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 2: Datasheet Raspberry PI:

Raspberry Pi 3 Model B+

Published January 2025



The terms HDMI, HDMI High-Definition Multimedia Interface, and the HDMI Logo are trademarks or registered trademarks of HDMI Licensing Administrator, Inc.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Overview



Raspberry Pi 3 Model B+ has a 64-bit quad-core processor running at 1.4GHz, dual-band 2.4GHz and 5GHz wireless LAN, Bluetooth 4.2/BLE, Gigabit Ethernet over USB 2.0, and PoE capability via a separate PoE HAT. The dual-band wireless LAN comes with modular compliance certification.

Raspberry Pi 3 Model B+ maintains the same mechanical footprint as both Raspberry Pi 2 Model B and Raspberry Pi 3 Model B.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Specification

Processor:	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz
Memory:	1GB
Connectivity:	• 2.4 GHz and 5 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE • Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300Mbps) • 4 × USB 2.0 interface
Video and sound:	• 1 x full size HDMI • MIPI DSI display port • MIPI CSI camera port • 4 pole stereo output and composite video port
Multimedia:	H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics
SD card support:	Micro SD format for loading operating system and data storage
Input Power:	• 5V/2.5A DC via micro USB connector • 5V DC via GPIO header • Power over Ethernet (PoE)-enabled (requires separate PoE HAT)
Operating temperature:	0-50°C
MTBF[1] Ground Benign:	378 000 hours
Production lifetime:	Raspberry Pi 3 Model B+ will remain in production until at least January 2028
Compliance:	For a full list of local and regional product approvals, please visit pip.raspberrypi.com
List price:	**$35**

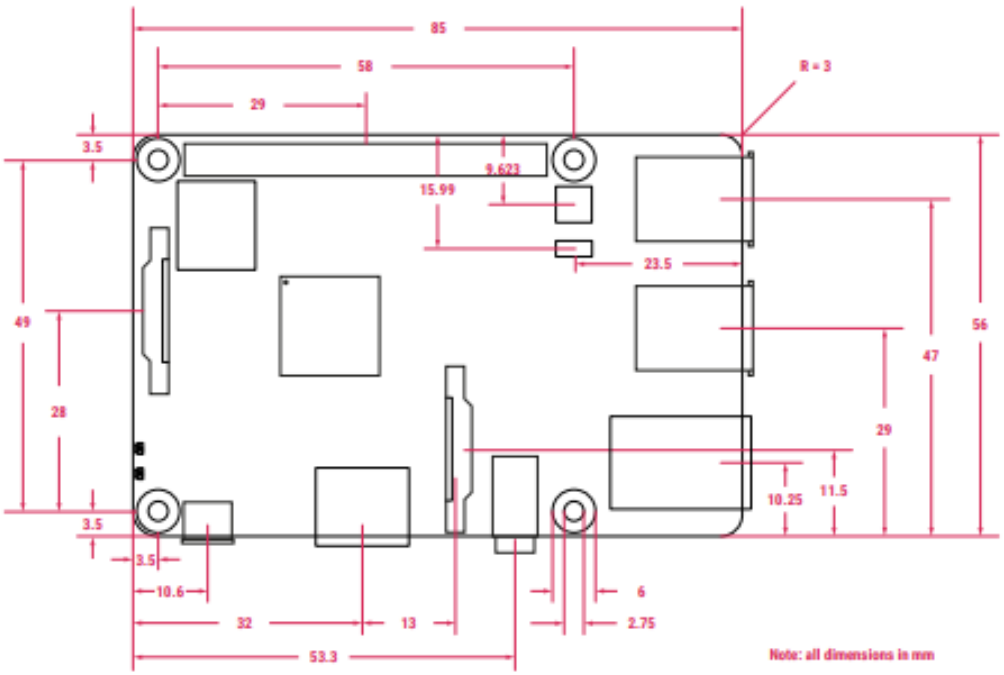
[1] Mean Time Between Failure

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Physical specification



WARNINGS

- This product should only be connected to an external power supply rated at 5V/2.5 A DC. Any external power supply used with Raspberry Pi 3 Model B+ shall comply with relevant regulations and standards applicable in the country of intended use.
- This product should be operated in a well-ventilated environment, and if used inside a case, the case should not be covered.
- Whilst in use, this product should be placed on a stable, flat, non-conductive surface, and should not be contacted by conductive items.
- The connection of incompatible devices to the GPIO connection may affect compliance, result in damage to the unit, and invalidate the warranty.
- All peripherals used with this product should comply with relevant standards for the country of use and be marked accordingly to ensure that safety and performance requirements are met. These articles include but are not limited to keyboards, monitors, and mice when used in conjunction with the Rapsberry Pi.
- The cables and connectors of all peripherals used with this product must have adequate insulation so that relevant safety requirements are met.

SAFETY INSTRUCTIONS

To avoid malfunction or damage to this product, please observe the following:

- Do not expose to water or moisture, or place on a conductive surface whilst in operation.
- Do not expose to heat from any source; Raspberry Pi 3 Model B+ is designed for reliable operation at normal ambient temperatures.
- Do not expose the printed circuit board to high-intensity light sources (e.g. xenon flash or laser) whilst in operation.
- Take care whilst handling to avoid mechanical or electrical damage to the printed circuit board and connectors.
- Whilst it is powered, avoid handling the printed circuit board, or only handle it by the edges to minimise the risk of electrostatic discharge damage.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

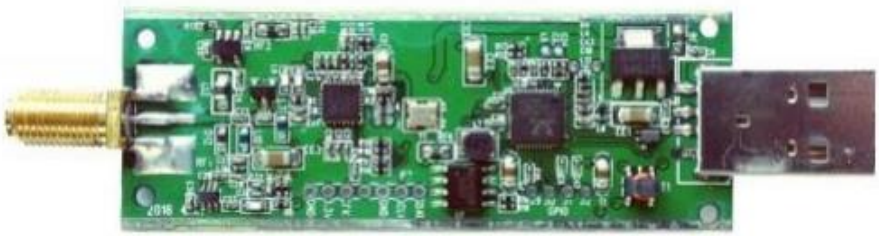
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 3: Datasheet RTL SDR 2832U V3 Dongle:

RTL-SDR Blog V3 Datasheet





The RTL-SDR Blog V3 is an improved RTL-SDR dongle. RTL-SDR dongles were originally designed for DVB-T HDTV reception, but they were found by hardware hackers to be useful as a general purpose SDR. The standard dongles are okay for DVB-T reception, but are just barely suitable for SDR users/experimenters. The RTL-SDR Blog V3 was redesigned with SDR user needs in mind, instead of DVB-T HDTV users who typically have more relaxed requirements.

Purchase at: www.rtl-sdr.com/store

Quickstart setup guide available at: www.rtl-sdr.com/qsg

Basic Information

- **Bandwidth:** Up to 2.4 MHz stable.
- **ADC:** RTL2832U 8-bits
- **Frequency Range:** 500 kHz – 1766 MHz (500 kHz – 24 MHz in direct sampling mode)
- **Typical Input Impedance:** 50 Ohms
- **Typical Current Draw:** 270 – 280 mA

Required Computing Hardware

Same requirements as a regular RTL-SDR. Compatible with Windows XP and above (SDR# requires Win 7 or newer), Linux, MacOS and Android. A dual core machine is recommended.

Single board PCs like the Raspberry Pi, Odroid, C.H.I.P are also supported with most command line apps.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RTL-SDR V3 Improvements over generic models

TCXO

The V3 uses a 1PPM TCXO for excellent frequency stability. The temperature drift is around 0.5 – 1 PPM, and the initial offset is 0 – 2 PPM. This means that the signal will not drift on the spectrum as the dongle or ambient temperature changes. Also, the frequency offset will be close to zero. Standard dongles have a PPM offset of up to 100PPM, and tend to drift a lot. Using a TCXO solves these problems.

SMA Connector

Typical RTL-SDR dongles use a relatively obscure MCX RF connector. The V3 uses commonly used SMA connectors, so it is easy to obtain adapters, connectors and antennas for the unit. SMA connectors also last longer.

Aluminium Enclosure

Unlike standard RTL-SDR's, the V3 comes standard with an aluminium enclosure. The enclosure has two purposes. The first is to help block any RF interference from entering through the PCB. The second is to act as a heatsink to the PCB.

Improved Heat Dissipation

Typical R820T/2 RTL-SDR dongles tend to lose PLL lock in L-band at around 1.5 GHz and above, causing a loss of reception to those frequencies. The reason is due to the high heat generated by the R820T2 chip. The V3 uses a thin thermal pad to thermally bond the PCB and metal enclosure together. This allows the metal case to work as a heat sink, which solves the PLL lock problem. Ideally the thermal pad should be as thin as possible to enhance maximum heat transfer, and we have designed the enclosure so that the thermal pad only needs to be 3mm thick.

The V3 also uses a larger ground plane on the middle layers of the PCB which also helps with heat dissipation.

R820T2 Chip

Older RTL-SDR units used the R820T chip. There is a newer R820T2 which has slightly better manufacturing tolerances. The R820T2 is produced in a factory with higher quality silicon which allows for more reliable chips. A side effect of the better silicon is overall slightly better and more stable sensitivity across manufacturing runs compared to the R820T, and less PLL lock problems at L-band frequencies.

Improved ESD protection on the RF front end

The BAV99 diode which is used on most RTL-SDR dongles is not a true ESD rated diode. We have added a real ESD rated diode for better protection. The BAV99 remains in the circuit as it works a strong signal clipper, which prevents damage to the R820T2 from overly strong signals. Please remember that not even this will save your radio from a lightning strike or huge ESD impulse, and any permanently outdoor mounted antenna system must have its own lightning and ESD protection. To help avoid lightning damage unplug your antenna during a storm and when the dongle is not in use.

Improved front end circuit

The standard matching circuit on the RTL-SDR was designed for DVB-T use, and tends to attenuate signals above ~1 GHz. The new matching circuit has less attenuation above 1 GHz and similar performance below. We have used high quality, high SRF, high Q inductors in this circuit.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Software switchable 4.5v bias tee.

The V3 makes use of a low noise LDO and one of the GPIO pins on the RTL2832U to provide a 4.5V bias tee that can be activated in software. The bias tee can pull about 180 mA continuously so is suitable for the majority of 3-5V powered LNAs that are popular with RTL-SDR devices. The bias tee is protected against accidental short circuits at the LDO level, and with a thermal auto-resetting PTC fuse. See 'Activating the Bias Tee' for more information on software for activating the bias tee.

This bias tee is great for powering a remote LNA (like Adams PSA5043+ based LNA4ALL) or something like the SpyVerter upconverter.

Bias Tee Warning: The bias tee thermal fuse or LDO could be damaged if you short circuit the bias tee for long periods of time. Before turning on the bias tee, ensure the circuit to be powered is not shorted, or that the RTL-SDR is not connected to a DC shorted antenna!

Lower Voltage Operation

The V3 uses an LDO that has a much lower 'dropout' voltage compared to the typical AMS1117 LDO used on most dongles. Hence the V3 should run better on long USB extension cables.

Long USB cables tend to drop the 5V USB voltage down to lower levels. Below about 4V the AMS1117 stops working. The LDO used in the V3 works almost down to 3.3V.

Of course, with low voltages from long USB cable, the bias tee will be unable to put out 4.5V. At low voltages the bias tee LDO will revert to a non-filtered voltage slightly under the supply.

Reduced noise with a modified PCB design

Typical RTL-SDR dongles use 2-layer PCB designs and route signal lines improperly. The V3 uses a modified 4-layer PCB design which helps to significantly reduces clock spurs and noise pickup.

The V3 also adds a USB common mode choke on the USB data lines to reduce USB noise, adds SMD ferrite chokes on the PCB power lines, and uses a lower noise LDO.

HF direct sampling circuit, diplexed out from the SMA connector

The idea behind direct sampling mode is that an antenna can be connected directly to the ADC pins of the RTL2832U, and this can enable HF reception. This is useful because the R820T/2 tuner can only tune down to about 24 MHz at the lowest. On typical R820T RTL-SDR dongles one can enable direct sampling mode by soldering a wire to the Q-branch pins of the RTL2832U. The RTL2832U samples at 28.8 MHz, so 0 – 14.4 MHz, and 14.4 MHz – 28.8 MHz can be listened to.

The V3 has direct sampling mode implemented in hardware already, so no hardware mods are required to listen to HF via direct sampling.

To split the HF signal out at the SMA connector, a diplexer tuned to 25 MHz is used. A 10dB buffer preamp sits after the diplexer which helps to boost the signal and overcome losses in the subsequent filter and impedance transformer. After the preamp is a 24 MHz low pass filter and then an impedance matching and single to double ended transformer. The addition of the preamp, filter and transformer ensures good direct sampling performance.

The result is that 500 kHz to about 24 MHz can be received in direct sampling mode.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Direct sampling could be more sensitive than using an upconverter, but dynamic won't be as good as with an upconverter. It can overload easily if you have strong signals since there is no gain control. And you will see aliasing of signals mirrored around 14.4 MHz due to the Nyquist theorm. But direct sampling mode should at least give the majority of users a decent taste of what's on HF. If you then find HF interesting, then you can consider upgrading to an upconverter like the SpyVerter (the SpyVerter is the only upconverter we know of that is compatible with our bias tee for easy operation, other upconverters require external power).

If you search on YouTube for "RTL-SDR V3", you will find several videos showing what you can get in direct sampling mode. Most people are surprised at how good it can be, but also many users will need a broadcast AM filter to reduce overloading. We sell a suitable broadcast AM filter on our store www.rtl-sdr.com/store.

Expansion pads on the PCB

Access pads for the unused GPIO pins, CLK in/out, 3.3V, GND and I2C pins have been added. The CLK input/output is disconnected by default. Access pads for the I branch have also been added as some users and industrial customers are using these in special projects. These pads are only for advanced users who need them for special projects. Take care as these pins are not ESD protected.

Clock selector jumper

By soldering in a 4 pin 1.27mm pitch jumper header and removing the default 0 Ohm resistor, one can now easily select between the onboard clock, an external clock, or having the on board clock be the output for another dongle. This is for advanced users only who want to experiment with things like passive radar, and coherent receivers.

Corner mounting holes for those who want to stack PCBs.

Some customers have been building devices that require multiple RTL-SDR dongles, and these standoff holes should aid in stacking.

Feature Information

Feature 1: Direct Sampling HF Mode

This feature allows you to listen to HF signals between about 500 kHz to 28.8 MHz.

To use direct sampling mode first connect an appropriate HF antenna to the SMA antenna port (this is the same port where you connect your VHF/UHF antenna).

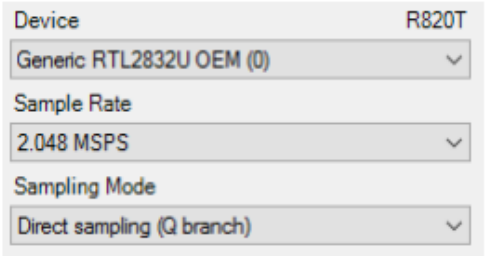
In SDR# select the Q-branch in the configure menu (the cog icon next to the play button). (If it is greyed out make sure you stop the SDR first, by clicking the stop button in SDR#)

Press Play and tune to 500 kHz – 28.8 MHz.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



VHF antennas like small discones or short whip antennas will probably not pick up HF signals very well, if at all. If you have no such antenna you *might* get something with the large telescopic antenna extended to its maximum length of 1.5m, but really this is still not long enough for HF. You can instead use the screw nut provided with the antenna base to clamp on a long wire antenna that is 5 meters or more in length. Ideally you should use a 9:1 unun with the long wire antenna for optimal reception but it is not totally necessary. Even more ideally you'd use an antenna tuner, though this is expensive.

Other software like HDSDR and GQRX can also support direct sampling. It may entail setting a device string, and for the Q-branch, the value should be 2. In GQRX the device string would be "rtl=0,direct_samp=2" (without the quotes). Make sure that there is no space after the comma.

To go back to listening to frequencies above 28.8 MHz remember to change the sampling mode back to "Quadrature Sampling".

Note that this feature makes use of *direct sampling* and so aliasing will occur. The RTL-SDR samples at 28.8 MHz, thus you may see mirrors of strong signals from 0 – 14.4 MHz while tuning to 14.4 – 28.8 MHz and the other way around as well. If these images cause problems, then to remove them you will need to use a low pass filter for 0 – 14.4 MHz, and a high pass filter for 14.4 – 28.8 MHz. Either that or you can simply filter your exact band of interest.

Feature 2: Software Selectable Bias Tee

The V3 RTL-SDR introduces a bias tee which can be enabled easily in software.

WARNING: Before using the bias tee please ensure that you understand that you should not use this option when the dongle is connected *directly* to a DC short circuited antenna. Although the bias tee circuit is dual protected against accidental shorts with a PTC automatically resetting fuse and overcurrent protection on the LDO, short circuiting the bias tee for an extended period (hours) could damage the LDO or fuse permanently. Only use it while connected to an actual powered device, like an LNA, active antenna or the SpyVerter.

To make things clearer: DC Short Antenna -> LNA -> Coax -> V3(bias tee on) is fine. What's not good and makes no sense anyway is DC Short Antenna -> Coax -> V3(bias tee on). DC Short Antenna -> Coax -> V3(bias tee off) is fine.

To enable the bias tee in Windows:

1. Download and extract all the files in the zip file downloadable at https://github.com/rtlsdrblog/rtl-sdr/releases/tag/v1.1 into a folder on your PC. It contains two batch files that can be run.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2. Next make sure that all SDR software like SDR#/HDSDR/SDR-Console etc is fully closed. If there is another program accessing the RTL-SDR the bias tee software will not run.
3. Run the biastee_on.bat file to turn the bias tee on. It will run and open a CMD prompt that will briefly say "Found Rafael Micro R820T Tuner". The CMD prompt will close soon after upon success.

The bias tee is now on. To turn it off repeat steps 2 & 3, but instead run the biastee_off.bat batch file. Alternatively, simply disconnect and then reconnect the SDR to turn the bias tee off.

If you have multiple dongles connected you'll need to edit the batch file to specify what dongle's bias tee you want to activate. Open the bat file with any text editor, like Notepad, and add the dongle selector "-d" flag. For example, to activate the bias tee on the dongle that was plugged in second you'd need to change it to "rtl_biast -b 1 -d 1".

If you get a Smart Screen message, click on More Info, and then on Run Anyway. Also note that some versions of Windows may fail to run batch files due to misconfiguration or aggressive antivirus software. If you cannot fix these problems with Windows or your antivirus, run the command manually on the CMD line.

To run it manually on the CMD line first browse to the directory where the bias tee software is stored using "cd" (e.g. cd C:\SDR\bias_tee_folder), and then run:

ON: rtl_biast -b 1

OFF: rtl_biast -b 0

If needed select a particular RTL-SDR device with the -d flag.

In Linux or MacOS download the source from git, compile it the same way you do the regular RTL-SDR drivers, and then run ./rtl_biast -b 1 to turn the bias tee on and ./rtl_biast -b 0 to turn the bias tee off. The procedure is:

```
git clone https://github.com/rtlsdrblog/rtl_biast
cd rtl_biast
mkdir build
cd build
cmake ..
make
cd src
./rtl_biast -b 1
```

If you want to be able to run the bias tee program from anywhere on the command line you can also run "sudo make install".

If you have trouble running the bias tee use a multimeter to check if there is 4.5V at the SMA port, and that your powered device is actually capable of receiving power. Remember that not all LNA's can accept bias tee power. We recommend Adam 9A4QV's LNA4ALL, as you can order this from his store with the bias tee power option enabled.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Feature 3: Selectable Clock & Expansion Headers

This is for advanced users who need to daisy chain clocks together for coherent experiments, or need to access other ports. You can either bridge the clock selector the directly with a solder bridge, or solder on a 1.27mm 2×2 header pin jumper.

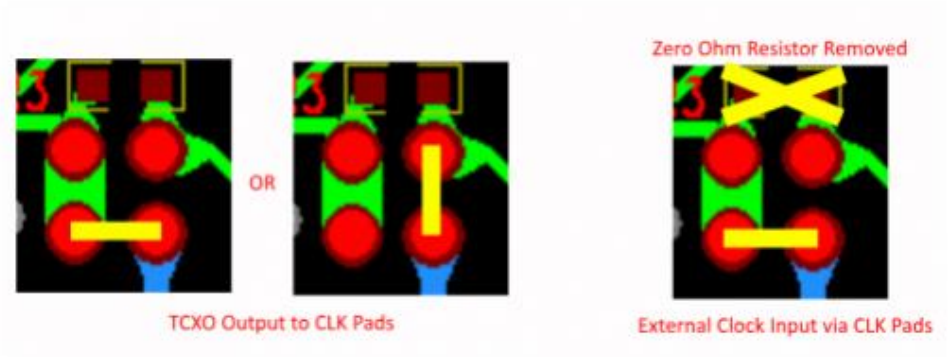
1. To add a jumper to the CLK selector header.
2. Carefully remove the 0 Ohm resistor.
3. Very carefully solder a 1.27mm 2×2 header onto the clock selector pads.

You can now select your clock input.

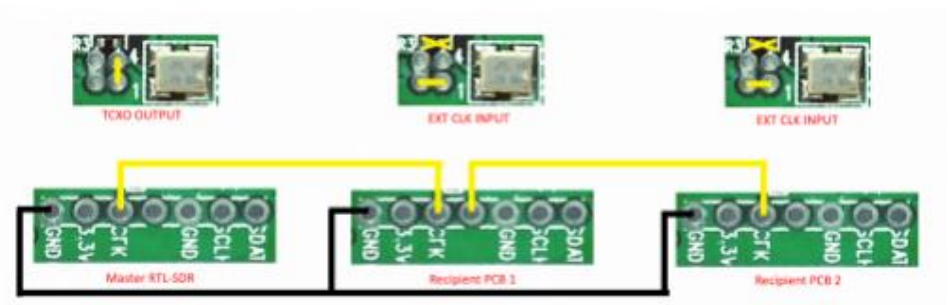
How to connect the CLK jumpers:



The first position allows you to output the dongles clock to the CLK pads. The second position allows you to input an external clock.



An example of CLK daisy chaining is shown below. One dongles TCXO is connected to two other dongles who have disconnected clocks.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

LF Improvement / Bias Tee Disable Mod

If you want to improve the performance at LF/MW and do not require the bias tee, then you can remove the bias tee inductor at L13. Of course, remember that if you are really interested in VLF/LF, then it might be a better idea to use a VLF/LF compatible upconverter like the SpyVerter, which can be powered by the bias tee on the dongle. Obviously if you remove the bias tee inductor, the bias tee will no longer function, and so you'd have to power the SpyVerter externally via a USB cable.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 4: Datasheet GPS M8N:

P

NEO-M8

u-blox M8 concurrent GNSS modules

Data sheet



Abstract
This data sheet describes the NEO-M8 module family which provides concurrent reception of up to 3 GNSS (GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou). NEO-M8 is backward compatible with NEO-7, NEO-6 and NEO-5 families.

www.u-blox.com
UBX-15031086 - R12
C1-Public

ublox

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Document information

Title	**NEO-M8**	
Subtitle	u-blox M8 concurrent GNSS modules	
Document type	Data sheet	
Document number	UBX-15031086	
Revision and date	R12	16-Dec-2022
Document status	Production information	
Disclosure restriction	C1-Public	

Product status	Corresponding content status	
In Development / Prototype	Objective Specification	Target values. Revised and supplementary data will be published later.
Engineering Sample	Advance Information	Data based on early testing. Revised and supplementary data will be published later.
Initial Production	Early Production Information	Data from product verification. Revised and supplementary data may be published later.
Mass Production / End of Life	Production Information	Document contains the final product specification.

This document applies to the following products:

Product name	Type number	Firmware version	PCN/IN reference
NEO-M8N	NEO-M8N-0-12	Flash FW SPG 3.01	UBX-21015025, UBX-22039049
NEO-M8Q	NEO-M8Q-0-12	ROM SPG 3.01	UBX-21015025, UBX-22039049
NEO-M8M	NEO-M8M-0-11	ROM SPG 3.01	UBX-21015022, UBX-22039049
NEO-M8J	NEO-M8J-0-11	Flash FW SPG 3.05	UBX-21015025, UBX-22039049

u-blox or third parties may hold intellectual property rights in the products, names, logos and designs included in this document. Copying, reproduction, modification or disclosure to third parties of this document or any part thereof is only permitted with the express written permission of u-blox.
The information contained herein is provided "as is" and u-blox assumes no liability for its use. No warranty, either express or implied, is given, including but not limited to, with respect to the accuracy, correctness, reliability and fitness for a particular purpose of the information. This document may be revised by u-blox at any time without notice. For the most recent documents, visit www.u-blox.com.
Copyright © u-blox AG.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1 Functional description

1.1 Overview

The NEO-M8 series of concurrent GNSS modules is built on the high-performing u-blox M8 GNSS engine in the industry-proven NEO form factor.

The NEO-M8 modules utilize concurrent reception of up to three GNSS systems (GPS/Galileo together with BeiDou or GLONASS), recognize multiple constellations simultaneously and provide outstanding positioning accuracy in scenarios where urban canyon or weak signals are involved. For even better and faster positioning improvement, the NEO-M8 series supports augmentation of QZSS, GAGAN and IMES together with WAAS, EGNOS, and MSAS. The NEO-M8 series also supports message integrity protection, geofencing, and spoofing detection with configurable interface settings to easily fit to customer applications.

The NEO-M8M is optimized for cost-sensitive applications, while NEO-M8N and NEO-M8Q provide the best performance. The future-proof NEO-M8N and NEO-M8J include an internal flash that allows future firmware updates. This makes NEO-M8N and NEO-M8J perfectly suited to industrial and automotive applications.

The I2C-compliant DDC interface provides connectivity and enables synergies with most u-blox cellular modules. For RF optimization, NEO-M8J, NEO-M8N, and NEO-M8Q feature an additional front-end LNA for easier antenna integration and a front-end SAW filter for increased jamming immunity.

u-blox M8 modules use GNSS chips qualified according to AEC-Q100, are manufactured in ISO/TS 16949 certified sites, and are fully tested on a system level. Qualification tests are performed as stipulated in the ISO16750 standard: “Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment”.

The u-blox NEO-M8 modules can also benefit from the u-blox AssistNow assistance service. The Online service provides GNNS broadcast parameters, for example, ephemeris, almanac plus time or rough position to reduce the receiver’s time to first fix significantly and to improve acquisition sensitivity. The extended validity of AssistNow Offline data (up to 35 days) and AssistNow Autonomous data (up to 6 days) provide faster acquisition after a long off time.

See section 1.6 for more information concerning the NEO-M8 related AssistNow Assistance.

1.2 Product features

Model	Category				GNSS					Supply		Interfaces				Features									Grade		
	Standard Precision	High Precision GNSS	Dead Reckoning	Timing	GPS / QZSS	GLONASS	Galileo	BeiDou	Number of concurrent GNSS	1.65 V – 3.6 V	2.7 V – 3.6 V	UART	USB	SPI	DDC (I²C compliant)	Programmable (flash)	Data logging	Additional SAW	Additional LNA	RTC crystal	Oscillator	Built-in antenna	Built-in antenna supply and supervisor	Timepulse	Standard	Professional	Automotive
NEO-M8N	•				•	•	•	•	3		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	T			1		•	
NEO-M8Q	•				•	•	•	•	3		•	•	•	•	•			•	•	•	T			1		•	
NEO-M8M	•				•	•	•	•	3	•		•	•	•	•					•	C			1		•	
NEO-M8J	•				•	•	•	•	3		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	C			1		•	

C = Crystal / T = TCXO

310

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.3 Performance

Parameter	Specification					
Receiver type	72-channel u-blox M8 engine GPS L1C/A, SBAS L1C/A, QZSS L1C/A, QZSS L1 SAIF, GLONASS L1OF, BeiDou B1I, Galileo E1B/C					
Accuracy of time pulse signal	RMS 99%	30 ns 60 ns				
Frequency of time pulse signal		0.25 Hz...10 MHz (configurable)				
Operational limits [1]	Dynamics	≤ 4 g				
	Altitude	50,000 m				
	Velocity	500 m/s				
Velocity accuracy [2]		0.05 m/s				
Heading accuracy [2]		0.3 degrees				
GNSS		**GPS & GLONASS**	**GPS**	**GLONASS**	**BeiDou**	**Galileo**
Horizontal position accuracy [3]	 With SBAS	2.5 m 2.0 m	2.5 m 2.0 m	4 m -	3 m -	3 m -
NEO-M8N/Q						
Max navigation update rate	NEO-M8N	5 Hz	10 Hz	10 Hz	10 Hz	10 Hz
	NEO-M8Q	10 Hz	18 Hz	18 Hz	18 Hz	18 Hz
Time-To-First-Fix [4]	Cold start	26 s	29 s	30 s	34 s	45 s
	Hot start	1 s	1 s	1 s	1 s	1 s
	Aided starts [5]	2 s	2 s	2 s	3 s	7 s
Sensitivity [6]	Tracking & Navigation	–167 dBm	–166 dBm	-166 dBm	-160 dBm	-159 dBm
	Reacquisition	–160 dBm	–160 dBm	-156 dBm	-157 dBm	-153 dBm
	Cold start	–148 dBm	–148 dBm	-145 dBm	-143 dBm	-138 dBm
	Hot start	–157 dBm	–157 dBm	-156 dBm	-155 dBm	-151 dBm
NEO-M8J/M						
Max navigation update rate	NEO-M8J	5 Hz	10 Hz	10 Hz	10 Hz	10 Hz
	NEO-M8M	10 Hz	18 Hz	18 Hz	18 Hz	18 Hz
Time-To-First-Fix [4]	Cold start	26 s	30 s	33 s	39 s	57 s
	Hot start	1 s	1 s	1 s	1 s	1 s
	Aided starts [6]	3 s	3 s	3 s	7 s	7 s
Sensitivity [6]	Tracking & Navigation	-164 dBm	-164 dBm	-163 dBm	-160 dBm	-154 dBm
	Reacquisition	-160 dBm	-159 dBm	-156 dBm	-155 dBm	-152dBm
	Cold start	-148 dBm	-147 dBm	-145 dBm	-143 dBm	-133 dBm
	Hot start	-157 dBm	-156 dBm	-155 dBm	-155 dBm	-151 dBm

Table 1: NEO-M8 performance in different GNSS modes (default: concurrent reception of GPS and GLONASS including QZSS, SBAS)

[1] Assuming Airborne < 4 g platform
[2] 50% at 30 m/s
[3] CEP, 50%, 24 hours static, -130 dBm, > 6 SVs
[4] All satellites at -130 dBm, except Galileo at -127 dBm
[5] Dependent on aiding data connection speed and latency
[6] Demonstrated with a good external LNA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.4 Block diagram

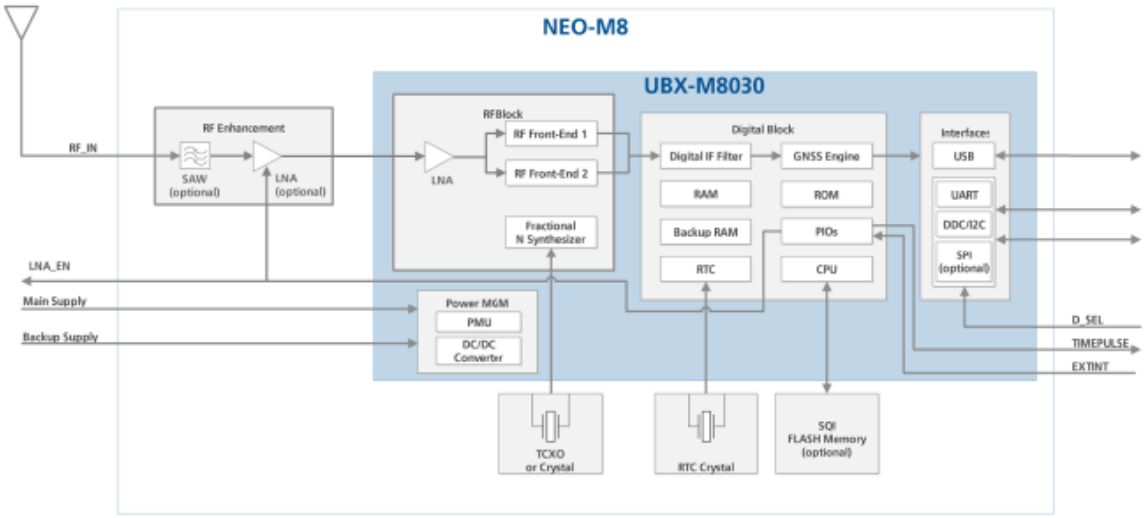


Figure 1: NEO-M8 block diagram

1.5 Supported GNSS constellations

The NEO-M8 GNSS modules are concurrent GNSS receivers which can receive and track multiple GNSS systems: GPS, Galileo, GLONASS and BeiDou. Owing to the dual-frequency RF front-end architecture, either GLONASS or BeiDou can be processed concurrently with GPS and Galileo signals providing reception of three GNSS systems. By default the M8 receivers are configured for concurrent GPS and GLONASS, including SBAS and QZSS reception. If power consumption is a key factor, the receiver should be configured for a single GNSS operation using GPS, Galileo, GLONASS or BeiDou and disabling QZSS and SBAS. The module can be configured to receive any single GNSS constellation or within the set of permissible combinations shown below.

GPS	Galileo	GLONASS	BeiDou
•	•	–	–
•	•	•	–
•	•	–	•
•	–	•	–
•	–	–	•
–	•	•	–
–	•	–	•
–	–	•	•

Table 2 Permissible GNSS combinations (• = enabled)

☞ The SBAS and QZSS augmentation systems can be enabled only if GPS operation is configured.

☞ Galileo is not enabled as the default configuration.

1.5.1 GPS

The NEO-M8 positioning modules are designed to receive and track the L1C/A signals provided at 1575.42 MHz by the global positioning system (GPS).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis
312

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.5.2 GLONASS

The NEO-M8 modules can receive and process the GLONASS satellite system as an alternative to the US-based global positioning system (GPS). u-blox NEO-M8 positioning modules are designed to receive and track the L1OF signals GLONASS provides at 1602 MHz + k*562.5 kHz, where k is the satellite's frequency channel number (k = –7,..., 5, 6). The ability to receive and track GLONASS L1OF satellite signals allows design of GLONASS receivers where required by regulations.

To take advantage of GPS and GLONASS, dedicated hardware preparation must be made during the design-in phase. See the NEO-8Q / NEO-M8 Hardware integration manual [1] for u-blox design recommendations.

1.5.3 BeiDou

The NEO-M8 modules can receive and process the B1I signals broadcast at 1561.098 MHz from the BeiDou Navigation Satellite System. The ability to receive and track BeiDou signals in conjunction with another constellation results in higher coverage, improved reliability and better accuracy.

1.5.4 Galileo

The NEO-M8 positioning modules can receive and track the E1-B/C signals centered on the GPS L1 frequency band. GPS and Galileo signals can be processed concurrently together with either BeiDou or GLONASS signals, enhancing coverage, reliability and accuracy. The SAR return link message (RLM) parameters for both short and long versions are decoded by the receiver and made available to users via UBX proprietary messages.

☞ Galileo has been implemented according to ICD release 1.2 (November 2015) and verified with live signals from the Galileo in-orbit validation campaign.

☞ Galileo reception is by default disabled, but can be enabled by sending a configuration message (UBX-CFG-GNSS) to the receiver. See the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description including Protocol Specification [2] for more information.

1.6 Assisted GNSS (A-GNSS)

Supply of GNSS receiver assistance information, such as ephemeris, almanac, rough user position and time, will reduce the time to first fix significantly and improve acquisition sensitivity. The NEO-M8J, NEO-M8N, NEO-M8Q, and NEO-M8M modules support the u-blox AssistNow Online and AssistNow Offline A-GNSS services, support AssistNow Autonomous, and are OMA SUPL compliant.

1.6.1 AssistNow™ Online

With AssistNow Online, an internet-connected host downloads assistance data from the u-blox AssistNow Online service to the receiver at system start-up. The Multi-GNSS Assistance (MGA) service is an HTTP protocol-based network operator-independent service.

Supplying assistance information, such as ephemeris, almanac, a rough last position and time, can reduce the time to first fix significantly and improve acquisition sensitivity.

☞ The AssistNow Online service provides data for GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo and QZSS

1.6.2 AssistNow™ Offline

With the AssistNow Offline service, users can download long-term orbit data over the internet at their convenience. The orbit data can be stored in the GNSS receiver's SQI flash memory or, alternatively, within the memory of the application processor. The function requires no connectivity at system

313
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

start-up, enabling a position fix within seconds, even when no network is available. AssistNow Offline offers augmentation for up to 35 days.

AssistNow Offline service provides data for GPS and GLONASS only, BeiDou and Galileo are not currently supported.

1.6.3 AssistNow™ Autonomous

AssistNow Autonomous provides aiding information without the need for a host or external network connection. Based on previous broadcast satellite ephemeris data downloaded to and stored by the GNSS receiver, AssistNow Autonomous automatically generates accurate predictions of satellite orbital data ("AssistNow Autonomous data") that is usable for future GNSS position fixes. The concept capitalizes on the periodic nature of GNSS satellites; by capturing strategic ephemeris data at specific times of the day. The flash memory-based NEO-M8N/J modules can predict accurate satellite ephemeris for up to six days after initial reception. The ROM-based NEO-M8M/Q modules can use only GPS satellites with a prediction time of up to three days.

u-blox AssistNow Autonomous benefits are:

- Faster fix in situations where satellite signals are weak
- No connectivity required
- Compatible with AssistNow Online (can work stand-alone, or in tandem with AssistNow Online service)
- No integration effort; calculations are done in the background, transparent to the user

For more details on A-GNSS, see the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description including Protocol Specification [2].

1.7 Augmentation systems

1.7.1 Satellite-based augmentation system (SBAS)

The u-blox NEO-M8 modules support reception of SBAS broadcast signals. These systems supplement GNSS data with additional regional or wide area GPS augmentation data. The system broadcasts range correction and integrity information via satellite which can be used by GNSS receivers to improve resulting precision. SBAS satellites can be used as additional satellites for ranging (navigation), further enhancing availability. The following SBAS types are supported: GAGAN, WAAS, EGNOS and MSAS.

For more details, see the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description, Protocol Specification [2].

1.7.2 QZSS

The Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) is a regional navigation satellite system that transmits additional GPS L1 C/A signals for the Pacific region covering Japan and Australia. NEO-M8 positioning modules are able to receive and track these signals concurrently with GPS signals, resulting in better availability especially under challenging signal conditions, e.g. in urban canyons. The L1- SAIF signal provided by QZSS can be enabled for reception via a GNSS configuration message.

1.7.3 IMES

The Japanese Indoor Messaging System (IMES) system is used for indoor position reporting using low-power transmitters which broadcast a GPS–like signal. NEO-M8 modules can be configured to receive and demodulate the signal to provide an in-door location estimate.

This service is authorized and available only in Japan.

314
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

IMES reception is disabled by default.

1.7.4 Differential GPS (D-GPS)

u-blox receivers support Differential GPS (D-GPS) data according to RTCM specification 10402.3 [4]: The use of D-GPS improves GPS position accuracy. The RTCM implementation supports the following RTCM 2.3 messages.

Message type	Description
1	Differential GPS corrections
2	Delta differential GPS corrections
3	GPS reference station parameters
9	GPS partial correction set

Table 3: Supported RTCM 2.3 messages

RTCM corrections cannot be used together with SBAS.

For more details, see the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description including Protocol Specification [2].

1.8 Broadcast navigation data and satellite signal measurements

The NEO-M8 modules can output all the GNSS broadcast data upon reception from tracked satellites. This includes all the supported GNSS signals plus the augmentation services SBAS, QZSS and IMES. The receiver also makes available the tracked satellite signal information, that is, raw code phase and Doppler measurements in a form aligned to the ETSI mobile cellular location services protocol (RRLP) [6]. For more details, see the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description including Protocol Specification [2].

1.9 Odometer

The odometer function provides information on travelled ground distance (in meters) based on the position and Doppler-based velocity output from the navigation solution. For each computed distance since the last odometer reset, the odometer estimates a 1-sigma accuracy value. The total cumulative ground distance is maintained and saved in the BBR memory.

The odometer feature is disabled by default. For more details, see the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description including Protocol Specification [2].

1.10 Data logging (NEO-M8N/J)

The NEO-M8N and NEO-M8J modules can be used in data logging applications. The data logging feature enables continuous storage of position, velocity and time information to an onboard SQI flash memory (at least 16 Mbit). It can also log the distance from the odometer. The information can be downloaded from the receiver later for further analysis or for conversion to a mapping tool. For more information see the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description including Protocol Specification [2].

1.11 Geofencing

The u-blox NEO-M8 modules support up to four circular Geofencing areas defined on the Earth's surface using a 2D model. Geofencing is active when at least one Geofence is defined, the current status can be found by polling the receiver. A GPIO pin can be nominated to indicate status to, for example, wake up a host on activation.

315
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.12 Message integrity protection

The NEO-M8 modules provide a function to detect third party interference with the UBX message steam sent from receiver to host. The security mechanism "signs" nominated messages via a subsequent UBX message. This message signature is then compared with one generated by the host to determine if the message data has been altered. The signature algorithm seed can use one fixed secret ID key set by eFuse in production and a dynamic ID key set by the host, enabling users to detect "man-in-the-middle" style attacks.

1.13 Spoofing detection

Spoofing is a process whereby a malicious third party tries to control the reported position via a "fake" GNSS broadcast signal. This may result in the form of reporting incorrect position, velocity or time. To combat against this, NEO-M8 modules include spoofing detection measures to alert the host when signals appear to be suspicious. The receiver combines a number of checks on the received signals looking for inconsistencies across several parameters.

☞ This feature does not guarantee detecting all spoofing attacks.

1.14 EXTINT: External interrupt

EXTINT is an external interrupt pin with fixed input voltage thresholds with respect to **VCC**. It can be used for control of the receiver or for aiding.

For more information about how to implement and configure these features, see the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description including Protocol Specification [2] and the NEO-8Q / NEO-M8 Hardware integration manual [1].

1.14.1 Pin control

The pin control feature allows overriding the automatic active/inactive cycle of power save mode. The state of the receiver can be controlled through the **EXTINT** pin.

The receiver can also be forced OFF using **EXTINT** when power save mode is not active.

1.14.2 Aiding

The **EXTINT** pin can be used to supply time or frequency aiding data to the receiver.

For time aiding, hardware time synchronization can be achieved by connecting an accurate time pulse to the **EXTINT** pin.

Frequency aiding can be implemented by connecting a periodic rectangular signal with a frequency up to 500 kHz and arbitrary duty cycle (low/high phase duration must not be shorter than 50 ns) to the **EXTINT** pin. Provide the applied frequency value to the receiver using UBX messages.

316
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.15 TIMEPULSE

A configurable time pulse signal is available with the NEO-M8N, NEO-M8J, NEO-M8Q, and NEO-M8M modules.

The **TIMEPULSE** output generates pulse trains synchronized with GPS or UTC time grid with intervals configurable over a wide frequency range. Thus it may be used as a low frequency time synchronization pulse or as a high frequency reference signal.

By default the time pulse signal is configured to 1 pulse per second. For more information, see the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description including Protocol Specification [2].

1.16 Protocols and interfaces

Protocol	Type
NMEA 0183, version 4.0 (V2.1, V2.3 or V4.1 configurable)	Input/output, ASCII
UBX	Input/output, binary, u-blox proprietary
RTCM	Input message, 1, 2, 3, 9

Table 4: Available protocols

All protocols are available on UART, USB, DDC (I2C-compliant) and SPI. For specification of the various protocols, see the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description including Protocol Specification [2].

1.17 Interfaces

A number of interfaces are provided either for data communication or memory access. The embedded firmware uses these interfaces according to their respective protocol specifications.

1.17.1 UART

The NEO-M8 modules include one UART interface, which can be used for communication to a host. It supports configurable baud rates. For supported baud rates, see the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description including Protocol Specification [2].

☞ Designs must allow access to the UART and the **SAFEBOOT_N** function pin for future service, updates and reconfiguration.

1.17.2 USB

A USB interface, which is compatible to USB version 2.0 FS (full speed, 12 Mbit/s), can be used for communication as an alternative to the UART. The pull-up resistor on pin USB_DP is integrated to signal a full-speed device to the host. The VDD_USB pin supplies the USB interface. The u-blox USB (CDC-ACM) driver supports Windows Vista and Windows 7 and 8 operating systems. A separate driver (CDC-ACM) is not required for Windows 10 which has a built-in USB-serial driver. However, plugging initially into an internet-connected Windows 10 PC will download the u-blox combined sensor and VCP driver package.

☞ USB drivers can be downloaded from the u-blox web site, www.u-blox.com.

1.17.3 SPI

The SPI interface is designed to allow communication to a host CPU. The interface can be operated in slave mode only. The maximum transfer rate using SPI is 125 kB/s and the maximum SPI clock frequency is 5.5 MHz. Note that SPI is not available in the default configuration because its pins are shared with the UART and DDC interfaces. The SPI interface can be enabled by connecting **D_SEL** (pin 2) to ground (see section 3.1).

317
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.17.4 Display data channel (DDC)

An I2C-compliant DDC interface is available for communication with an external host CPU or u-blox cellular modules. The interface can be operated in slave mode only. The DDC protocol and electrical interface are fully compatible with the fast-mode of the I2C industry standard. Since the maximum SCL clock frequency is 400 kHz, the maximum transfer rate is 400 kbit/s.

1.18 Clock generation

1.18.1 Oscillators

NEO-M8 GNSS modules are available in TCXO and crystal versions. The TCXO allows accelerated weak signal acquisition, enabling faster start and reacquisition times.

Oscillators used on NEO-M8 modules are carefully selected and screened for stability and against frequency perturbations across the full operating range (–40 °C to +85 °C).

The careful selection and qualification of critical parts, such as GNSS oscillators, has resulted in u-blox modules being the most reliable positioning modules in the industry, particularly in challenging conditions.

1.18.2 Real-time clock (RTC)

The RTC is driven by a 32 kHz oscillator using an RTC crystal. If the main supply voltage fails, and a battery is connected to **V_BCKP**, parts of the receiver switch off, but the RTC still runs providing a timing reference for the receiver. This operating mode is called hardware backup mode, which enables all relevant data to be saved in the backup RAM to allow a hot or warm start later.

1.19 Power management

u-blox M8 technology offers a power-optimized architecture with built-in autonomous power saving functions to minimize power consumption at any given time. Furthermore, the receiver can be used in two operating modes: continuous mode for best performance or power save mode for optimized power consumption, respectively.

1.19.1 DC-DC converter

The NEO-M8 modules integrate a DC-DC converter, allowing reduced power consumption especially when using a main supply voltage above 2.5 V.

☞ For more information, see the NEO-8Q / NEO-M8 Hardware integration manual [1].

1.19.2 Power mode setup

u-blox M8 modules can be configured to run in either continuous or a choice of power save mode configurations. A template of power mode settings can be used to easily select typical power mode setups to cover the majority of users' requirements.

For specific power saving applications the user has the option to fully configure via the power save mode configuration. For more information, see section 1.19.4.

The u-blox M8 modules' power mode setup offers a choice of continuous operation and preset power save mode configurations.

- Continuous (default) mode for best GNSS performance vs. power consumption
- Continuous with no compromise in power consumption
- A 1 Hz cyclic tracking mode for aggressive power reduction

318
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Choice of 2 or 4 Hz[7] cyclic tracking modes for typical wearable applications
- ON/OFF interval mode

1.19.3 Continuous mode

Continuous mode uses the acquisition engine at full performance resulting in the shortest possible TTFF and the highest sensitivity. It searches for all possible satellites until the Almanac is completely downloaded. The receiver then switches to the tracking engine to lower power consumption.

Thus, a lower tracking current consumption level will be achieved when:

- A valid GNSS position is obtained
- The entire Almanac has been downloaded
- The Ephemeris for each satellite in view is valid

1.19.4 Power save mode

For specific power saving applications outside the typical preset power mode setups, users can configure a tailored power save mode.

The power save mode provides two dedicated methods, ON/OFF and cyclic tracking, that reduce average current consumption in different ways to match the needs of the specific application. These operations can be set by using a specific UBX message.

For more information about power management strategies, see the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description including Protocol Specification [2].

1.20 Antenna

NEO-M8 modules are designed for use with passive [8] and active [9] antennas.

Parameter	Specification	
Antenna type		Passive and active antenna
Active antenna recommendations	Minimum gain	15 dB (to compensate signal loss in RF cable)
	Maximum gain	50[10] dB / 30[11] dB
	Maximum noise figure	1.5 dB

Table 5: Antenna specifications for NEO-M8 modules

1.21 LNA_EN

The LNA_EN pin provides optional control for switching off power to an active antenna or separate LNA. This facility is provided to help minimize power consumption in power save mode operation. See the NEO-8Q / NEO-M8 Hardware integration manual [1] for more information.

[7] Single GNSS constellation configuration only.
[8] For integration of NEO-M8 modules with Cellular products, see the NEO-8Q / NEO-M8 Hardware integration manual [1].
[9] For using active antennas with NEO-M8 modules, see the NEO-8Q / NEO-M8 Hardware integration manual [1].
[10] NEO-M8M
[11] NEO-M8N/J/Q

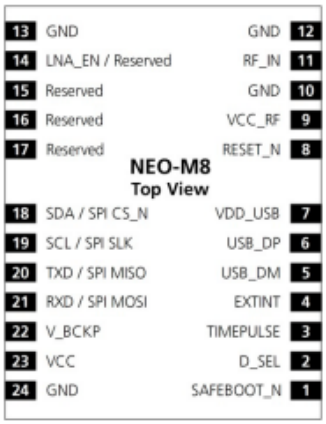
319
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2 Pin definition

2.1 Pin assignment



PIO = Peripheral Input Output

Figure 2: Pin assignment

No.	Name	PIO no.	I/O	Description
1	SAFEBOOT_N	-	I	SAFEBOOT_N (for future service, updates and reconfiguration, leave OPEN)
2	D_SEL	-	I	Interface select
3	TIMEPULSE	11	O	Time pulse (1PPS)
4	EXTINT	13	I	External interrupt pin
5	USB_DM	-	I/O	USB data
6	USB_DP	-	I/O	USB data
7	VDD_USB	-	I	USB supply
8	RESET_N	-	I	RESET_N
9	VCC_RF	-	O	Output voltage RF section
10	GND	-	I	Ground
11	RF_IN	-	I	GNSS signal input
12	GND	-	I	Ground
13	GND	-	I	Ground
14	LNA_EN / Reserved	16	O	LNA_EN (NEO-M8N/Q/J): Antenna/LNA control Reserved (NEO-M8M): Reserved
15	Reserved		-	Reserved
16	Reserved		-	Reserved
17	Reserved		-	Reserved
18	SDA / SPI CS_N	9	I/O	DDC data if D_SEL =1 (or open) SPI chip select if D_SEL = 0
19	SCL / SPI CLK	8	I/O	DDC clock if D_SEL =1 (or open) SPI clock if D_SEL = 0
20	TXD / SPI MISO	6	O	Serial port if D_SEL =1 (or open) SPI MISO if D_SEL = 0
21	RXD / SPI MOSI	7	I	Serial port if D_SEL =1 (or open) SPI MOSI if D_SEL = 0
22	V_BCKP	-	I	Backup voltage supply
23	VCC		I	Supply voltage
24	GND		I	Ground

Table 6: Pinout of NEO-M8

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

320

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Pins designated as "Reserved" should not be used. For more information about pinouts, see the NEO-8Q / NEO-M8 Hardware integration manual [1].

2.2 Pin name changes

Selected pin names have been updated to agree with a common naming convention across u-blox modules. The pins have not changed their operation and are the same physical hardware but with updated names. The table below lists the pins that have a changed name along with their old and new names.

No.	Previous name	New name
1	Reserved	SAFEBOOT_N
14	ANT_ON	LNA_EN
20	TxD SPI MISO	TXD / SPI MISO
21	RxD SPI MOSI	RXD / SPI MOSI

Table 7: Pin name changes

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3 Configuration management

Configuration settings can be modified with UBX configuration messages. The modified settings remain effective until power-down or reset. If these settings have been stored in battery-backup RAM, the modified configuration will be retained as long as the backup battery supply is not interrupted.

With the NEO-M8, configuration settings modified with UBX configuration messages can be saved permanently. In this case, the modified settings remain effective even after power-down and do not require backup battery supply.

3.1 Interface selection (D_SEL)

At startup, pin 2 (**D_SEL**) determines which data interfaces are used for communication. If **D_SEL** is set high or left open, UART and DDC become available. If **D_SEL** is set low, that is, connected to ground, the NEO-M8 module series can communicate to a host via SPI.

Pin #	D_SEL="1" (left open)	D_SEL ="0" (connected to GND)
20	UART TX	SPI MISO
21	UART RX	SPI MOSI
19	DDC SCL	SPI CLK
18	DDC SDA	SPI CS_N

Table 8: Data interface selection by D_SEL

322

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4 Electrical specification

The limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to these limits for extended periods may affect device reliability.

Where application information is given, it is advisory only and does not form part of the specification. For more information, see the NEO-8Q / NEO-M8 Hardware integration manual [1].

4.1 Absolute maximum rating

Parameter	Symbol	Condition	Min	Max	Units
Power supply voltage	VCC		–0.5	3.6	V
Backup battery voltage	V_BCKP		–0.5	3.6	V
USB supply voltage	VDD_USB		–0.5	3.6	V
Input pin voltage	V_{IN}	If VCC < 3.1V If VCC > 3.1V	–0.5 -0.5	VCC+0.5 3.6	V V
	V_{IN_USB}		–0.5	VDD_USB	V
DC current through any digital I/O pin (except supplies)	I_{PIN}			10	mA
VCC_RF output current	ICC_RF			100	mA
Input power at RF_IN	P_{RFIN}	source impedance = 50 Ω, continuous wave		15	dBm
Storage temperature	T_{STG}	NEO-M8N/M8Q/M8J NEO-M8M	–40 –40	85 105	°C

Table 9: Absolute maximum ratings

Stressing the device beyond the "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage. These are stress ratings only. The product is not protected against overvoltage or reversed voltages. If necessary, voltage spikes exceeding the power supply voltage specification, given in Table 9, must be limited to values within the specified boundaries by using appropriate protection diodes.

4.2 Operating conditions

All specifications are at an ambient temperature of +25 °C. Extreme operating temperatures can significantly impact specification values. Applications operating near the temperature limits should be tested to ensure the specification.

Parameter	Symbol	Min	Typical	Max	Units	Condition
Power supply voltage **NEO-M8N/Q/J**	VCC	2.7	3.0	3.6	V	
Power supply voltage **NEO-M8M**	VCC	1.65	1.8, 3.0	3.6	V	
Supply voltage USB	VDDUSB	3.0	3.3	3.6	V	
Backup battery voltage	V_BCKP	1.4		3.6	V	
Backup battery current	I_BCKP		15		µA	V_BCKP = 1.8 V, VCC = 0 V
SW backup current	I_SWBCKP		30		µA	VCC = 3 V
Input pin voltage range	V_{IN}	0		VCC	V	
Digital IO pin low level input voltage	V_{IL}	0		0.2*VCC	V	
Digital IO pin high level input voltage	V_{IH}	0.7*VCC		VCC	V	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis
323

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Parameter	Symbol	Min	Typical	Max	Units	Condition
Digital IO pin low level output voltage	V_{OL}			0.4	V	I_{OL} = 4mA
Digital IO pin high level output voltage	V_{OH}	VCC–0.4			V	I_{OH} = 4mA
Pull-up resistor for RESET_N (internal)	R_{PU}		11		kΩ	
USB_DM, USB_DP	$V_{IN}U$	Compatible with USB with 27 Ω series resistance				
VCC_RF voltage	VCC_RF		VCC–0.1		V	
VCC_RF output current	ICC_RF			50	mA	
Receiver chain noise figure [12]	NF_{TOT}		2.0		dB	
Operating temperature	T_{OPR}	–40		85	°C	

Table 10: Operating conditions

Operation beyond the specified operating conditions can affect device reliability.

4.3 Indicative current requirements

Table 11 lists examples of the total system supply current for a possible application.

Values in Table 11 are provided for customer information only as an example of typical power requirements. Values are characterized on samples, actual power requirements can vary depending on FW version used, external circuitry, number of SVs tracked, signal strength, type of start as well as time, duration and conditions of test.

Parameter	Symbol	Module	Typical GPS & GLONASS	Typical GPS	Max	Units	Condition
Max. supply current [13]	I_{CCP}	All			67	mA	
Average supply current [14, 15]	I_{CC} Acquisition [16]	NEO-M8N	32	25		mA	Estimated at 3 V
		NEO-M8M	24	19		mA	
		NEO-M8Q	30	24		mA	
		NEO-M8J	31	24		mA	
	I_{CC} Tracking (continuous mode)	NEO-M8N	30	23		mA	Estimated at 3 V
		NEO-M8M	21	17		mA	
		NEO-M8Q	28	23		mA	
		NEO-M8J	29	23		mA	
	I_{CC} Tracking (Power Save mode / 1 Hz)	NEO-M8N	13	12		mA	Estimated at 3 V
		NEO-M8M	5.3	4.8		mA	
		NEO-M8Q	11.5	11.1		mA	
		NEO-M8J	12	11		mA	

Table 11: Indicative power requirements at 3.0 V

For more information about power requirements, see the NEO-8Q / NEO-M8 Hardware integration manual [1].

For more information on how to noticeably reduce current consumption, see the Power Management Application Note [5].

[12] Only valid for the GPS band.
[13] Use this figure to dimension maximum current capability of power supply. Measure this parameter with 1 Hz bandwidth.
[14] Use this figure to determine required battery capacity.
[15] Simulated GNSS constellation using power levels of -130 dBm. VCC = 3.0 V.
[16] Average current from start-up until the first fix.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis
324

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.4 SPI timing diagrams

To avoid incorrect operation of the SPI, the user needs to comply with certain timing conditions. Consider the following signals for timing constraints:

Symbol	Description
SPI CS_N (SS_N)	Slave select signal
SPI CLK (SCK)	Slave clock signal

Table 12: Symbol description

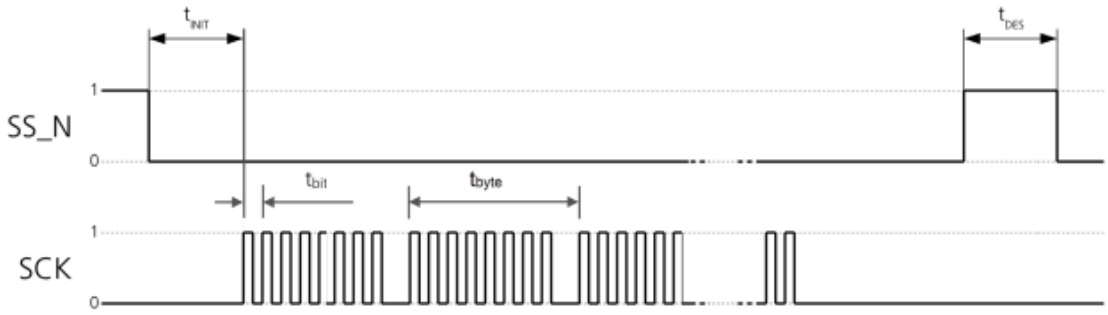


Figure 3: SPI timing diagram

4.4.1 Timing recommendations

The recommendations below are based on a firmware running from flash memory.

Parameter	Description	Recommendation
t_{INIT}	Minimum initialization time	10 us
t_{DES}	Deselect time	1 ms
t_{bit}	Minimum bit time	180 ns (5.5 MHz maximum bit frequency)
t_{byte}	Minimum byte period	8 µs (125 kHz maximum byte frequency)

Table 13: SPI timing recommendations

☞ The values in Table 13 result from the requirement of an error-free transmission. By allowing just a few errors and disabling the glitch filter, the bit rate can be increased considerably.

4.5 DDC timing diagrams

The DDC interface is I2C Fast Mode compliant. For timing parameters, consult the I2C standard.

☞ The maximum bit rate is 400 kbit/s. The interface stretches the clock when slowed down when serving interrupts, so real bit rates may be slightly lower.

325
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

5 Mechanical specifications

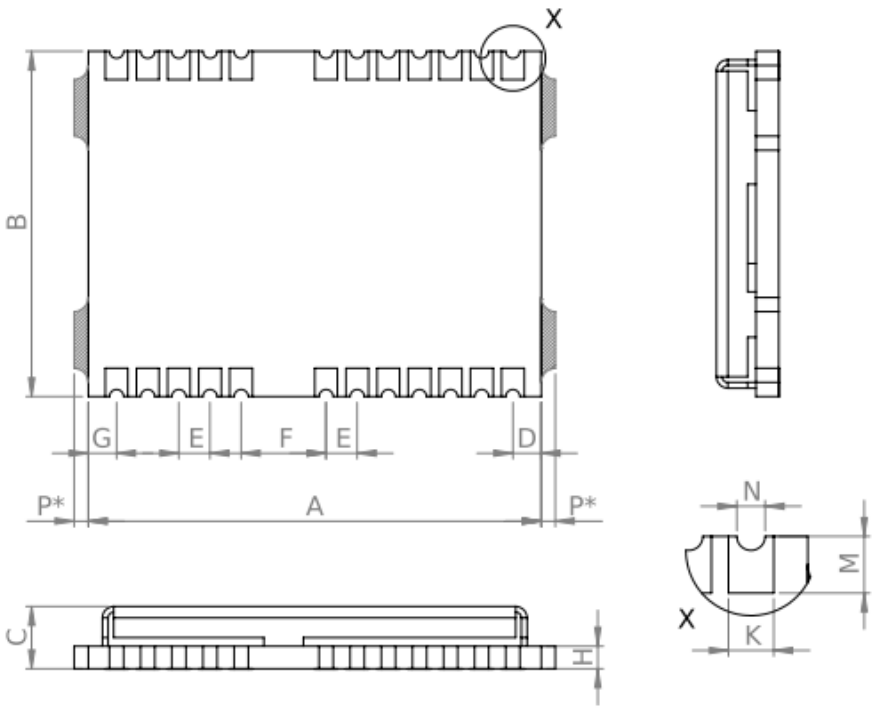


Figure 4: NEO-M8 mechanical drawing

Symbol	Min [mm]	Typ. [mm]	Max [mm]	
A	15.9	16.0	16.1	
B	12.1	12.2	12.3	
C	2.2	2.4	2.6	
D	0.9	1.0	1.1	
E	1.0	1.1	1.2	
F	2.9	3.0	3.1	
G	0.9	1.0	1.1	
H	-	0.82	-	
K	0.7	0.8	0.9	
M	0.8	0.9	1.0	
N	0.4	0.5	0.6	
P*	0.0	-	0.5	The de-paneling residual tabs may be on either side (not both)
Weight		1.6 g		

Table 14 NEO-M8 mechanical dimensions

- The mechanical picture of the de-paneling residual tabs (P*) is an approximate representation. The shape and position of the residual tab may vary.
- When designing the component keep-out area, note that the de-paneling residual tabs can be on either side of the module (not both).
- For information about the paste mask and footprint, see the NEO-8Q / NEO-M8 Hardware integration manual [1].

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis
326

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

6 Reliability tests and approvals

6.1 Reliability tests

The NEO-M8N, NEO-M8J, NEO-M8Q, and NEO-M8M modules are based on AEC-Q100 qualified GNSS chips.

Tests for product family qualifications are according to ISO 16750 "Road vehicles – environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment", and appropriate standards.

6.2 Approvals

The NEO-M8N, NEO-M8J, NEO-M8Q, and NEO-M8M modules comply with the Directives 2011/65/EU and 2015/863/EU of the European Parliament and the Council on the Restriction of Use of certain Hazardous Substances (RoHS).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

7 Product handling and soldering

7.1 Packaging

To enable efficient production, production lot set-up and tear-down, the NEO-M8 GNSS modules are delivered as hermetically sealed, reeled tapes. For more information, see the u-blox Packaging Information Reference [3].

7.1.1 Reels

The NEO-M8 GNSS modules are deliverable in quantities of 250 pcs on a reel. The NEO-M8 modules are shipped on reel type B, as specified in the u-blox Packaging Information Reference [3].

7.1.2 Tapes

The dimensions and orientations of the tapes for NEO-M8 modules are specified in Figure 5.

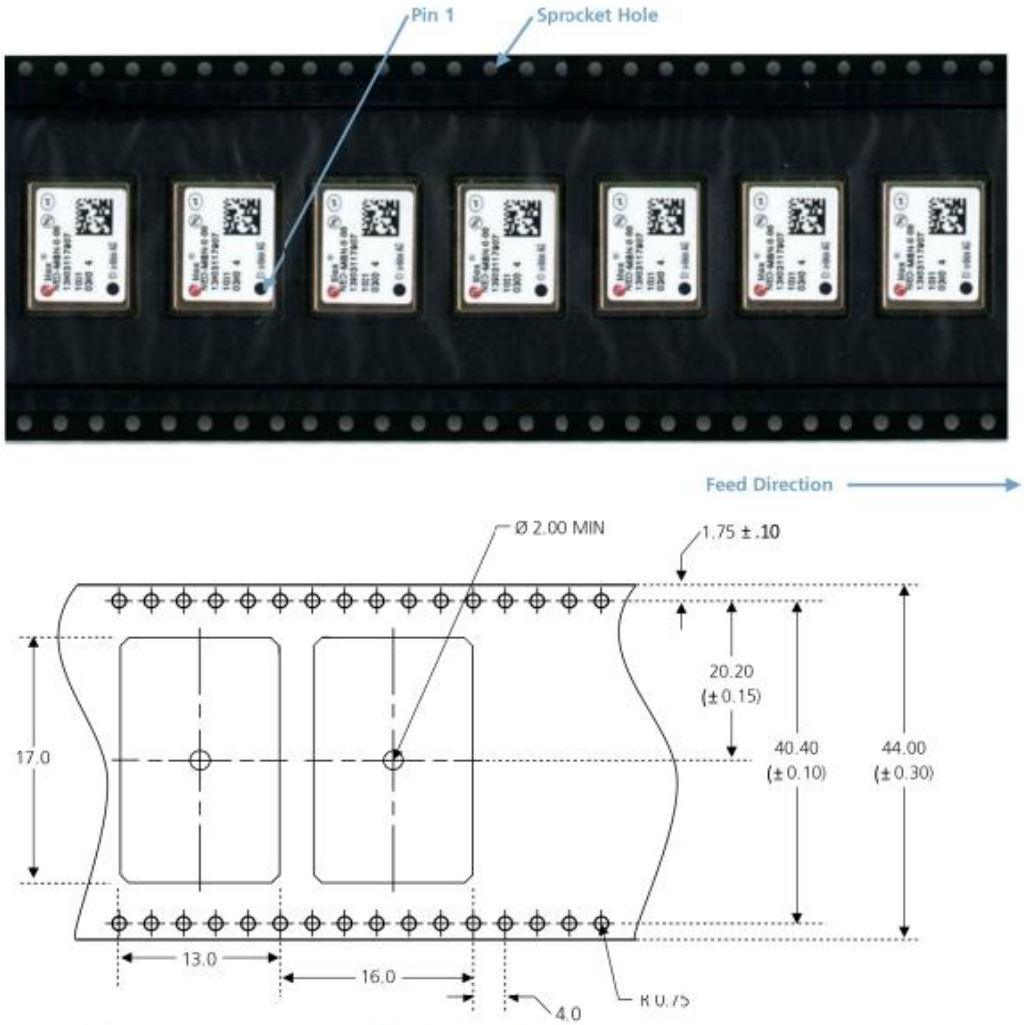


Figure 5: Dimensions and orientation for NEO-M8 modules on tape

328
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

7.2 Shipment, storage and handling

For important information regarding shipment, storage and handling, see the u-blox Packaging Information Reference [3].

7.2.1 Moisture sensitivity levels

The moisture sensitivity level (MSL) relates to the packaging and handling precautions required. The NEO-M8 modules are rated at MSL level 4.

For MSL standard see IPC/JEDEC J-STD-020, which can be downloaded from www.jedec.org.

For more information regarding MSL, see the u-blox Packaging Information Reference [3].

7.2.2 Reflow soldering

Reflow profiles are to be selected according to u-blox recommendations (see the NEO-8Q / NEO-M8 Hardware Integration Manual [1]).

7.2.3 ESD handling precautions

NEO-M8 modules are electrostatic sensitive devices (ESD). Observe precautions for handling! Failure to observe these precautions can result in severe damage to the GNSS receiver!

GNSS receivers are electrostatic sensitive devices (ESD) and require special precautions when handling. Exercise particular care when handling patch antennas, due to the risk of electrostatic charges. In addition to standard ESD safety practices, take the following measures into account whenever handling the receiver:

- Unless there is a galvanic coupling between the local GND (i.e. the work desk) and the PCB GND, the first point of contact when handling the PCB must always be between the local GND and PCB GND.
- Before mounting an antenna patch, connect ground of the device.
- When handling the RF pin, do not come into contact with any charged capacitors and be careful when contacting materials that can develop charges (e.g. patch antenna ~10 pF, coax cable ~50-80 pF/m, soldering iron).
- To prevent electrostatic discharge through the RF input, do not touch any exposed antenna area. If there is any risk that such exposed antenna area is touched in a non-ESD protected work area, implement proper ESD protection measures in the design.
- When soldering RF connectors and patch antennas to the receiver's RF pin, make sure to use an ESD safe soldering iron (tip).









329
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

8 Default messages

Interface	Settings
UART output	9600 baud, 8 bits, no parity bit, 1 stop bit. Configured to transmit both NMEA and UBX protocols, but only the following NMEA (and no UBX) messages have been activated at start-up: **GGA, GLL, GSA, GSV, RMC, VTG, TXT**
USB output	Configured to transmit both NMEA and UBX protocols, but only the following NMEA (and no UBX) messages have been activated at start-up: **GGA, GLL, GSA, GSV, RMC, VTG, TXT** USB power mode: bus-powered
UART input	9600 baud, 8 bits, no parity bit, 1 stop bit, autobauding disabled. Automatically accepts following protocols without need of explicit configuration: UBX, NMEA, RTCM The GNSS receiver supports interleaved UBX and NMEA messages.
USB input	Automatically accepts following protocols without need of explicit configuration: UBX, NMEA The GPS receiver supports interleaved UBX and NMEA messages. USB power mode: bus-powered
DDC	Fully compatible with the I2C industry standard, available for communication with an external host CPU or u-blox cellular modules, operated in slave mode only. Default messages activated. NMEA and UBX are enabled as input messages, only NMEA as output messages. Maximum bit rate 400 kbit/s.
SPI	Allow communication to a host CPU, operated in slave mode only. Default messages activated. SPI is not available in the default configuration.
TIMEPULSE (1 Hz Nav)	1 pulse per second, synchronized at rising edge, pulse length 100 ms

Table 15: Default messages

Refer to the u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description including Protocol Specification [2] for information about other settings.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

330

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

9 Labeling and ordering information

9.1 Product labeling

The labeling of u-blox NEO-M8 GNSS modules includes important product information. The location of the NEO-M8 product type number is shown in Figure 6.

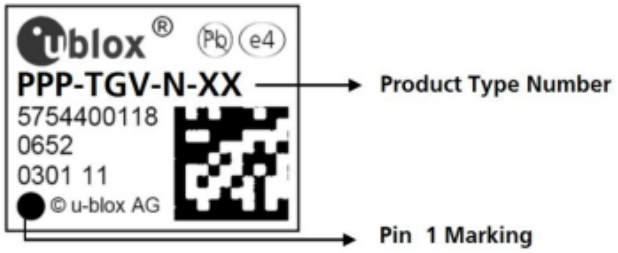


Figure 6: Location of product type number on u-blox NEO-M8 module label

9.2 Explanation of codes

Three different product code formats are used. The **Product name** is used in documentation such as this data sheet and identifies all u-blox M8 products, independent of packaging and quality grade. The **Ordering code** includes options and quality, while the **Type number** includes the hardware and firmware versions. Table 16 shows the structure of these three different formats.

Format	Structure
Product name	PPP-TGV
Ordering code	PPP-TGV-N
Type number	PPP-TGV-N-XX

Table 16: Product code formats

The parts of the product code are explained in Table 17.

Code	Meaning	Example
PPP	Product family	NEO
TG	Platform	M8 = u-blox M8
V	Variant	Function set (A-Z), T = Timing, R = DR, etc.
N	Option / Quality grade	Describes standardized functional element or quality grade 0 = Default variant, A = Automotive
XX	Product detail	Describes product details or options such as hard- and software revision, cable length, etc.

Table 17: Part identification code

9.3 Ordering codes

Ordering code	Product
NEO-M8J-0	u-blox M8 Concurrent GNSS LCC Module, crystal, flash, SAW, LNA, 12.2x16 mm, 250 pcs/reel
NEO-M8M-0	u-blox M8 Concurrent GNSS LCC Module, crystal, ROM, 12.2x16 mm, 250 pcs/reel
NEO-M8N-0	u-blox M8 Concurrent GNSS LCC Module, TCXO, flash, SAW, LNA, 12.2x16 mm, 250 pcs/reel
NEO-M8Q-0	u-blox M8 Concurrent GNSS LCC Module, TCXO, ROM, SAW, LNA, 12.2x16 mm, 250 pcs/reel

Table 18: Product ordering codes for professional grade modules

Product changes affecting form, fit or function are documented by u-blox. For a list of Product Change Notifications (PCNs), see our website.

331

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 5: Datasheet Batería Dupu Lipo:

DUPU Lithium Polymer Battery

Technical Datasheet

Brand & Design

DUPU is a trusted brand specializing in advanced lithium battery solutions. This model is part of their high-performance nanometer lithium line, ideal for demanding electronic and hobbyist applications. The battery features a robust and compact design optimized for balance and efficient power delivery. The use of quality XT60 discharge connectors and a balanced charging interface ensures secure, high-current operations. Its construction prioritizes reusability, thermal safety, and energy density.

General Specifications

Brand	DUPU
Battery Cell Composition	Lithium Polymer (Nanometer lithium cells)
Voltage	11.1 Volts
Capacity	3300 mAh
Rechargeability	Rechargeable
Battery Life	Approx. 300 charge/discharge cycles
Discharge Connector	XT60
Charging Interface	Balancing head
Safety Feature	Silica gel line insulation
Dimensions	137 × 44 × 21 mm
Weight	270 g
Unit Count	1.0 (Single Pack)

Application Notes

This battery is suitable for UAVs, RC vehicles, robotics, and embedded systems that require compact, high-discharge lithium batteries. Always charge using a compatible balance charger and monitor temperature during use for safety and longevity.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 6: Código de Raspberry Pi para prototipo portátil desarrollado en Python:

```python
import serial
import time
import string
import pynmea2
from csv import DictWriter

import datetime
from pylab import *
from rtlsdr import *
from matplotlib.pyplot import *
import math
import numpy as np
import os

freq_mhz = float(input("Ingresa la frecuencia en MHz (por ejemplo, 430): "))
gain = float(input("Ingresa la ganancia (por ejemplo, 40.2): "))

np.set_printoptions(threshold=np.inf)
sdr = RtlSdr()

sdr.sample_rate = 2.4e6
sdr.center_freq = freq_mhz*1e6
freqMhz=sdr.center_freq/1e6
sdr.gain = gain
sdr.set_bandwidth(2.5e3)
cant_muestras=2*1024
muestras=10
db_samples=[0]*muestras
promedio=0
positionlock=0
entrada=0
bucle=True
createNewCsv = False
csvContinuidad = 5

def frange(start, stop, step):
    """Genera un rango con pasos flotantes."""
    while start < stop:
        yield start
        start += step

while bucle==True:
    entrada=input("Ingrese una opcion: Bucle(0) | Medicion individual (1) | Medicion en un mismo radio  (2) | Salir (3): ")

    if entrada=="0":
        while True:
            positionlock=0
            while positionlock==0:
                port="/dev/ttyAMA0"
                ser=serial.Serial(port, baudrate=9600, timeout=0.1)
                dataout = pynmea2.NMEAStreamReader()
                newdata=ser.readline()
                snewdata=str(newdata, 'utf-8',errors="ignore")

                if "GNGGA" in snewdata:
                    print('ok')
                    newmsg=pynmea2.parse(snewdata)
                    lat=newmsg.latitude                #DECLARACION LATITUD
                    lng=newmsg.longitude               #DECLARACION LONGITUD
                    altitud=newmsg.altitude
                    gps = "Latitude=" + str(lat) + " and Longitude=" + str(lng)+", Altitud:"+str(altitud) +" FREQ(HZ):"+str(sdr.center_freq)
                    print(gps)
                    positionlock=1
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
64
65              for x in range (0,muestras):
66                  samples = sdr.read_samples(cant_muestras)
67                  potencia = np.mean(np.abs(samples)**2)
68                  pot_db = 10*np.log10(potencia)
69                  db_samples[x]=pot_db                    #MUESTRAS OBTENIDAS
70
71          ##!###### ELIMINAR OUTLIERS ##########
72
73              d = np.abs(db_samples-np.median(db_samples))
74              mdev=np.median(d)
75              s=d/(mdev if mdev else 1.)
76              db_samples_not_outliers=[]
77
78              for i in range (len(db_samples)):
79                  print(i)
80                  if s[i] <2:
81                      db_samples_not_outliers.append(db_samples[i])   #MUESTRAS SIN OUTLIERS
82                  else:
83                      continue
84
85          ##!############ PROMEDIO ##############
86              promedio=0
87
88              for i in range (len(db_samples_not_outliers)):
89                  promedio=promedio+db_samples_not_outliers[i]
90
91              promedio=promedio/len(db_samples_not_outliers)          #Promedio de mediciones SIN
    OUTLIERS
92
93              ##!####CSV Escritura################
94              if csvContinuidad != 0:
95                  fecha_hora_actual = datetime.datetime.now().strftime('%d-%m-%Y_%H_%M_%S')
96                  file_path = f'./measures/F_{freqMhz}_DATE_{fecha_hora_actual}_0.csv'
97
98              elif csvContinuidad == 0:
99                  file_path = file_path
100
101             csvContinuidad=0
102
103             headersCSV = ['Potencia','Latitud','Longitud','Altura','Frequency']       #Lista de
    Columnas
104             dict=
    {'Potencia':promedio,'Latitud':lat,'Longitud':lng,'Altura':altitud,'Frequency':freqMhz}  #Data
105             mode = 'a' if os.path.exists(file_path) else 'w' # Modo de apertura
106
107             with open(file_path, mode, newline='') as f_object:
108                 if os.path.getsize(file_path) == 0:
109                     dictwriter_object = DictWriter(f_object, fieldnames=headersCSV)
110                     dictwriter_object.writeheader()  # Escribir encabezados si está vacío
111                 dictwriter_object = DictWriter(f_object, fieldnames=headersCSV)
112                 dictwriter_object.writerow(dict)
113                 f_object.close()
114         sdr.close()
115
116     if entrada=="1":
117         print("Se realizara medición individual")
118         positionlock = 0  # 🔷 Reiniciar cada vez antes de medir
119
120         while positionlock==0:
121             port="/dev/ttyAMA0"
122             ser=serial.Serial(port, baudrate=9600, timeout=0.1)
123             dataout = pynmea2.NMEAStreamReader()
124             newdata=ser.readline()
125             snewdata=str(newdata, 'utf-8',errors="ignore")
126             # print(snewdata)
127
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
127
128             if "GNGGA" in snewdata:
129                 print('gps data ok')
130                 newmsg=pynmea2.parse(snewdata)
131                 lat=newmsg.latitude         #DECLARACION LATITUD
132                 lng=newmsg.longitude                #DECLARACION LONGITUD
133                 altitud=newmsg.altitude
134                 gps = "Latitude=" + str(lat) + " and Longitude=" + str(lng)+", Altitud:"
    +str(altitud) +" FREQ(HZ):"+str(sdr.center_freq)
135                 positionlock=1
136
137         for x in range (0,muestras):
138             samples = sdr.read_samples(cant_muestras)   #RAW SAMPLES
139             potencia = np.mean(np.abs(samples)**2)
140             pot_db = 10*np.log10(potencia)
141             db_samples[x]=pot_db                        #MUESTRAS OBTENIDAS
142         print(db_samples)
143
144     ##!###### ELIMINAR OUTLIERS ###########
145
146         d = np.abs(db_samples-np.median(db_samples))
147         mdev=np.median(d)
148         s=d/(mdev if mdev else 1.)
149         db_samples_not_outliers=[]
150         for i in range (len(db_samples)):
151             if s[i] <2:
152                 db_samples_not_outliers.append(db_samples[i])
153             else:
154                     continue
155
156     ##!############ PROMEDIO ##############
157
158         promedio=0
159         for i in range (len(db_samples_not_outliers)):
160             promedio=promedio+db_samples_not_outliers[i]
161         promedio=promedio/len(db_samples_not_outliers)
162
163         print('Promedio de mediciones SIN OUTLIERS:', promedio, ' LAT:',lat,',LONG: ',lng)
164
165
166     ##!####CSV Escritura################
167         if csvContinuidad != 1:
168             fecha_hora_actual = datetime.datetime.now().strftime('%d-%m-%Y_%H_%M_%S')
169             file_path = f'./measures/F_{freqMhz}_DATE_{fecha_hora_actual}_1.csv'
170
171         elif csvContinuidad == 1:
172             file_path = file_path
173
174         csvContinuidad=1
175
176         headersCSV = ['Potencia','Latitud','Longitud','Altura','Frequency']      #Lista de Columnas
177
178         dict={'Potencia':promedio,'Latitud':lat,'Longitud':lng,'Altura':altitud,'Frequency':freqMhz}
     #Data asignada al diccionario
179
180         mode = 'a' if os.path.exists(file_path) else 'w' # Modo de apertura
181
182         with open(file_path, mode, newline='') as f_object:   #modo a de apendice
183             if os.path.getsize(file_path) == 0:
184                 dictwriter_object = DictWriter(f_object, fieldnames=headersCSV)
185                 dictwriter_object.writeheader()  # Escribir encabezados si está vacío
186             dictwriter_object = DictWriter(f_object, fieldnames=headersCSV)
187             dictwriter_object.writerow(dict)
188             f_object.close()
189
190
191
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
    if entrada == '2':
        grados = float(input("Ingrese cada cuantos grados (°) se hará la medición: "))
        array_grados = [round(i, 2) for i in frange(0, 360, grados)]
        distStatic = input("Ingrese la distancia de la medición: ")
        fecha_hora_actual = datetime.datetime.now().strftime('%d-%m-%Y_%H_%M_%S')
        file_path = f'./measures/F_{freqMhz}_DATE_{fecha_hora_actual}_1.csv'
        for i, valor in enumerate(array_grados):  # 'i' será el índice, 'valor' será el valor del ángulo

            # print(f"Muestra {i + 1}: {valor}")
            input(f" Toma de muestra {i + 1} en {valor} °, presione una tecla para confirmar")
            for x in range (0,muestras):
                samples = sdr.read_samples(cant_muestras)
                potencia = np.mean(np.abs(samples)**2)
                pot_db = 10*np.log10(potencia)
                print('POTENCIA PROM DE MUESTRAS: ',pot_db)
                db_samples[x]=pot_db
            print(db_samples)

        ##!###### ELIMINAR OUTLIERS ###########
            d = np.abs(db_samples-np.median(db_samples))
            mdev=np.median(d)
            s=d/(mdev if mdev else 1.)
            db_samples_not_outliers=[]
            for i in range (len(db_samples)):
                if s[i] <2:
                    db_samples_not_outliers.append(db_samples[i])
                else:
                    continue

        ##!############ PROMEDIO ##############
            for i in range (len(db_samples)):
                promedio=promedio+db_samples[i]
            promedio=promedio/muestras
            promedio=0
            for i in range (len(db_samples_not_outliers)):
                promedio=promedio+db_samples_not_outliers[i]
            promedio=promedio/len(db_samples_not_outliers)
            print('Promedio de mediciones SIN OUTLIERS:', promedio)

        ##!####CSV Escritura###############

            csvContinuidad=2
            headersCSV = ['Potencia','Grado','Distancia','Frequency']      #Lista de Columnas
            dict={'Potencia':promedio,'Grado':valor ,'Distancia':distStatic,'Frequency':freqMhz} #Data asignada al diccionario
            mode = 'a' if os.path.exists(file_path) else 'w' # Modo de apertura
            with open(file_path, mode, newline='') as f_object:   #modo a de apendice
                dictwriter_object = DictWriter(f_object, fieldnames=headersCSV)
                if os.path.getsize(file_path) == 0:
                    dictwriter_object.writeheader()  # Escribir encabezados si está vacío

                dictwriter_object.writerow(dict)

    if  entrada=='3':   #Fin del programa
        bucle=0
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 7: Código de Interfaz desarrollada en React:

```jsx
import './Home.css'
import { useEffect, useState, useRef } from 'react'
import React from 'react'
import Plot from 'react-plotly.js'
import ErrorModal from '../../components/errorModal/ErrorModal'
import cubicSpline from 'cubic-spline'
import * as XLSX from 'xlsx'
import { saveAs } from 'file-saver'
import jsPDF from 'jspdf'
import 'jspdf-autotable'
import html2canvas from 'html2canvas'
import autoTable from 'jspdf-autotable'
import excelIcon from '../../assets/excelIcon.png'
import pdfIcon from '../../assets/pdfIcon.png'
import Map from '../../components/map/Map'

export default function Home() {
  const [dataCSV, setDataCSV] = useState()
  const [headers, setHeaders] = useState(null)
  const [theta, setTheta] = useState([])
  const [dbOriginal, setDbOriginal] = useState([])
  const [potTxEstimated, setPotTxEstimated] = useState([])
  const [potDbScal, setPotDbScal] = useState([])
  const [dbPrediction, setDbPrediction] = useState([])
  const [distances, setDistances] = useState([])
  const [maxPotForScale, setMaxPotForScale] = useState(20)
  const [minPotForScale, setMinPotForScale] = useState(-50)
  const [maxDistance, setMaxDistance] = useState(0)
  const [minDistance, setMinDistance] = useState(0)
  const [okumuraCompatible, setOkumuraCompatible] = useState(false)
  const [okumuraCompatibleMessageShow, setOkumuraCompatibleMessageShow] =
    useState(false)
  const [distanceToScal, setDistanceToScal] = useState(0)
  const [selectedModel, setSelectedModel] = useState(0)
  const [staticCsv, setStaticCsv] = useState(false)
  const [maxPot, setMaxPot] = useState(null) //Valor max de pot
  const [maxTheta, setMaxTheta] = useState(null) //Theta con pot max de pot
  const [minPot, setMinPot] = useState(null) //Valor mínimo de pot.
  const [minTheta, setMinTheta] = useState(null) //Theta con pot mínimo de pot
  const [latOrigen, setLatOrigen] = useState(0)
  const [lonOrigen, setLonOrigen] = useState(0)
  const [latOrigenMap, setLatOrigenMap] = useState(0) // para mapa
  const [lonOrigenMap, setLonOrigenMap] = useState(0) // para mapa
  const [latCsv, setLatCsv] = useState([]) // para mapa
  const [lonCsv, setLonCsv] = useState([]) // para mapa
  const [validCoord, setValidCoord] = useState(false)
  const [validCoordToogle, setValidCoordToogle] = useState(false)
  const [doInterpolAfterCoordToogle, setDoInterpolAfterCoordToogle] =
    useState(false)
  const [touched, setTouched] = useState(false)
  const [coordState, setCoordState] = useState({
    validCoord: false,
    validCoordToogle: false,
  })

  const [thetaAfterSpline, setThetaAfterSpline] = useState([])
  const [potDbScalAfterSpline, setPotDbScalAfterSpline] = useState([])
  const [distancesAfterSpline, setDistancesAfterSpline] = useState([])
  const [dbOriginalAfterSpline, setDbOriginalAfterSpline] = useState([])
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
  const [potTxEstimatedAfterSpline, setPotTxEstimatedAfterSpline] = useState([])
  const [potPredictedAfterSpline, setPotPredictedAfterSpline] = useState([])
  const [maxPotAfterSpline, setMaxPotAfterSpline] = useState(null) //Valor max de pot.spline
  const [maxThetaAfterSpline, setMaxThetaAfterSpline] = useState(null) //Theta con pot mínimo de
pot.spline
  const [minPotAfterSpline, setMinPotAfterSpline] = useState(null) //Valor mínimo de pot.spline
  const [minThetaAfterSpline, setMinThetaAfterSpline] = useState(null) //Theta con pot mínimo de
pot.spline

  const [interEnabled, setInterEnabled] = useState(false)
  const [interNumber, setInterNumber] = useState(null)
  const [interReady, setInterReady] = useState(false)

  const [okumuraSettingsVisibility, setOkumuraSettingsVisibility] =
    useState(false) //Visibilidad de ajustes para Modelo Okumura
  const [okumuraValidInputs, setOkumuraValidInputs] = useState({
    txHeight: true,
    rxHeight: true,
    citySize: true,
    areaType: true,
  })
  const [okumuraValueInputs, setOkumuraValueInputs] = useState({
    txHeight: undefined,
    rxHeight: undefined,
    citySize: undefined,
    areaType: undefined,
  })
  const [okumuraErrorFlag, SetokumuraErrorFlag] = useState(false)
  const [okumuraReady, SetOkumuraReady] = useState(false)

  const [selectedModelPrediction, setSelectedModelPrediction] = useState(0)
  const [
    okumuraSettingsPredictionVisibility,
    setOkumuraSettingsPredictionVisibility,
  ] = useState(false)

  const [okumuraValidInputsPrediction, setOkumuraValidInputsPrediction] =
    useState({ txHeight: true, rxHeight: true, citySize: true, areaType: true })
  const [okumuraValueInputsPrediction, setOkumuraValueInputsPrediction] =
    useState({
      txHeight: undefined,
      rxHeight: undefined,
      citySize: undefined,
      areaType: undefined,
    })
  const [okumuraErrorFlagPrediction, SetokumuraErrorFlagPrediction] =
    useState(false)
  const [okumuraReadyPrediction, SetOkumuraReadyPrediction] = useState(false)
  const [predictionDone, setPredictionDone] = useState(false)

  const [minDistancePrediction, setMinDistancePrediction] = useState(0)
  const [maxDistancePrediction, setMaxDistancePrediction] = useState(10000)

  const c = 2.99792458e8
  const [frequency, setFrequency] = useState(undefined)
  const [data, setData] = useState([
    {
      type: 'scatterpolar',
      r: [],
      theta: [],
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
      fill: 'toself',
      line: {
        color: '#FF5733',
        width: 3,
      },
    },
  ])

  const layout = {
    polar: {
      radialaxis: {
        visible: true,
        range: [minPotForScale, maxPotForScale + 0.5], // Rango inicial del eje radial
        tickfont: { color: 'white' },
        gridcolor: 'white',
        linecolor: 'white',
      },
      angularaxis: {
        visible: true,
        gridcolor: 'white',
        tickfont: { color: 'white' },
        title: {
          text: 'Angular Axis',
          font: { color: 'white' },
        },
      },
      bgcolor: 'rgba(30,30,30,0.9)', // Fondo bajo el gráfico
    },
    showlegend: false,
    autosize: true,
    paper_bgcolor: 'rgba(30,30,30,0.9)', // Fondo general del gráfico
    title: {
      text: 'Patrón de radiación (Data original)',
      font: { color: 'white' },
    },
    hovermode: 'closest',
    hoverlabel: {
      bgcolor: '#444',
      font: {
        color: 'white',
        size: 12,
      },
    },
    dragmode: 'zoom', // Asegúrate de que el dragmode esté activado
  }
  const layoutInterpol = {
    polar: {
      radialaxis: {
        visible: true,
        range: [minPotForScale, maxPotForScale + 2.0], // Rango inicial del eje radial
        tickfont: { color: 'white' },
        gridcolor: 'white',
        linecolor: 'white',
      },
      angularaxis: {
        visible: true,
        gridcolor: 'white',
        tickfont: { color: 'white' },
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
        title: {
          text: 'Angular Axis',
          font: { color: 'white' },
        },
      },
      bgcolor: 'rgba(30,30,30,0.9)', // Fondo bajo el gráfico
    },
    showlegend: false,
    autosize: true,
    paper_bgcolor: 'rgba(30,30,30,0.9)', // Fondo general del gráfico
    title: {
      text: 'Patrón de radiación (Data interpolada)',
      font: { color: 'white' },
    },
    hovermode: 'closest',
    hoverlabel: {
      bgcolor: '#444',
      font: {
        color: 'white',
        size: 12,
      },
    },
    dragmode: 'zoom', // Asegúrate de que el dragmode esté activado
  }

  const [dataSpline, setDataSpline] = useState([
    {
      type: 'scatterpolar',
      r: [],
      theta: [],
      fill: 'toself',
    },
  ])
  //? ////////////// VALIDAR COORDENADAS DE ORIGEN ////////////////////////
  const handleLatChange = async (e) => {
    setLatOrigen(Number(e.target.value))
  }

  const handleLonChange = async (e) => {
    setLonOrigen(Number(e.target.value))
  }
  const verificarCoord = (e) => {
    setTouched(true) // Se modificó por primera vez coordenadas
    if (
      latOrigen >= -90 &&
      latOrigen <= 90 &&
      lonOrigen >= -90 &&
      lonOrigen <= 90
    ) {
      setCoordState((prevState) => ({
        ...prevState,
        validCoord: true, //Coordenadas válidas
        validCoordToogle: !prevState.validCoordToogle, //Nuevas coordenadas
      }))
      console.log('Validas coord')
      setLatOrigenMap(latOrigen)
      setLonOrigenMap(lonOrigen)
    } else {
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
      setCoordState((prevState) => ({
        ...prevState,
        validCoord: false,
        validCoordToogle: !prevState.validCoordToogle,
      }))
      console.log('Invalidas coordenadas')
    }
  }

  //? ////////////// CARGA DE ARCHIVO ////////////////////////
  const handleFileChange = async (e) => {
    if (e.target.files) {
      try {
        const file = e.target.files[0]
        const fileUrl = URL.createObjectURL(file) // 1. create url from the file
        const response = await fetch(fileUrl) // 2. use fetch API to read the file
        const text = await response.text() // 3. get the text from the response
        const lines = text.split('\n') // 4. split the text by newline
        setDataCSV(lines.map((line) => line.split(','))) // Array de arrays
      } catch (error) {
        console.log(error)
      }
    }
  }
  const handleSliderChange = (e) => {
    //!Slider Prediction Value
    let newDistanceValue = parseFloat(e.target.value)
    if (newDistanceValue >= minDistancePrediction) {
      setDistanceToScal(newDistanceValue)
      console.log(
        'valor valido',
        { newDistanceValue },
        { minDistancePrediction }
      )
    } else {
      setDistanceToScal(minDistance)
    }
  }
  const handleTextBoxChange = (e) => {
    //!Slider Prediction Value
    let newDistanceValue = parseFloat(e.target.value)
    if (
      newDistanceValue >= minDistancePrediction &&
      newDistanceValue <= maxDistancePrediction
    ) {
      setDistanceToScal(newDistanceValue)
    }
  }
  //! ////////////////////// INTERPOLATION ////////////////////////////////////////

  const handleCheckboxChange = (event) => {
    setInterEnabled(event.target.checked)
  }

  const handleInputInterpolChange = (event) => {
    setInterNumber(event.target.value)
  }
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
291  const handleApplyInterpol = (event) => {
292    setInterReady(true)
293    console.log(
294      { theta },
295      { distances },
296      { dbOriginal },
297      { potTxEstimated },
298      { potDbScal },
299      { dbPrediction }
300    )
301
302    let splineTheta = []
303    let interpolatedValues = []
304    let interpolatedDbScaled = []
305    let interpolatedDbPredicted = []
306    let interpolatedDistances = []
307    let interpolatedPotOriginal = []
308
309    // Interpolación dentro del rango definido
310    for (let i = 0; i < theta.length; i++) {
311      if (i !== theta.length - 1) {
312        let delta = (theta[i + 1] - theta[i]) / (Number(interNumber) + 1)
313        splineTheta.push(theta[i])
314        for (let j = 1; j <= interNumber; j++) {
315          splineTheta.push(theta[i] + delta * j)
316        }
317      } else {
318        // Agregar el último valor de theta
319        splineTheta.push(theta[i])
320      }
321    }
322
323    // Interpolación entre el último y el primer punto
324    const lastTheta = theta[theta.length - 1]
325    const firstTheta = theta[0] + 360 // Asegurar la continuidad circular
326    let deltaClosing = (firstTheta - lastTheta) / (Number(interNumber) + 1)
327    for (let j = 1; j <= interNumber; j++) {
328      splineTheta.push(lastTheta + deltaClosing * j)
329    }
330
331    // Asegurarse de que los valores de theta sean cíclicos (0-360°)
332    splineTheta = splineTheta.map((angle) => angle % 360)
333
334    // Generar splines para cada conjunto de datos
335    const potenciaOrigenSpline = new cubicSpline(
336      [...theta, theta[0] + 360],
337      [...potTxEstimated, potTxEstimated[0]]
338    )
339    const potenciaDbScalSpline = new cubicSpline(
340      [...theta, theta[0] + 360],
341      [...potDbScal, potDbScal[0]]
342    )
343    const potenciaDbPredictSpline = new cubicSpline(
344      [...theta, theta[0] + 360],
345      [...dbPrediction, dbPrediction[0]]
346    )
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
    const distancesOriginalSplice = new cubicSpline(
      [...theta, theta[0] + 360],
      [...distances, distances[0]]
    )
    const potOriginalSplice = new cubicSpline(
      [...theta, theta[0] + 360],
      [...dbOriginal, dbOriginal[0]]
    )

    // Calcular los valores interpolados
    for (let i = 0; i < splineTheta.length; i++) {
      interpolatedValues.push(potenciaOrigenSpline.at(splineTheta[i]))
      interpolatedDbScaled.push(potenciaDbScalSpline.at(splineTheta[i]))
      interpolatedDbPredicted.push(potenciaDbPredictSpline.at(splineTheta[i]))
      interpolatedDistances.push(distancesOriginalSplice.at(splineTheta[i]))
      interpolatedPotOriginal.push(potOriginalSplice.at(splineTheta[i]))
    }

    // Actualizar los estados con los resultados
    setThetaAfterSpline(splineTheta)
    setPotDbScalAfterSpline(interpolatedDbScaled)
    setDistancesAfterSpline(interpolatedDistances)
    setDbOriginalAfterSpline(interpolatedPotOriginal)
    setPotTxEstimatedAfterSpline(interpolatedValues)
    setPotPredictedAfterSpline(interpolatedDbPredicted)

    //Encontrar el valor máx de pot de la data spline:
    const { maxDb, maxTheta } = interpolatedDbScaled.reduce(
      (acc, db, i) =>
        db > acc.maxDb ? { maxDb: db, maxTheta: splineTheta[i] } : acc, //condicion
      { maxDb: -Infinity, maxTheta: 0 } //valores iniciales
    )
    setMaxPotAfterSpline(maxDb)
    setMaxThetaAfterSpline(maxTheta)

    //Encontrar el valor min de pot de la data spline:
    const { minDb, minTheta } = interpolatedDbScaled.reduce(
      (acc, db, i) =>
        db < acc.minDb ? { minDb: db, minTheta: splineTheta[i] } : acc, //condicion
      { minDb: Infinity, minTheta: 0 } //valores iniciales
    )
    setMinPotAfterSpline(minDb)
    setMinThetaAfterSpline(minTheta)

    //! ////////////////////        GRAFICO SPLINE      /////////////////
    const datagraph = [
      {
        type: 'scatterpolar',
        r: interpolatedDbScaled,
        theta: splineTheta,
        mode: 'lines+markers',
        fill: 'toself',
        line: {
          color: '#rgba(0,220,100,1)',
          width: 3,
        },
        hoverinfo: 'r+theta+name', // Incluye el nombre para más contexto
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
404         //    name: 'I + theta', // Nombre que aparecerá en el hover
405         //    hoverlabel: {
406         //        bgcolor: '#000', // Fondo del cuadro de hover
407         //        font: {
408         //            color: '#FFF', // Color del texto en el hover
409         //            size: 12 // Tamaño de fuente del hover
410         //        }
411         //    }
412       },
413     ]
414     setDataSpline(datagraph)
415
416     console.log({ interpolatedValues })
417   }
418
419   useEffect(() => {
420     // console.log('Interpolando despues de predicción');
421     handleApplyInterpol()
422   }, [predictionDone])
423
424   useEffect(() => {
425     // console.log('Interpolando despues de cambio de coords valido');
426     if (doInterpolAfterCoordToogle == true) {
427       handleApplyInterpol()
428       setDoInterpolAfterCoordToogle(false)
429     }
430   }, [doInterpolAfterCoordToogle])
431
432   //! ////////////////////// OKUMURA INPUTS ////////////////////////////////////////////
433   const txAntennaChange = (e) => {
434     SetOkumuraReady(false)
435     let txAntennaValue = Number(e.target.value)
436     if (txAntennaValue < 30 || txAntennaValue > 200) {
437       setOkumuraValidInputs((prev) => ({ ...prev, txHeight: false }))
438       setOkumuraValueInputs((prev) => ({ ...prev, txHeight: txAntennaValue }))
439     } else {
440       setOkumuraValidInputs((prev) => ({ ...prev, txHeight: true }))
441       setOkumuraValueInputs((prev) => ({ ...prev, txHeight: txAntennaValue }))
442     }
443   }
444   const rxAntennaChange = (e) => {
445     SetOkumuraReady(false)
446     let rxAntennaValue = Number(e.target.value)
447     if (rxAntennaValue < 1 || rxAntennaValue > 10) {
448       setOkumuraValidInputs((prev) => ({ ...prev, rxHeight: false }))
449       setOkumuraValueInputs((prev) => ({ ...prev, rxHeight: rxAntennaValue }))
450     } else {
451       setOkumuraValidInputs((prev) => ({ ...prev, rxHeight: true }))
452       setOkumuraValueInputs((prev) => ({ ...prev, rxHeight: rxAntennaValue }))
453     }
454   }
455
456   const citySizeChange = (option) => {
457     SetOkumuraReady(false)
458     setOkumuraValidInputs((prev) => ({ ...prev, citySize: true }))
459     setOkumuraValueInputs((prev) => ({ ...prev, citySize: option }))
460   }
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
461  const areaTypeChange = (option) => {
462    SetOkumuraReady(false)
463    setOkumuraValidInputs((prev) => ({ ...prev, areaType: true }))
464    setOkumuraValueInputs((prev) => ({
465       ...prev,
466      areaType: prev.areaType == option ? undefined : option,
467    }))
468  }
469
470  const handleApply = () => {
471    SetOkumuraReady(false)
472    let validOkumuraFlag = true
473    if (
474      okumuraValueInputs.txHeight == undefined ||
475      okumuraValidInputs.txHeight == false
476    ) {
477      validOkumuraFlag = false
478    }
479    if (
480      okumuraValueInputs.rxHeight == undefined ||
481      okumuraValidInputs.rxHeight == false
482    ) {
483      validOkumuraFlag = false
484    }
485    if (
486      okumuraValueInputs.citySize == undefined ||
487      okumuraValidInputs.citySize == false
488    ) {
489      validOkumuraFlag = false
490    }
491    if (validOkumuraFlag == false) {
492      SetokumuraErrorFlag(true) //Mostrar errorModal
493    } else if (validOkumuraFlag == true) {
494      SetOkumuraReady(true)
495    }
496  }
497
498  //! ////////////////////////// Predicción ////////////////////////////////////////
499  //! ////////////////////// OKUMURA INPUTS ////////////////////////////////////////
500  const txAntennaChangePrediction = (e) => {
501    SetOkumuraReadyPrediction(false)
502    let txAntennaValue = Number(e.target.value)
503    if (txAntennaValue < 30 || txAntennaValue > 200) {
504      setOkumuraValidInputsPrediction((prev) => ({ ...prev, txHeight: false }))
505      setOkumuraValueInputsPrediction((prev) => ({
506         ...prev,
507        txHeight: txAntennaValue,
508      }))
509    } else {
510      setOkumuraValidInputsPrediction((prev) => ({ ...prev, txHeight: true }))
511      setOkumuraValueInputsPrediction((prev) => ({
512         ...prev,
513        txHeight: txAntennaValue,
514      }))
515    }
516  }
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
517  const rxAntennaChangePrediction = (e) => {
518    SetOkumuraReadyPrediction(false)
519    let rxAntennaValue = Number(e.target.value)
520    if (rxAntennaValue < 1 || rxAntennaValue > 10) {
521      setOkumuraValidInputsPrediction((prev) => ({ ...prev, rxHeight: false }))
522      setOkumuraValueInputsPrediction((prev) => ({
523        ...prev,
524        rxHeight: rxAntennaValue,
525      }))
526    } else {
527      setOkumuraValidInputsPrediction((prev) => ({ ...prev, rxHeight: true }))
528      setOkumuraValueInputsPrediction((prev) => ({
529        ...prev,
530        rxHeight: rxAntennaValue,
531      }))
532    }
533  }
534  const citySizeChangePrediction = (option) => {
535    SetOkumuraReadyPrediction(false)
536    setOkumuraValidInputsPrediction((prev) => ({ ...prev, citySize: true }))
537    setOkumuraValueInputsPrediction((prev) => ({ ...prev, citySize: option }))
538  }
539  const areaTypeChangePrediction = (option) => {
540    SetOkumuraReadyPrediction(false)
541    setOkumuraValidInputsPrediction((prev) => ({ ...prev, areaType: true }))
542    setOkumuraValueInputsPrediction((prev) => ({
543      ...prev,
544      areaType: prev.areaType == option ? undefined : option,
545    }))
546  }
547
548  const handleApplyPrediction = () => {
549    SetOkumuraReadyPrediction(false)
550    let validOkumuraFlag = true
551    if (
552      okumuraValueInputsPrediction.txHeight == undefined ||
553      okumuraValidInputsPrediction.txHeight == false
554    ) {
555      validOkumuraFlag = false
556    }
557    if (
558      okumuraValueInputsPrediction.rxHeight == undefined ||
559      okumuraValidInputsPrediction.rxHeight == false
560    ) {
561      validOkumuraFlag = false
562    }
563    if (
564      okumuraValueInputsPrediction.citySize == undefined ||
565      okumuraValidInputsPrediction.citySize == false
566    ) {
567      validOkumuraFlag = false
568    }
569    if (validOkumuraFlag == false) {
570      SetokumuraErrorFlagPrediction(true) //Mostrar errorModal
571    } else if (validOkumuraFlag == true) {
572      SetOkumuraReadyPrediction(true)
573    }
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
    console.log(
      'Apply button:',
      { okumuraValueInputsPrediction },
      { okumuraValidInputsPrediction },
      { validOkumuraFlag }
    )
  }

  const handlePredictionClick = () => {
    let angs = theta
    let pots = potTxEstimated
    let distPrediction = distanceToScal

    let FSPL = 0
    let L = 0
    let ahm = 0
    let K = 0

    pots = pots.map((pot) => {
      if (selectedModelPrediction === 0) {
        //!FSPL
        console.log('Prediction FSPL', frequency * 10 ** 6)
        if (
          Math.abs(distPrediction) <
          c / (frequency * 10 ** 6) / (4 * Math.PI)
        ) {
          pot = pot
        } else {
          FSPL =
            20 * Math.log10(Math.abs(distPrediction)) +
            20 * Math.log10(frequency * 10 ** 6) +
            20 * Math.log10((4 * Math.PI) / c)
          pot = pot - FSPL
        }
      } else if (selectedModelPrediction === 1) {
        //!OKUMURA
        if (okumuraReadyPrediction) {
          console.log('Prediciendo okumura')
          if (okumuraValueInputsPrediction.citySize == 1) {
            // ciudad pequeña,mediana
            ahm =
              (1.1 * Math.log10(frequency) - 0.7) *
                okumuraValueInputsPrediction.rxHeight -
              (1.56 * Math.log10(frequency) - 0.8)
          } else if (okumuraValueInputsPrediction.citySize == 2) {
            // ciudad grande
            if (frequency <= 300) {
              ahm =
                8.29 *
                  Math.log10(1.54 * okumuraValueInputsPrediction.rxHeight) **
                    2 -
                1.1 // Menor a 300 MHz
            } else if (frequency > 300) {
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
627               ahm =
628                 3.2 *
629                   Math.log10(11.75 * okumuraValueInputsPrediction.rxHeight) **
630                     2 -
631                 4.97 // Mayor a 300 MHz
632             }
633           }
634           if (okumuraValueInputsPrediction.areaType !== undefined) {
635             if (okumuraValueInputsPrediction.areaType == 1) {
636               K = 2 * Math.log10(frequency / 28) ** 2 + 5.4
637             } else if (okumuraValueInputsPrediction.areaType == 2) {
638               K =
639                 4.78 * Math.log10(frequency) ** 2 -
640                 18.3 * Math.log10(frequency) +
641                 40.94
642             }
643           }
644           L =
645             69.55 +
646             26.16 * Math.log10(frequency) -
647             13.82 * Math.log10(okumuraValueInputsPrediction.txHeight) -
648             ahm +
649             (44.9 - 6.55 * Math.log10(okumuraValueInputsPrediction.txHeight)) *
650               Math.log10(Math.abs(distPrediction) / 1000)
651           pot = pot - (L - K)
652         }
653       }
654
655       return pot
656     })
657     setDbPrediction(pots)
658     setPredictionDone((prev) => !prev)
659   }
660
661   //! ////////////////////////////////////////////////////////////////
662
663   useEffect(() => {
664     if (dataCSV) {
665       setHeaders(dataCSV[0])
666       const rows = dataCSV.filter(
667         (row) =>
668           row &&
669           Object.values(row).some(
670             (value) => value !== null && value !== undefined && value !== ''
671           )
672       )
673       const csvDataLong = rows.length
674       let temporal = 0
675       let menor = 0
676       let menorpos = 0
677       let dist = []
678       let ang = []
679       let pot = []
680       let lat = []
681       let lon = []
682       let alt = []
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
683       let freq = []
684       let frequencyLocal = 0
685       let staticMode = false
686       setStaticCsv(false)
687       setDbPrediction([])
688
689       let lat1 = (latOrigen * Math.PI) / 180 //Origen geográfico conocido de la señal
690       let lon1 = (lonOrigen * Math.PI) / 180 //Origen geográfico conocido de la señal
691
692       if (rows[0]) {
693         // 'Modo estatico:',staticMode
694         rows[0].forEach((column) => {
695           if (
696             typeof column === 'string' &&
697             column.toLowerCase().includes('grado')
698           ) {
699             staticMode = true
700             setStaticCsv(true)
701           }
702         })
703       }
704
705       if (staticMode === false) {
706         //Receptor con capturas variables, radios variables
707         setStaticCsv(false)
708         for (let x = 1; x < csvDataLong; x++) {
709           pot[x - 1] = parseFloat(rows[x][0])
710           lat[x - 1] = rows[x][1]
711           lon[x - 1] = rows[x][2]
712           // alt[x-1]=rows[x][3];
713           freq[x - 1] = rows[x][4]
714         }
715         setLatCsv(lat) //Guardar para enviar a Map
716         setLonCsv(lon) //Guardar para enviar a Map
717         if (freq) {
718           console.log('Frecuencia detectada:', freq[0])
719           if (frequency !== freq[0]) {
720             // console.log('cambio de freq',{frequency},{frequencyLocal})
721             setOkumuraValueInputs({
722               txHeight: undefined,
723               rxHeight: undefined,
724               citySize: undefined,
725               areaType: undefined,
726             })
727             setOkumuraValidInputs({
728               txHeight: true,
729               rxHeight: true,
730               citySize: true,
731               areaType: true,
732             })
733             SetokumuraErrorFlag(false)
734             SetOkumuraReady(false)
735             setOkumuraSettingsVisibility(false)
736
737             setOkumuraValueInputsPrediction({
738               txHeight: undefined,
739               rxHeight: undefined,
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
            citySize: undefined,
            areaType: undefined,
          })
          setOkumuraValidInputs({
            txHeight: true,
            rxHeight: true,
            citySize: true,
            areaType: true,
          })
          SetokumuraErrorFlag(false)
          SetOkumuraReady(false)
          setOkumuraSettingsVisibility(false)

          setOkumuraValueInputsPrediction({
            txHeight: undefined,
            rxHeight: undefined,
            citySize: undefined,
            areaType: undefined,
          })
          setOkumuraValidInputsPrediction({
            txHeight: true,
            rxHeight: true,
            citySize: true,
            areaType: true,
          })
          SetokumuraErrorFlagPrediction(false)
          SetOkumuraReadyPrediction(false)

          setSelectedModel(0)
          setSelectedModelPrediction(0)
          setOkumuraSettingsPredictionVisibility(false)
          setMinDistancePrediction(0)
        }
        setFrequency(Number(freq[0]))
        frequencyLocal = Number(freq[0])
      }

      //! ////////////// CONVERSION DE LAT Y LONG A DIST, ANG ////////////////////
      for (let x = 0; x < csvDataLong - 1; x++) {
        let lat2 = (lat[x] * Math.PI) / 180
        let lon2 = (lon[x] * Math.PI) / 180

        let dlon = lon2 - lon1
        let dlat = lat2 - lat1

        let a =
          Math.sin(dlat / 2) * Math.sin(dlat / 2) +
          Math.cos(lat1) *
            Math.cos(lat2) *
            Math.sin(dlon / 2) *
            Math.sin(dlon / 2)
        let c = 2 * Math.atan2(Math.sqrt(Math.abs(a)), Math.sqrt(1 - a))
        let Base = 6371 * c * 1000

        let Bearing = Math.atan2(
          Math.cos(lat1) * Math.sin(lat2) -
            Math.sin(lat1) * Math.cos(lat2) * Math.cos(lon2 - lon1),
          Math.sin(lon2 - lon1) * Math.cos(lat2)
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
782           )
783
784           Bearing = ((Bearing * 180) / Math.PI + 360) % 360
785
786           dist[x] = Number(Base)
787           ang[x] = Number(Bearing)
788         }
789       } else if (staticMode === true) {
790         for (let x = 1; x < csvDataLong; x++) {
791           pot[x - 1] = parseFloat(rows[x][0])
792           // alt[x-1]=rows[x][3];
793           freq[x - 1] = rows[x][3]
794         }
795         for (let x = 1; x < csvDataLong; x++) {
796           dist[x - 1] = rows[x][2]
797           ang[x - 1] = rows[x][1]
798         }
799         if (freq) {
800           if (frequency !== freq[0]) {
801             // console.log('cambio de freq',{frequency},{frequencyLocal})
802             setOkumuraValueInputs({
803               txHeight: undefined,
804               rxHeight: undefined,
805               citySize: undefined,
806               areaType: undefined,
807             })
808             setOkumuraValidInputs({
809               txHeight: true,
810               rxHeight: true,
811               citySize: true,
812               areaType: true,
813             })
814             SetokumuraErrorFlag(false)
815             SetOkumuraReady(false)
816             setOkumuraSettingsVisibility(false)
817
818             setOkumuraValueInputsPrediction({
819               txHeight: undefined,
820               rxHeight: undefined,
821               citySize: undefined,
822               areaType: undefined,
823             })
824             setOkumuraValidInputsPrediction({
825               txHeight: true,
826               rxHeight: true,
827               citySize: true,
828               areaType: true,
829             })
830             SetokumuraErrorFlagPrediction(false)
831             SetOkumuraReadyPrediction(false)
832
833             setSelectedModel(0)
834             setSelectedModelPrediction(0)
835             setOkumuraSettingsPredictionVisibility(false)
836             setMinDistancePrediction(0)
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
838           setFrequency(Number(freq[0]))
839           frequencyLocal = Number(freq[0])
840         }
841       }
842
843       //! ############ REDIMENSIONADO DE POTENCIA PARA GRAFICAR ######################
844
845       let listadbscal = [] //Guardará los valores de db escalados
846       let potEstOrigen = []
847       let listaDbOrig = pot
848       let distmax = 0
849       let distmin = Infinity
850
851       for (let x = 0; x < csvDataLong - 1; x++) {
852         //Hallar distancia más lejana
853         if (dist[x] > distmax) {
854           distmax = dist[x]
855           setMaxDistance(dist[x])
856         }
857         if (dist[x] < distmin) {
858           // Buscar la distancia más cercana
859           distmin = dist[x]
860           setMinDistance(dist[x])
861         }
862       }
863
864       if (distmin < 1000) {
865         setOkumuraCompatible(false)
866         setOkumuraCompatibleMessageShow(true) //Mostrar mensaje de modelo okumura incompatible
867       } else if (distmin) {
868         setOkumuraCompatible(true)
869         setOkumuraCompatibleMessageShow(false)
870       }
871
872       //! Escalar los demás valores al de distancia máxima :Hallar potencia en transmisor
    :Potenciatx = Potrx + PathLoss
873       setDbOriginal(pot) //Guardar la pot original sin escalar
874
875       if (selectedModel === 0) {
876         // Modelo Free Space Path Loss
877         console.log({ dist })
878         for (let x = 0; x < csvDataLong - 1; x++) {
879           if (dist[x] == distmax) {
880             listadbscal[x] = pot[x]
881             let FSPL =
882               20 * Math.log10(Math.abs(dist[x])) +
883               20 * Math.log10(frequencyLocal * 10 ** 6) +
884               20 * Math.log10((4 * Math.PI) / c)
885             potEstOrigen[x] = pot[x] + FSPL
886             console.log('case 1, dist: ', dist[x], { FSPL }, { frequencyLocal })
887           } else if (
888             Math.abs(dist[x]) <
889             c / (frequencyLocal * 10 ** 6) / (4 * Math.PI)
890           ) {
891             //Distancias muy cortas no aplica FSPL (sin perdida teórica)
892             listadbscal[x] = pot[x]
893             potEstOrigen[x] = pot[x]
894             console.log('case 2')
895           } else if (dist[x] < distmax) {
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
            let FSPL =
              20 * Math.log10(Math.abs(dist[x])) +
              20 * Math.log10(frequencyLocal * 10 ** 6) +
              20 * Math.log10((4 * Math.PI) / c)
            let FSPL2 =
              20 * Math.log10(Math.abs(distmax)) +
              20 * Math.log10(frequencyLocal * 10 ** 6) +
              20 * Math.log10((4 * Math.PI) / c)
            listadbscal[x] = pot[x] + FSPL - FSPL2
            potEstOrigen[x] = pot[x] + FSPL
            console.log('case 3, dist: ', dist[x], { frequencyLocal })
            console.log({ FSPL }, { FSPL2 })
          }
        }
        setPotTxEstimated(potEstOrigen)
      } else if (selectedModel === 1) {
        // Modelo Okumura-Hata
        console.log('Okumura selected')
        if (okumuraReady == true) {
          for (let x = 0; x < csvDataLong - 1; x++) {
            let ahm = 0
            let K = 0 // Factor de corrección según área
            if (okumuraValueInputs.citySize == 1) {
              // ciudad pequeña,mediana
              ahm =
                (1.1 * Math.log10(frequencyLocal) - 0.7) *
                  okumuraValueInputs.rxHeight -
                (1.56 * Math.log10(frequencyLocal) - 0.8)
            } else if (okumuraValueInputs.citySize == 2) {
              // ciudad grande
              if (frequencyLocal <= 300) {
                ahm =
                  8.29 * Math.log10(1.54 * okumuraValueInputs.rxHeight) ** 2 -
                  1.1 // Menor a 300 MHz
              } else if (frequencyLocal > 300) {
                ahm =
                  3.2 * Math.log10(11.75 * okumuraValueInputs.rxHeight) ** 2 -
                  4.97 // Mayor a 300 MHz
              }
            }
            if (okumuraValueInputs.areaType !== undefined) {
              if (okumuraValueInputs.areaType == 1) {
                //Suburbana
                K = 2 * Math.log10(frequencyLocal / 28) ** 2 + 5.4
              } else if (okumuraValueInputs.areaType == 2) {
                //Rural
                K =
                  4.78 * Math.log10(frequencyLocal) ** 2 -
                  18.3 * Math.log10(frequencyLocal) +
                  40.94
              }
            }
            if (dist[x] == distmax) {
              // Valor máximo, no tendría perdidas
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
950               let L =
951                 69.55 +
952                 26.16 * Math.log10(frequencyLocal) -
953                 13.82 * Math.log10(okumuraValueInputs.txHeight) -
954                 ahm +
955                 (44.9 - 6.55 * Math.log10(okumuraValueInputs.txHeight)) *
956                   Math.log10(Math.abs(dist[x]) / 1000)
957               listadbscal[x] = pot[x]
958               potEstOrigen[x] = pot[x] + (L - K)
959             } else {
960               let L =
961                 69.55 +
962                 26.16 * Math.log10(frequencyLocal) -
963                 13.82 * Math.log10(okumuraValueInputs.txHeight) -
964                 ahm +
965                 (44.9 - 6.55 * Math.log10(okumuraValueInputs.txHeight)) *
966                   Math.log10(Math.abs(dist[x]) / 1000)
967               let L2 =
968                 69.55 +
969                 26.16 * Math.log10(frequencyLocal) -
970                 13.82 * Math.log10(okumuraValueInputs.txHeight) -
971                 ahm +
972                 (44.9 - 6.55 * Math.log10(okumuraValueInputs.txHeight)) *
973                   Math.log10(Math.abs(distmax) / 1000)
974               console.log(pot[x], { ahm }, { L }, { L2 }, { K })
975               listadbscal[x] = pot[x] + (L - K) - (L2 - K)
976               potEstOrigen[x] = pot[x] + (L - K)
977             }
978           }
979           setPotTxEstimated(potEstOrigen)
980           console.log('Ejecutando okumura con:', okumuraValueInputs)
981         } else {
982           console.log('Okumura invalido')
983         }
984       }
985       // console.log('Lista dist PREV:',dist);
986       // console.log('Lista db PREV',pot);
987       // console.log('Angulos NO ordenados: ',ang);
988
989       //! ////////////////////////// ORDENAR ARRAYS SEGUN ANGULOS DE FORMA ASCENDENTE
    ////////////////////////////////////
990
991       // Combina los arrays en un solo array de objetos para mantener la relación entre ellos
992       const combinedData = ang.map((value, index) => ({
993         ang: Number(value),
994         dbScal: listadbscal[index],
995         dist: Number(dist[index]),
996         pot: listaDbOrig[index],
997         potEst: potEstOrigen[index],
998       }))
999
1000      // Ordena el array combinado según los valores de `ang`
1001      combinedData.sort((a, b) => a.ang - b.ang)
1002
1003      // Separa los arrays ordenados
1004      const angSorted = combinedData.map((item) => item.ang)
1005      const dbScalSorted = combinedData.map((item) => item.dbScal)
1006      const distSorted = combinedData.map((item) => item.dist)
1007      const potSorted = combinedData.map((item) => item.pot)
1008      const potEstSorted = combinedData.map((item) => item.potEst)
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
1010        // Actualiza los estados con los valores ordenados
1011        setTheta(angSorted) //Angulos ordenados
1012        setPotDbScal(dbScalSorted) //Potencia escalada
1013        setDistances(distSorted)
1014        setDbOriginal(potSorted)
1015        setPotTxEstimated(potEstSorted)
1016
1017        // Calcula y establece los valores máximo y mínimo de la potencia escalada
1018        setMaxPotForScale(Number(Math.max( ... dbScalSorted)))
1019        setMinPotForScale(Number(Math.min( ... dbScalSorted)))
1020
1021        // console.log('Ángulos ordenados:', angSorted);
1022        // console.log('Lista distancias:', distSorted);
1023        // console.log('Lista db escalados:', dbScalSorted);
1024        // console.log('Lista db original:', potSorted);
1025
1026        //Encontrar el valor máx de pot de la data spline:
1027        const { maxDb, maxTheta } = dbScalSorted.reduce(
1028          (acc, db, i) =>
1029            db > acc.maxDb ? { maxDb: db, maxTheta: angSorted[i] } : acc, //condicion
1030          { maxDb: -Infinity, maxTheta: 0 } //valores iniciales
1031        )
1032        setMaxPot(maxDb)
1033        setMaxTheta(maxTheta)
1034
1035        //Encontrar el valor min de pot de la data spline:
1036        const { minDb, minTheta } = dbScalSorted.reduce(
1037          (acc, db, i) =>
1038            db < acc.minDb ? { minDb: db, minTheta: angSorted[i] } : acc, //condicion
1039          { minDb: Infinity, minTheta: 0 } //valores iniciales
1040        )
1041        setMinPot(minDb)
1042        setMinTheta(minTheta)
1043
1044        //! ////////////////////      GRAFICO POLAR       ////////////////////
1045        const datagraph = [
1046          {
1047            type: 'scatterpolar',
1048            r: dbScalSorted,
1049            theta: angSorted,
1050            mode: 'lines+markers',
1051            fill: 'toself',
1052            line: {
1053              color: '#rgba(250,70,0,1)',
1054              width: 3,
1055            },
1056            hoverinfo: 'r+theta+name', // Incluye el nombre para más contexto
1057          },
1058        ]
1059        setData(datagraph)
1060      } else {
1061        setOkumuraCompatibleMessageShow(false) //Mensaje de "okumura incompatible" oculto
1062      }
1063
1064      console.log('coordState.validCoordToogle', coordState.validCoordToogle)
1065      if (coordState.validCoord) {
1066        console.log('validCoordToogle cambio: theta:', thetaAfterSpline.length)
1067        if (thetaAfterSpline.length ≠ 0) {
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
1068          //SI hay una interpolación realizada antes
1069
1070          console.log('SI hay una interpolación realizada antes')
1071          setDoInterpolAfterCoordToogle(true)
1072        } else if (thetaAfterSpline.length == 0) {
1073          //NO hay una interpolación realizada antes
1074          console.log('NO hay una interpolación realizada antes')
1075          setDoInterpolAfterCoordToogle(false)
1076        }
1077      }
1078    }, [dataCSV, frequency, selectedModel, okumuraReady, coordState])
1079
1080    useEffect(() => {
1081      if (selectedModel == 1) {
1082        setOkumuraSettingsVisibility(true)
1083      } else {
1084        setOkumuraSettingsVisibility(false)
1085      }
1086    }, [selectedModel])
1087
1088    useEffect(() => {
1089      if (selectedModelPrediction == 1) {
1090        setOkumuraSettingsPredictionVisibility(true)
1091      } else {
1092        setOkumuraSettingsPredictionVisibility(false)
1093      }
1094    }, [selectedModelPrediction])
1095
1096    //! ////////////////////////// EXPORTAR ////////////////////////////////
1097    const exportToExcel = () => {
1098      // Obtener datos de la primera tabla
1099      const table1 = [
1100        [
1101          'Sample',
1102          'Theta (°)',
1103          'Dist. Original',
1104          'Pot. Medida',
1105          'Pot. Estimada en Origen',
1106          `Potencia Escalada en Distancia Máxima (${maxDistance} metros)`,
1107          'PotPredicted',
1108        ],
1109        ...theta.map((_, i) => [
1110          i,
1111          theta[i].toFixed(3),
1112          distances[i].toFixed(3),
1113          dbOriginal[i],
1114          potTxEstimated[i],
1115          potDbScal[i],
1116          dbPrediction[i],
1117        ]),
1118      ]
1119
1120      // Obtener datos de la segunda tabla
1121      const table2 = [
1122        [
1123          'Sample',
1124          'Theta (°)',
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
        'Dist. Original',
        'Pot. Medida',
        'Pot. Estimada en Origen',
        `Potencia Escalada en Distancia Máxima (${maxDistance} metros)`,
        'PotPredicted',
      ],
      ...thetaAfterSpline.map((_, i) => [
        i,
        thetaAfterSpline[i].toFixed(3),
        distancesAfterSpline[i].toFixed(3),
        dbOriginalAfterSpline[i],
        potTxEstimatedAfterSpline[i],
        potDbScalAfterSpline[i],
        potPredictedAfterSpline[i],
      ]),
    ]

    // Crear un libro de Excel
    const wb = XLSX.utils.book_new()

    // Crear hojas para cada tabla
    const ws1 = XLSX.utils.aoa_to_sheet(table1)
    const ws2 = XLSX.utils.aoa_to_sheet(table2)

    // Agregar hojas al libro
    XLSX.utils.book_append_sheet(wb, ws1, 'Tabla 1')
    XLSX.utils.book_append_sheet(wb, ws2, 'Tabla 2')

    // Escribir el archivo
    const excelBuffer = XLSX.write(wb, { bookType: 'xlsx', type: 'array' })

    // Guardar el archivo con FileSaver
    const file = new Blob([excelBuffer], { type: 'application/octet-stream' })
    saveAs(file, 'datos.xlsx')
  }

  //? PDF ///////////////////////
  const plotRef1 = useRef(null)
  const plotRef2 = useRef(null)
  const exportToPDF = async () => {
    const doc = new jsPDF()

    // Configuración del título
    const title = 'Reporte de Datos'
    doc.setFontSize(16)

    // Obtener el ancho de la página
    const pageWidth = doc.internal.pageSize.getWidth()

    // Calcular el ancho del texto
    const textWidth = doc.getTextWidth(title)

    // Calcular la posición X para centrar
    const x = (pageWidth - textWidth) / 2

    // Dibujar el título centrado
    doc.text(title, x, 15)
    // Obtener fecha actual en formato legible
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
    const fechaActual = new Date().toLocaleDateString()

    // Datos para la tabla
    const data = [
      ['Fecha', fechaActual],
      ['Frecuencia (MHz)', frequency], // Ejemplo de frecuencia en Hz
      ['Número de Muestras', '1500'],
      ['Latitud de Origen', latOrigen],
      ['Longitud de Origen', lonOrigen],
    ]

    // Configuración de la tabla
    autoTable(doc, {
      startY: 25, // Posición después del título
      head: [['Parámetro', 'Valor']],
      body: data,
      theme: 'grid',
      styles: { fontSize: 9, cellPadding: 1.5 },
      rowStyles: { minCellHeight: 5 }, // Reducir la altura de las filas
    })
    // Obtener la posición final de la tabla

    let currentY = doc.lastAutoTable.finalY + 10

    doc.setFontSize(13)
    doc.text('Diagrama de radiación 1 + data:', 10, currentY)

    currentY += 5 // Espacio después del texto
    // Convertir el primer gráfico a imagen
    if (plotRef1.current) {
      const canvas1 = await html2canvas(plotRef1.current)
      const imgData1 = canvas1.toDataURL('image/png')
      const imgWidth = 140 // Ancho fijo en el PDF
      const aspectRatio = canvas1.height / canvas1.width
      const imgHeight = imgWidth * aspectRatio // Mantener relación de aspecto
      console.log('Image 1 height:', imgHeight)
      const pdfWidth = doc.internal.pageSize.width
      const xPosition = (pdfWidth - imgWidth) / 2 // Centrar horizontalmente

      doc.addImage(imgData1, 'PNG', xPosition, currentY, imgWidth, imgHeight)
      currentY += imgHeight + 1 // Ajustar para el siguiente gráfico
    }

    // Datos de la primera tabla
    const table1Columns = [
      'Sample',
      'Theta (°)',
      'Dist. Original',
      'Pot. Medida',
      'Pot. Estimada en Origen',
      `Pot. Escalada (a ${maxDistance}m)`,
      'PotPredicted',
    ]
    const table1Rows = theta.map((_, i) => [
      i,
      theta[i].toFixed(3),
      distances[i].toFixed(3),
      dbOriginal[i],
      potTxEstimated[i],
      potDbScal[i],
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
      dbPrediction[i],
    ])

    doc.autoTable({
      startY: currentY,
      head: [table1Columns],
      body: table1Rows,
      theme: 'grid',
      styles: { fontSize: 9, cellPadding: 1.5 }, // Reduce el espacio dentro de las celda
      headStyles: { fillColor: [41, 128, 185] }, // Azul
      rowStyles: { minCellHeight: 5 }, // Reducir la altura de las filas
    })

    currentY = doc.lastAutoTable.finalY + 20 // Espacio después de la primera tabla

    // Agregar un salto de página si es necesario
    if (currentY + 100 > doc.internal.pageSize.height) {
      doc.addPage()
      currentY = 20 // Reiniciar la posición en la nueva página
    }

    // GRAFICO 2

    doc.setFontSize(13)
    doc.text(
      'Diagrama de radiación 2 + data interpolada:',
      doc.internal.pageSize.width / 2,
      currentY,
      { align: 'right' }
    )
    currentY += 5 // Espacio después del texto

    // Convertir el segundo gráfico a imagen
    if (plotRef2.current) {
      const canvas2 = await html2canvas(plotRef2.current)
      const imgData2 = canvas2.toDataURL('image/png')
      const imgWidth2 = 140 // Ancho fijo en el PDF
      const aspectRatio = canvas2.height / canvas2.width
      const imgHeight2 = imgWidth2 * aspectRatio // Mantener relación de aspecto
      console.log('Image 1 height:', imgHeight2)
      const pdfWidth = doc.internal.pageSize.width
      const xPosition = (pdfWidth - imgWidth2) / 2 // Centrar horizontalmente
      doc.addImage(imgData2, 'PNG', xPosition, currentY, imgWidth2, imgHeight2)
      currentY += imgHeight2 + 1 // Ajustar la posición
    }

    // Agregar un salto de página si es necesario
    if (currentY + 40 > doc.internal.pageSize.height) {
      doc.addPage()
      currentY = 20
    }
    // Datos de la segunda tabla
    const table2Columns = [
      'Sample',
      'Theta (°)',
      'Dist. Original',
      'Pot. Medida',
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
      'Pot. Estimada en Origen',
      `Pot. Escalada (${maxDistance}m)`,
      'PotPredicted',
    ]
    const table2Rows = thetaAfterSpline.map((_, i) => [
      i,
      thetaAfterSpline[i].toFixed(3),
      distancesAfterSpline[i].toFixed(3),
      dbOriginalAfterSpline[i],
      potTxEstimatedAfterSpline[i],
      potDbScalAfterSpline[i],
      potPredictedAfterSpline[i],
    ])

    doc.autoTable({
      startY: currentY,
      head: [table2Columns],
      body: table2Rows,
      theme: 'grid',
      styles: { fontSize: 9, cellPadding: 1.5 }, // Reduce el espacio dentro de las celdas
      headStyles: { fillColor: [231, 76, 60] }, // Rojo
      rowStyles: { minCellHeight: 5 }, // Reducir la altura de las filas
    })

    doc.save('Reporte.pdf')
  }

  return (
    <div id="Home">
      <div id="title">Graficador polar de diagrama de radiación</div>

      <div id="HomeContainer">
        <div className="firstRowParent">
          <div className="FirstRowContainer">
            <div className="optionsCointainer">
              <div className="uploader0">
                <h3>COORDENADAS DE ORIGEN DE LA SEÑAL DE RADIOFRECUENCIA:</h3>
                <div className="coordContainer">
                  <div className="dividerCoord">
                    <h4>Latitud:</h4>
                    <input type="number" onChange={handleLatChange}></input>
                  </div>
                  <div className="dividerCoord">
                    <h4>Longitud:</h4>
                    <input type="number" onChange={handleLonChange}></input>
                  </div>
                  <button id="saveCoord" onClick={verificarCoord}>
                    {' '}
                    GUARDAR
                  </button>
                </div>

                {touched && !coordState.validCoord && (
                  <h5 className="invalidCoord">
                    INGRESE COORDENADAS VÁLIDAS: Lat y Long:(-90 a 90)
                  </h5>
                )}
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
            {touched && coordState.validCoord && (
              <h5 className="validCoord">COORDENADAS VÁLIDAS</h5>
            )}
          </div>
          <div className="uploader1">
            <h3>IMPORTAR CSV PARA ANÁLISIS</h3>
            <h4>( Ingrese coordenadas primero )</h4>
            {touched && coordState.validCoord && (
              <input
                type="file"
                name="file"
                accept=".csv"
                onChange={handleFileChange}
                className="inputFile"
              ></input>
            )}
          </div>
          <div className="freqContainer">
            <h3>FRECUENCIA DETECTADA: </h3>
            <h3>{frequency ? `${frequency} MHz` : '-'}</h3>
          </div>

          {staticCsv && (
            <h3 className="staticCSVText">
              {' '}
              Muestras tomadas a una misma distancia (radio) y ángulos
              (theta) equidistantes{' '}
            </h3>
          )}

          <div className="propagationBox">
            <h3>MODELO DE PROPAGACIÓN (ESCALAMIENTO)</h3>
            <div className="selectModelPropagation">
              <h4>Seleccione un modelo de propagación: </h4>
              <div>
                <label>
                  <input
                    type="radio"
                    name="opcion"
                    value="1"
                    onChange={() => {
                      setSelectedModel(0)
                    }}
                    checked={selectedModel === 0}
                  />
                  FSPL
                </label>
                <label>
                  <input
                    type="radio"
                    name="opcion"
                    value="2"
                    onChange={() => {
                      setSelectedModel(1)
                    }}
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
                  <label>
                    <input
                      type="radio"
                      name="opcion"
                      value="1"
                      onChange={() => {
                        setSelectedModel(0)
                      }}
                      checked={selectedModel === 0}
                    />
                    FSPL
                  </label>
                  <label>
                    <input
                      type="radio"
                      name="opcion"
                      value="2"
                      onChange={() => {
                        setSelectedModel(1)
                      }}
                      checked={selectedModel === 1}
                      disabled={okumuraCompatibleMessageShow}
                    />
                    Okumura-Hata
                  </label>
                </div>
              </div>
              {okumuraCompatibleMessageShow && (
                <h3 className="errorMessage">
                  Modelo de okumura Hata no aplicable (distancia de muestras
                  menor a 1 km)
                </h3>
              )}
              {okumuraSettingsVisibility && (
                <div className="OkumuraOptionsContainer">
                  <div className="altOkumura">
                    <label className="labelOkumura">
                      {' '}
                      Altura de la antena transmisora:{' '}
                      <label className="labelOkumura2">
                        {' '}
                        (Rango permitido: 30 - 200 metros){' '}
                      </label>
                    </label>
                    <input
                      type="number"
                      value={okumuraValueInputs.txHeight}
                      onChange={txAntennaChange}
                      className={`${
                        !okumuraValidInputs.txHeight ? 'invalidInput' : ''
                      } altsOkumura`}
                    />
                  </div>
                  <div className="altOkumura">
                    <label className="labelOkumura">
                      {' '}
                      Altura de la antena receptora:{' '}
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
                    <label className="labelOkumura2">
                      {' '}
                      (Rango permitido: 1 - 10 metros){' '}
                    </label>{' '}
                  </label>
                  <input
                    type="number"
                    value={okumuraValueInputs.rxHeight}
                    onChange={rxAntennaChange}
                    className={`${
                      !okumuraValidInputs.rxHeight ? 'invalidInput' : ''
                    } altsOkumura`}
                  />
                </div>
                <div className="okumuraCorrectionsBox">
                  Seleccionar tamaño de ciudad:
                  <div>
                    <label>
                      <input
                        type="radio"
                        name="tamañoCiudad"
                        value="1"
                        onChange={() => citySizeChange(1)}
                      />
                      Pequeña / mediana
                    </label>
                    <label>
                      <input
                        type="radio"
                        name="tamañoCiudad"
                        value="2"
                        onChange={() => citySizeChange(2)}
                      />
                      Grande
                    </label>
                  </div>
                </div>

                <div className="okumuraCorrectionsBox">
                  Tipo de área:
                  <div>
                    <label>
                      <input
                        type="radio"
                        name="tipoArea"
                        onClick={() => areaTypeChange(1)}
                        checked={okumuraValueInputs.areaType == 1}
                      />
                      Suburbana
                    </label>
                    <label>
                      <input
                        type="radio"
                        name="tipoArea"
                        onClick={() => areaTypeChange(2)}
                        checked={okumuraValueInputs.areaType == 2}
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
                        />
                        Rural / Abiertaa
                      </label>
                    </div>
                  </div>
                  <button
                    className="applyOkumuraButton"
                    onClick={handleApply}
                  >
                    {' '}
                    Aplicar Modelo
                  </button>
                </div>
              )}
            </div>
            <div>{/* Botón para exportar */}</div>
          </div>
        </div>
        <div className="secondRowContainer">
          <div className="interpolationBox">
            <div className="interpolationEnableBox">
              <h3>INTERPOLACIÓN</h3>
              {/* <label className="toggleSwitch">
                              <input type="checkbox" id="interpolationCheck" checked=
{interEnabled} onChange={handleCheckboxChange}/>
                              <span className="slider"></span>
                            </label> */}
            </div>
            <div className="interpolationPointsBox">
              Puntos de interpolación deseados:
              <input
                id="interpolationPoints"
                type="number"
                onChange={handleInputInterpolChange}
              />
            </div>
            <button id="interpolButton" onClick={handleApplyInterpol}>
              Aplicar Interpolación{' '}
            </button>
          </div>
          <div className="predictionBox">
            <h3>ESTIMACIÓN </h3>
            <div className="selectModelPropagation">
              <h4>Seleccione un modelo de propagación para estimación: </h4>
              <div>
                <label>
                  <input
                    type="radio"
                    name="predictionOption"
                    value="1"
                    onChange={() => {
                      setMinDistancePrediction(0)
                      setDistanceToScal(0)
                      setSelectedModelPrediction(0)
                    }}
                    checked={selectedModelPrediction === 0}
                  />
                  FSPL
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
                </label>
                <label>
                  <input
                    type="radio"
                    name="predictionOption"
                    value="2"
                    onChange={() => {
                      setMinDistancePrediction(1000)
                      setDistanceToScal(1000)
                      setSelectedModelPrediction(1)
                    }}
                    checked={selectedModelPrediction === 1}
                  />
                  Okumura-Hata
                </label>
              </div>
            </div>

            {okumuraSettingsPredictionVisibility && (
              <div className="OkumuraOptionsContainer">
                <div className="altOkumura">
                  <label className="labelOkumura">
                    {' '}
                    Altura de la antena transmisora:{' '}
                    <label className="labelOkumura2">
                      {' '}
                      (Rango permitido: 30 - 200 metros){' '}
                    </label>
                  </label>
                  <input
                    type="number"
                    value={okumuraValueInputsPrediction.txHeight}
                    onChange={txAntennaChangePrediction}
                    className={`${
                      !okumuraValidInputsPrediction.txHeight
                        ? 'invalidInput'
                        : ''
                    } altsOkumura`}
                  />
                </div>
                <div className="altOkumura">
                  <label className="labelOkumura">
                    {' '}
                    Altura de la antena receptora:{' '}
                    <label className="labelOkumura2">
                      {' '}
                      (Rango permitido: 1 - 10 metros){' '}
                    </label>{' '}
                  </label>
                  <input
                    type="number"
                    value={okumuraValueInputsPrediction.rxHeight}
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
                    onChange={rxAntennaChangePrediction}
                    className={`${
                      !okumuraValidInputsPrediction.rxHeight
                        ? 'invalidInput'
                        : ''
                    } altsOkumura`}
                  />
                </div>
                <div className="okumuraCorrectionsBox">
                  Seleccionar tamaño de ciudad:
                  <div>
                    <label>
                      <input
                        type="radio"
                        name="tamañoCiudadPrediction"
                        value="1"
                        onChange={() => citySizeChangePrediction(1)}
                      />
                      Pequeña / mediana
                    </label>
                    <label>
                      <input
                        type="radio"
                        name="tamañoCiudadPrediction"
                        value="2"
                        onChange={() => citySizeChangePrediction(2)}
                      />
                      Grande
                    </label>
                  </div>
                </div>

                <div className="okumuraCorrectionsBox">
                  Tipo de área:
                  <div>
                    <label>
                      <input
                        type="radio"
                        name="tipoAreaPrediction"
                        onClick={() => areaTypeChangePrediction(1)}
                        checked={okumuraValueInputsPrediction.areaType == 1}
                      />
                      Suburbana
                    </label>
                    <label>
                      <input
                        type="radio"
                        name="tipoAreaPrediction"
                        onClick={() => areaTypeChangePrediction(2)}
                        checked={okumuraValueInputsPrediction.areaType == 2}
                      />
                      Rural / Abiertaa
                    </label>
                  </div>
                </div>
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
                {okumuraReadyPrediction && (
                  <h3 className="successMessage">
                    Datos para predicción válidos
                  </h3>
                )}
                <button
                  className="applyOkumuraButton"
                  onClick={handleApplyPrediction}
                >
                  {' '}
                  Confirmar datos para Modelo de predicción
                </button>
              </div>
            )}
            <div className="distanciaEstimacionBox">
              <label>Ingrese una distancia de estimación (m):</label>
              <input
                type="range"
                name="distancia"
                min={minDistancePrediction}
                max={maxDistancePrediction}
                step="0.5"
                value={distanceToScal}
                onChange={handleSliderChange}
                id="slideInput"
              ></input>
              <input
                type="textbox"
                id="inputTextBox"
                min={minDistancePrediction}
                max={maxDistancePrediction}
                value={distanceToScal}
                onChange={handleTextBoxChange}
              ></input>
              {` m. `}
              <button id="predictionButton" onClick={handlePredictionClick}>
                APLICAR
              </button>
            </div>
          </div>
          <h3>EXPORTAR RESULTADOS:</h3>
          <div className="exportBox">
            <button className="excelButton" onClick={exportToExcel}>
              EXPORTAR A EXCEL <img src={excelIcon} />
            </button>
            <button className="pdfButton" onClick={exportToPDF}>
              EXPORTAR A PDF <img src={pdfIcon} />
            </button>
          </div>
        </div>
      </div>

      <div className="tablesContainer">
        <div className="tableContainer">
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
            <div className="graphContainer" ref={plotRef1}>
              <Plot
                id="chart"
                data={data}
                layout={layout}
                config={{
                  responsive: true,
                  useResizeHandler: true,
                  // scrollZoom: true, // Permite zoom con la rueda del ratón
                  // displayModeBar: true, // Muestra la barra de herramientas
                  // editable: true, // Permite editar el gráfico
                }}
                className="plotChart"
              />
            </div>

            <div className="dbMaxMinInfoContainer">
              <div className="dbMaxMinInfoRow">
                <h3>{'Valor máximo de pot:'} </h3>{' '}
                <h3>{` ${maxPot} @ ${maxTheta}°`}</h3>
              </div>
              <div className="dbMaxMinInfoRow">
                <h3>{'Valor mínimo de pot:'} </h3>{' '}
                <h3>{` ${minPot} @ ${minTheta}°`}</h3>
              </div>
            </div>
            <table className="dataTable">
              <thead>
                <th>N°</th>
                <th>Theta (°)</th>
                <th>Dist. Original</th>
                <th>Pot. Medida</th>
                <th>Pot. Estimada en Origen</th>
                <th>
                  Potencia Escalada en Distancia. Maxima:{' '}
                  {`${maxDistance} metros`}
                </th>
                <th>PotPredicted</th>
              </thead>
              <tbody>
                {theta &&
                  theta.map((column, i) => {
                    return (
                      <tr key={i}>
                        <td>{i}</td>
                        <td>{theta[i].toFixed(3)}</td>
                        <td>{distances[i].toFixed(3)}</td>
                        <td>{dbOriginal[i]}</td>
                        <td>{potTxEstimated[i]}</td>
                        <td>{potDbScal[i]}</td>
                        <td>{dbPrediction[i]}</td>
                      </tr>
                    )
                  })}
              </tbody>
            </table>
          </div>
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
          <div className="tableContainer">
            <div className="graphContainer" ref={plotRef2}>
              <Plot
                id="chart2"
                data={dataSpline}
                layout={layoutInterpol}
                config={{ responsive: true, useResizeHandler: true }}
                useResizeHandler={true}
                className="plotChart"
              />
            </div>
            <div className="dbMaxMinInfoContainer">
              <div className="dbMaxMinInfoRow">
                <h3>{'Valor máximo de pot:'} </h3>{' '}
                <h3>{` ${maxPotAfterSpline} @ ${maxThetaAfterSpline}°`}</h3>
              </div>
              <div className="dbMaxMinInfoRow">
                <h3>{'Valor mínimo de pot:'} </h3>{' '}
                <h3>{` ${minPotAfterSpline} @ ${minThetaAfterSpline}°`}</h3>
              </div>
            </div>
            <table className="dataTable">
              <thead>
                <th>N° </th>
                <th>Theta (°)</th>
                <th>Dist. Original</th>
                <th>Pot. Medida</th>
                <th>Pot. Estimada en Origen</th>
                <th>
                  Potencia Escalada en Distancia. Maxima:{' '}
                  {`${maxDistance} metros`}
                </th>
                <th>PotPredicted</th>
              </thead>
              <tbody>
                {thetaAfterSpline &&
                  thetaAfterSpline.map((column, i) => {
                    return (
                      <tr key={i}>
                        <td>{i}</td>
                        <td>{thetaAfterSpline[i].toFixed(3)}</td>
                        <td>{distancesAfterSpline[i].toFixed(3)}</td>
                        <td>{dbOriginalAfterSpline[i]}</td>
                        <td>{potTxEstimatedAfterSpline[i]}</td>
                        <td>{potDbScalAfterSpline[i]}</td>
                        <td>{potPredictedAfterSpline[i]}</td>
                      </tr>
                    )
                  })}
              </tbody>
            </table>
          </div>
        </div>
      </div>
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
      {okumuraErrorFlag && (
        <ErrorModal
          errorFlag={okumuraErrorFlag}
          message="Verificar los datos del modelo de Okumura"
          setErrorFlag={SetokumuraErrorFlag}
        />
      )}
      {okumuraErrorFlagPrediction && (
        <ErrorModal
          errorFlag={okumuraErrorFlagPrediction}
          message="Verificar datos para Predicción"
          setErrorFlag={SetokumuraErrorFlagPrediction}
        />
      )}

      <div className="mapParent">
        <h3 className="mapTitle">PROYECCIÓN EN MAPA:</h3>
        <Map
          latOrigenMap={latOrigenMap}
          lonOrigenMap={lonOrigenMap}
          theta={theta}
          potDbScal={potDbScal}
          coordState={coordState.validCoord}
          maxDistance={maxDistance}
          latCsv={latCsv}
          lonCsv={lonCsv}
        />
      </div>
    </div>
  )
}

```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 8: Perfil Económico

Material/Objeto	Cantidad (Unidad)	Precio Unitario (S/.)	Total (S/.)
Raspberry PI	1	350.00	350.00
GPS Module	1	200.00	200.00
HDMI cable	1	60.00	60.00
SDR RTL 2832	1	850.00	850.00
Antenas	1	500	500.00
Accesorios (Conectores SMA, cables, case)	1	350.00	350.00
Horas invertidas en desarrollo de sistema	500	30.00	15000.00
TOTAL			**S/. 17310**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis