

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

Diseño e implementación de una plataforma web para monitoreo y análisis de ocupación del espectro radioeléctrico utilizando radios definidos por software

Diego Andrés Ardila Ariza

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Electrónico

Director

Johan Leandro Tellez Garzon

PhD. Ingeniero Telecomunicaciones

Codirector

Omar Javier Tijaro Rojas

PhD. Ingeniero Electrónico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Electrónica

Bucaramanga

2025

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo, en primer lugar, a Dios, por ser mi faro en las noches oscuras, por sostenerme en los momentos más difíciles y por darme la fuerza necesaria para salir adelante.

A mi madre, Carolina Ariza, y a mi abuela, Blanca Guiza, quienes han sido las dos personas que siempre creyeron en mí y apoyaron cada una de mis ideas. Este logro, fundamentalmente, es de ellas, pues sin su amor, apoyo incondicional y guía, no habría sido posible.

A mi abuelo Pacho, quien, aunque ya no nos acompaña en esta vida, siempre me brindó su apoyo desde el inicio, guiándome con sabiduría y afecto. Sé que, desde donde esté, continúa cuidándome.

A mi tío Leo, quien ha sido como un padre para mí. Gracias por guiarme con paciencia, por enseñarme a aprender de mis errores y por mostrarme el valor de ser un buen hombre.

A todos ellos, gracias. Porque sin su presencia, no sería el hombre en el que me he convertido. Me dieron mucho más que palabras: me dieron carácter, me enseñaron a soñar, a ser libre, a levantarme en los días de tormenta y a agradecer los días soleados.

Agradecimientos

Agradezco de manera muy especial a mis directores de tesis, los ingenieros Johan Leandro Téllez Garzón y Omar Javier Tijaro Rojas, por su guía, compromiso y paciencia a lo largo de este proceso. Gracias por compartir su conocimiento con generosidad, por orientarme en los momentos de incertidumbre y por acompañarme con dedicación desde el inicio hasta la culminación de este proyecto. Su experiencia y apoyo constante fueron clave para el desarrollo académico y técnico de este trabajo, así como para mi crecimiento profesional.

También deseo expresar mi sincero agradecimiento al profesor Efrén, por su disposición, por enseñarme con paciencia y por confiar en mí incluso cuando tuve dudas o dificultades. Su acompañamiento ha sido una fuente de motivación, y sus palabras de aliento me ayudaron a seguir adelante en los momentos más retadores. Agradezco profundamente su comprensión, su actitud cercana y su apoyo en cada etapa de mi formación.

Tabla de Contenido

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. OBJETIVOS	3
1.1 Objetivo General	3
1.2 Objetivos Específicos.....	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Espectro Electromagnético	4
2.2 Espectro Radioelectrico	4
2.2.1 División de frecuencia y Banda.....	5
2.2.2 Clasificación de servicios.....	5
2.2.2.1 Radiodifusión sonora	5
2.2.2.2 Televisión.....	6
2.3 Parámetros del sistema.....	6
2.3.1 Principios de muestreo	6
2.3.2 Resolución de la medición	7
2.3.3 Configuración de umbrales de detección.....	8
2.3.4 Densidad espectral de potencia (PSD).....	8
2.4 Radio definido por Software (SDR)	10
2.4.1 USRP 2920.....	10
2.4.2 HackRF	10
2.4.3 RTL-SDR-V3.....	10

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

2.5 Diseño y desarrollo de aplicación web	10
2.5.1 Flask.....	11
2.5.2 HTML	11
2.5.3 Bootstrap.....	11
3. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	11
3.1 Características SDR	12
3.2 Arquitectura del sistema.....	13
3.3 Flujograma GNU Radio.....	14
3.3.1 Diseño y construcción de sistema de procesamiento de señales.....	15
3.3.1.1 NumPy	16
3.3.1.2 PostgreSQL.....	16
3.3.2 Flujograma recepción única.....	16
3.3.3 Flujograma recepción constante.....	17
3.4 Esquema de navegación del usuario	19
3.5 Requerimientos de presentación de informe.....	20
3.6 Pruebas y validaciones	21
3.6.1 Recepción y visualización de señales simuladas.	21
3.6.2 Detección de emisiones no autorizadas	21
4. RESULTADOS.....	21
4.1 Selección de SDR.....	22
4.2 Creación de la estructura de la plataforma web	22
4.3 Front-end y Back-End de la plataforma web	24

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

4.3.1 Menú principal y de visualización	24
4.3.2 Flujogramas de GNU Radio.....	26
4.3.3 Creación de reportes.....	27
4.4 Pruebas y validaciones.....	30
4.4.1 Recepción de señales generadas	30
4.4.2 Detección de emisiones y señal generada.....	33
4.4.3 Detección de radiodifusión FM	34
4. CONCLUSIONES	39
5. RECOMENDACIONES.....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
APÉNDICES	43

Lista de Tablas

	Pág.
TABLA 1. Características de los sdr	13
TABLA 2. Características de la emisión generada.....	34
TABLA 3. Emisoras autorizadas en bucaramanga.....	35

Lista de Figuras

	Pág.
FIGURA 1. Muestreo de una señal.....	7
FIGURA 2. Densidad espectral de potencia de una onda binaria aleatoria.....	9
FIGURA 3. Arquitectura del sistema.....	14
FIGURA 4. Receptor basado en sdr (hill, 2025).....	15
FIGURA 5. Flujograma recepción única.....	17
FIGURA 6. Flujograma recepción constante.....	18
FIGURA 7. Jerarquía de herencia de plantillas.....	19
FIGURA 8. Estructura en visual studio code.....	23
FIGURA 9. Resultado final de páginas de navegación.....	25
FIGURA 10. Flujograma de gnu radio.....	27
FIGURA 11. Informe generado.....	28
FIGURA 12. PSD con los grupos identificados como ocupados.....	29
FIGURA 13. Resumen visual de ocupación en el informe.....	30
FIGURA 14. Configuración SMB 100A generador de señales.....	31
FIGURA 15. Visualizador del espectro.....	31
FIGURA 16. Instrumentos utilizados.....	32

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

FIGURA 17. Vista desde el analizador de espectro más señal generada.....	33
FIGURA 18. PSD registrada en la plataforma.....	34
FIGURA 20. Densidad espectral de potencia.....	37
FIGURA 21. Densidad espectral de potencia.....	37

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

Resumen

Título: Diseño e implementación de una plataforma web para monitoreo y análisis de ocupación del espectro radioeléctrico utilizando radios definidos por software

Autor: Diego Andrés Ardila Ariza

Palabras Clave: Espectro radioeléctrico, radio definida por software, monitoreo del espectro, SDR, análisis de ocupación, procesamiento de señales, plataforma web, visualización del espectro online.

Descripción: El crecimiento de las tecnologías inalámbricas ha incrementado la demanda del espectro radioeléctrico, recurso limitado y vital para las comunicaciones. La ausencia de herramientas accesibles y escalables dificulta la detección de emisiones ilegales y la gestión eficiente. En respuesta, se diseñó una plataforma web para monitoreo y análisis de la ocupación espectral utilizando SDR. El sistema captura y procesa datos en la banda FM (88–108 MHz) con un USRP 2920, integrando resultados en una interfaz Flask–PostgreSQL con gráficos, tablas e informes. La solución es modular, escalable y práctica para investigadores, entidades regulatorias y operadores de telecomunicaciones.

Trabajo de Grado.

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Johan Leandro Tellez Garzon, PhD Ingeniería Telecomunicaciones. Codirector: Omar Javier Tijaro Rojas, PhD en Ingeniería Electronica.

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

Abstract

Title: Design and Implementation of a Web Platform for Monitoring and Analyzing Spectrum Occupancy Using Software Defined Radios

Author: Diego Andrés Ardila Ariza

Key Words: radio spectrum, software defined radio, spectrum monitoring, SDR, occupancy analysis, signal processing, web platform, spectrum visualization online.

Description: The growth of wireless technologies has increased the demand for the radio spectrum, a limited and vital resource for communications. The lack of accessible and scalable tools hinders the detection of illegal emissions and efficient management. In response, a web platform was designed for monitoring and analyzing spectrum occupancy using SDR. The system captures and processes data in the FM band (88–108 MHz) with a USRP 2920, integrating results into a Flask–PostgreSQL interface with charts, tables, and reports. The solution is modular, scalable, and practical for researchers, regulatory entities, and telecommunications operators.

Degree Work

Faculty of Engineering Physicochemical, School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Electric Engineering. Director: Johan Leandro Tellez Garzon, PhD in Telecommunications Engineer. Codirector: Omar Javier Tijaro Rojas, PhD in Electronics Engineer.

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

Introducción

En la actualidad, la gestión eficiente del espectro radioeléctrico se ha convertido en un desafío fundamental ante el crecimiento acelerado de dispositivos inalámbricos y la constante expansión de tecnologías como 5G, redes Wi-Fi, Bluetooth y el Internet de las Cosas (IoT).

Este proyecto presenta una plataforma web para el monitoreo y análisis de ocupación del espectro radioeléctrico, utilizando tecnologías de radio definida por software (SDR) (Moroşanu, 2024). Esta solución brinda una herramienta moderna, flexible y de bajo costo que permite visualizar en tiempo real el estado del espectro en la banda FM (88–108 MHz), generar informes detallados y realizar análisis estadísticos para comprender el comportamiento espectral en diferentes franjas horarias y ubicaciones geográficas.

Este proyecto se fundamenta en estudios previos realizados en instituciones como MIT, Stanford y la Universidad de Cambridge, donde se ha demostrado la eficacia de integrar SDR con interfaces web para el análisis espectral ((ITU), 2020). Dichos proyectos han resaltado las ventajas de esta tecnología: flexibilidad de configuración, capacidad de captura multibanda, análisis en tiempo real y posibilidad de automatización. Estos antecedentes respaldaron la pertinencia del presente estudio y lo posicionan dentro de un marco de innovación tecnológica en el monitoreo radioeléctrico.

La metodología empleada para abordar este problema se basó en el uso de un dispositivo USRP 2920 y el SDR-RTL V3, junto con algoritmos de procesamiento digital de señales (DSP) y técnicas de barrido espectral secuencial. La información recolectada se integró en una plataforma web desarrollada con tecnologías como Flask, PostgreSQL y Bootstrap, que

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

permitieron almacenar, visualizar y analizar los datos recolectados, además de generar informes en PDF de forma automatizada.

Desde los ámbitos social y técnico, la relevancia de este proyecto se fundamenta en la capacidad de la herramienta para influir de manera significativa en la regulación del espectro, impulsar la investigación académica, fortalecer la vigilancia de emisiones ilegales, optimizar la planeación de redes inalámbricas y mejorar la gestión del entorno radioeléctrico urbano. La plataforma beneficia a entidades gubernamentales, investigadores, operadores de telecomunicaciones y universidades, al proporcionar una solución que permite visualizar en tiempo real el uso del espectro y facilita la toma de decisiones fundamentadas.

Al combinar SDR, algoritmos DSP y visualización web en un entorno accesible y escalable, el proyecto demuestra que es posible realizar monitoreo continuo y distribuido sin recurrir a sistemas propietarios costosos ni a infraestructuras complejas.

La plataforma alcanzó una precisión del 82% en la detección de emisiones de radiodifusión FM, validada contra el registro oficial de emisoras de Bucaramanga; opera de forma continua procesando más de 1 000 barridos diarios sin intervención manual, lo que facilita estudios longitudinales de ocupación y su arquitectura, basada en SDR comerciales y software libre, recortó los costos de implementación respecto a analizadores de espectro dedicados; y genera automáticamente informes PDF con gráficos de ocupación y tablas de porcentaje por grupo en menos de cinco segundos, agilizando así la toma de decisiones técnicas y regulatorias.

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar una plataforma web para monitorear y analizar la ocupación de diversas bandas del espectro radioeléctrico utilizando radio definida por software (SDR).

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar las características técnicas de los sistemas de radio definida por software (SDR) disponibles en el laboratorio de comunicaciones, con el fin de establecer las bandas de operación más adecuadas y los espacios físicos óptimos para su instalación.
- Desarrollar algoritmos de procesamiento digital de señales que integren el dispositivo USRP 2920 con antenas de banda ancha, permitiendo calcular de manera continua la ocupación espectral en bandas específicas del espectro radioeléctrico.
- Implementar una plataforma web funcional que integre una base de datos estructurada con la información obtenida desde el USRP 2920, permitiendo la visualización en tiempo real y la generación de reportes estadísticos para el usuario.
- Analizar los resultados obtenidos durante la operación del sistema con el fin de verificar su funcionalidad, rendimiento y precisión, así como para evaluar la ocupación espectral en el entorno radioeléctrico de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

2. Marco teórico

2.1 Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético abarca todas las frecuencias posibles de la radiación electromagnética, desde las ondas más largas como las de radio, hasta las más cortas como los rayos gamma. Estas ondas son el resultado de la oscilación de campos eléctricos y magnéticos, y se propagan a través del vacío o medios materiales a la velocidad de la luz. Dentro de este espectro se encuentran distintas regiones clasificadas según su frecuencia, cada una con usos específicos, como la comunicación inalámbrica, la observación astronómica o la medicina.

La porción más utilizada para comunicaciones se conoce como espectro radioeléctrico, que se extiende desde los 3 kHz hasta aproximadamente los 300 GHz, e incluye todas las aplicaciones inalámbricas: radiodifusión, telefonía, redes Wi-Fi, televisión y sistemas de navegación (Agencia Nacional de Espectro(ANE), 2021.).

2.2 Espectro Radioelectrico

Esta franja del espectro se reserva exclusivamente para el envío y recepción de señales inalámbricas. Es un recurso estratégico y finito que requiere de regulación y planificación adecuada para evitar interferencias entre servicios. En Colombia, su administración recae sobre la ((ANE), 2021)), en coordinación con el MinTIC, quienes establecen políticas, normas y parámetros técnicos.

2.2.1 División de frecuencia y Banda

El espectro radioeléctrico se organiza en bandas, las cuales se diferencian por su comportamiento físico y sus aplicaciones. A modo de ejemplo, las bandas más bajas como VLF y LF se emplean en comunicaciones marítimas, mientras que VHF y UHF son ampliamente usadas en FM, televisión y redes móviles. Esta clasificación por rangos facilita su asignación y aprovechamiento por parte de múltiples servicios.

2.2.2 Clasificación de servicios

Los servicios radioeléctricos se categorizan según el tipo de aplicación que desarrollan: servicios fijos (como enlaces punto a punto), móviles (celular, aeronáutico, marítimo), satelitales, científicos, entre otros. Dos de los más relevantes para esta investigación son:

2.2.2.1 Radiodifusión sonora. Se trata del servicio dedicado a la transmisión de contenido de audio (como música o noticias) mediante ondas electromagnéticas. En Colombia, la banda FM de 88 a 108 MHz es empleada por emisoras autorizadas para prestar este servicio. La alta concentración de emisoras en esta banda hace necesario monitorear su uso para detectar posibles interferencias o emisiones no autorizadas.

2.2.2.2 Televisión. La televisión abierta, tradicionalmente transmitida en VHF y UHF, avanza en Colombia hacia la Televisión Digital Terrestre (TDT). La transición digital libera el segmento 698–806 MHz (banda de 700 MHz) conocido como Dividendo Digital, identificado por la ANE y el MinTIC para futuros servicios IMT y otras asignaciones (ANE, 2019). Según el cronograma oficial, el apagón analógico inicia el 30 de marzo de 2025 y culminará gradualmente hasta 2026, lo que refuerza la necesidad de vigilar el uso de los espacios liberados.

2.3 Parámetros del sistema

Para garantizar un monitoreo efectivo del espectro, se deben configurar adecuadamente distintos parámetros técnicos que definen la calidad y exactitud de la medición.

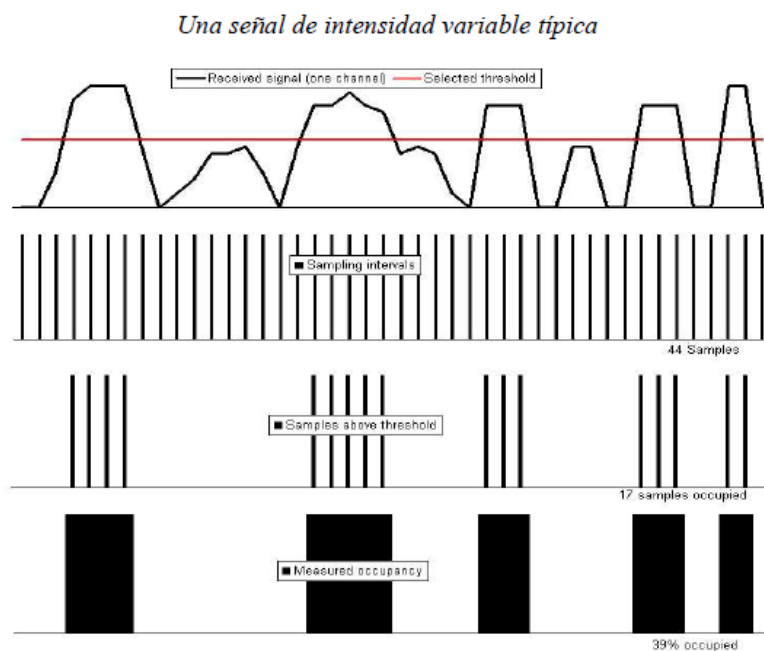
2.3.1 Principios de muestreo

El teorema de Nyquist-Shannon establece que una señal banda-limitada $x(t)$ cuyo espectro está confinado a $|f| \leq f_{\max}$ puede reconstruirse sin pérdida si la frecuencia de muestreo cumple $f_s \geq 2f_{\max}$ (criterio de Nyquist), es decir, con un período $T = 1/f_s \leq 1/(2f_{\max})$; de lo contrario, las réplicas $X(f + k f_s)$ de su transformada $X(f)$ se solapan y generan aliasing. La reconstrucción ideal se expresa mediante la serie de sinc: $x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot \text{sinc}(\pi(t-nT)/T)$, donde $x[n] = x(nT)$. Para señales complejas IQ típicas de SDR basta $f_s \geq B$, siendo B el ancho de banda ocupado. Para sobre muestreo se adopta $f_s = M \cdot 2f_{\max}$ ($M > 1$) a fin de simplificar el filtro antialias y mejorar la SNR tras decimación; en muestreo paso-banda se aplica $(2f_c - B)/m \leq f_s \leq (2f_c + B)/(m + 1)$. Estos principios se reflejan en el ejemplo aportado en la figura 1 al muestrear una traza analógica 44 veces, solo 17 valores superan un umbral de detección, indicando una ocupación espectral del 39 %; si f_s , el tamaño de la FFT ($\Delta f = f_s/N$) o el umbral

fuesen inadecuados, aparecerían alias o subdetección y la estimación de actividad sería errónea, lo que subraya la importancia de diseñar cada etapa conforme al criterio de Nyquist.

Figura 1.

Muestreo de una señal



Nota: Imagen sacada de Monitoreo del espectro radioelectrico (Espectro (ANE)., 2012)

2.3.2 Resolución de la medición

La resolución espectral está determinada por la configuración del número de muestras procesadas y la frecuencia de análisis (Espectro (ANE). 2012). Una resolución más fina permite

observar señales muy cercanas en frecuencia, lo cual es esencial en ambientes donde múltiples emisoras operan con separación mínima.

2.3.3 Configuración de umbrales de detección

La identificación de una señal dentro del espectro depende de la correcta selección de un umbral que distinga ruido de emisión activa. Este umbral se establece calculando el nivel promedio del ruido y añadiendo un margen adicional (generalmente entre 6 y 10 dB) (Espectro (ANE). 2012), lo que permite al sistema detectar señales reales con mayor certeza.

2.3.4 Densidad espectral de potencia (PSD)

La densidad espectral de potencia (PSD, por sus siglas en inglés) de un proceso aleatorio estacionario proporciona una descripción en el dominio de la frecuencia sobre cómo se distribuye la potencia del proceso a través del espectro. Esta herramienta es esencial para analizar señales en sistemas de comunicación, ya que permite entender cómo se comporta la energía de una señal a lo largo de distintas frecuencias.

Definición (Haykin, 2021).

Sea $X(t)$ un proceso aleatorio estacionario. Su densidad espectral de potencia se define como la transformada de Fourier de la función de autocorrelación $R_x(\tau)$:

$$S_x(f) = \int R_x(\tau) \exp(-j2\pi f\tau) d\tau$$

Para un proceso aleatorio $X(t)$ estacionario en sentido amplio (WSS), la función de autocorrelación se define, de forma directa y sencilla, como el valor esperado del producto de la señal con una versión desplazada en el tiempo de sí misma:

$$R_x(\tau) = E[X(t)X^*(t + \tau)]$$

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

Donde τ es el retardo, $E[\cdot]$ denota el operador esperanza y el asterisco $(\cdot)^*$ indica conjugado complejo (si la señal es real, el conjugado se omite). Esta expresión captura, en términos probabilísticos, qué tan similar es la señal a sí misma cuando se desplaza τ unidades de tiempo, y sirve como punto de partida para relacionar la potencia de la señal en el dominio del tiempo con la densidad espectral de potencia en el dominio de la frecuencia mediante la Transformada de Fourier.

Ejemplo: Onda binaria aleatoria

Sea un proceso binario que transmite unos y ceros como pulsos rectangulares de duración T y amplitud A . La función de autocorrelación es triangular, y su densidad espectral de potencia es:

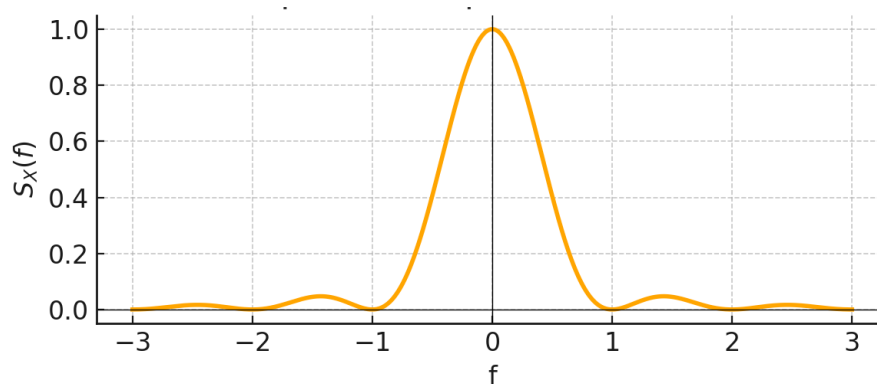
$$S_x(f) = A^2 T^2 \cdot \text{sinc}^2(fT)$$

Alternativamente, en función de la densidad espectral de energía del símbolo $g(f)$, se tiene:

$$S_x(f) = E g(f) / T$$

Figura 2.

Densidad espectral de potencia de una onda binaria aleatoria



2.4 Radio definido por Software (SDR)

Los sistemas SDR transforman componentes físicos tradicionales de radio (como mezcladores o filtros) en módulos digitales controlados por software. Esto permite reconfigurar el sistema para analizar múltiples frecuencias y tipos de señal sin alterar su hardware, aumentando significativamente su versatilidad.

2.4.1 USRP 2920

Equipo profesional desarrollado por Ettus Research (Research, 2025), compatible con herramientas como GNU Radio. Opera desde los 50 MHz hasta 2.2 GHz y permite un ancho de banda instantáneo de hasta 25 MHz.

2.4.2 HackRF

Es un equipo SDR (Gadgets, s.f.) de bajo costo con cobertura de 1 MHz a 6 GHz. A pesar de su simplicidad, es útil para tareas de exploración general del espectro y pruebas experimentales.

2.4.3 RTL-SDR-V3

Originalmente un receptor de televisión digital, este dispositivo ha sido modificado para funcionar como SDR (SDR RTL V3, s.f.) de bajo costo. Aunque su rendimiento es limitado, es ampliamente usado en aplicaciones educativas y experimentales (Yagoub, 2022).

2.5 Diseño y desarrollo de aplicación web

Para permitir el acceso, análisis y visualización remota de los datos espectrales, se desarrolló una plataforma web utilizando tecnologías ligeras y de código abierto.

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

2.5.1 Flask

Es un framework para desarrollo de aplicaciones web en Python. Su estructura modular permite construir el backend de un sistema, donde se gestionan datos, se generan respuestas y se administran las consultas hacia una base de datos (Flask, 2024).

2.5.2 HTML

Lenguaje encargado de estructurar los elementos visuales de la interfaz del usuario. Se utilizó para organizar gráficamente la información y los controles interactivos (HTML: Lenguaje de etiquetas de hipertexto, 2023).

2.5.3 Bootstrap

Este framework facilita la creación de sitios web adaptativos y organizados. Se utiliza para construir el dashboard, menús laterales, tarjetas y cuadros de información que presentan datos recolectados de un proyecto y que el usuario cliente los pueda visualizar, organizar, pedir informes, entre otras actividades.

3. Desarrollo metodológico

Con el propósito de desarrollar de manera efectiva la plataforma de monitoreo del espectro radioeléctrico y cumplir con los objetivos propuestos en este proyecto, se implementaron diversas estrategias de desarrollo que combinan tecnologías tanto del lado del cliente como del servidor. Para la construcción de la interfaz gráfica se empleó HTML, permitiendo estructurar visualmente los componentes de la aplicación web. En cuanto al

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

procesamiento y lógica del sistema, se utilizó Flask como framework para el desarrollo del backend, facilitando la gestión de datos, la integración con la base de datos y la generación dinámica de contenidos.

Adicionalmente, se realizó una comparación entre diferentes dispositivos SDR (Software Defined Radio) con el fin de seleccionar la opción más adecuada para los requerimientos técnicos del sistema. Esta evaluación consideró aspectos como el rango de frecuencias, sensibilidad, resolución espectral, costo y facilidad de integración con herramientas de procesamiento.

3.1 Características SDR

A partir de características fundamentales como los rangos de frecuencia, anchos de banda instantáneos, resoluciones ADC y capacidades RX/TX que dimensiona la capacidad que necesita un dispositivo de Radio Definida por Software, y qué tan complejas pueden ser las señales que procesan; resalta la estabilidad de reloj, presencia de GPSDO el cual es un oscilador disciplinado por GPS que se usa para georreferenciar los SDR y asegurar la misma sincronización temporal y frecuencial en cada equipo, el nivel de ruido de fase para evidenciar la precisión que cada equipo aporta a mediciones espectrales o interferometría; se detallan la conectividad y la compatibilidad con GNU Radio para anticipar el esfuerzo de integración en los flujos existentes; e incluye tamaño y grado de soporte para ponderar portabilidad, curva de aprendizaje y costo efectivo. En la tabla 1 se muestra un comparativo entre tres dispositivos que tienen objetivos similares pero distintas características, que son importantes para seleccionar los sistemas.

TABLA 1. Características de los SDR

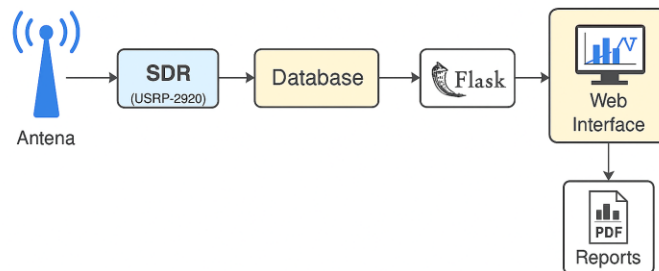
Parámetro	RTL-SDR V3	HackRF One	USRP 2920
Fabricante	RTL-SDR Blog	Great Scott Gadgets	Ettus Research (National Instruments)
Tipo de operación	Solo recepción	recepción y transmisión	recepción y transmisión
Rango de frecuencias	500kHz– 1.75Ghz	1MHz – 6 GHz	50Mhz – 2.2GHz
Resolución ADC	8 bits	8bits	16 bits
Ancho de banda instantáneo	2.4MHz	Hasta 20MHz	Hasta 25MHz
Conectividad	USB 2.0	USB 2.0	Ethernet / USB 3.0
Compatibilidad con GNU Radio	Requiere librerías RTL-SDR	Nativa	Nativa
Estabilidad de reloj	Cristal	TCXO	Reloj de precision
GPSDO / ref externa	No	No	Si
Ruido de fase / Ruido de fondo	Alto	Medio	Bajo (ideal para mediciones precisas)
Tamaño	Muy compacto	Compacto	Grande
Documentación y soporte	Comunidad activa	Documentación oficial y comunidad activa	Documentación profesional y soporte técnico

3.2 Arquitectura del sistema

La figura 3 muestra la arquitectura general que se va a usar dentro del sistema donde el USRP 2920 captura todas las señales de radio disponibles, estas señales se transmiten a una base de datos postgresSQL el cual almacena los datos en el equipo local se crea un servidor desde el dispositivo con flask para Python, flask es un framework web escrito en Python que no requiere herramientas ni bibliotecas específicas, flask nos permite enviar y recibir datos al mismo tiempo haciendo que este nos pueda hacer cambiar el tipo de rango de frecuencia que recibimos en cada momento.

Figura 3.

Arquitectura del sistema



Nota. Este diagrama muestra la cadena completa del sistema desde la señal captada por la antena, recibida en el SDR, donde se digitaliza y se envía a GNU Radio para el barrido espectral y el cálculo del piso de ruido. Los datos procesados se almacenan en la base de datos PostgreSQL, desde donde el servidor Flask los consulta para generar gráficos, tablas e informes PDF. Finalmente, el web service expone estos resultados a la interfaz Bootstrap, permitiendo al usuario visualizar y descargar los reportes en tiempo real.

3.3 Flujograma GNU Radio

GNU Radio facilita la creación de flujogramas para el procesamiento de señales mediante la conexión modular de bloques funcionales que aplican operaciones como la Transformada Rápida de Fourier (FFT), el cálculo de magnitud, la estimación de densidad espectral de potencia y la visualización en tiempo real. Esta arquitectura gráfica acelera el desarrollo de sistemas de adquisición y análisis de señales, pues cada bloque se configura de forma intuitiva y puede reutilizarse en distintos escenarios experimentales. Para garantizar resultados coherentes y

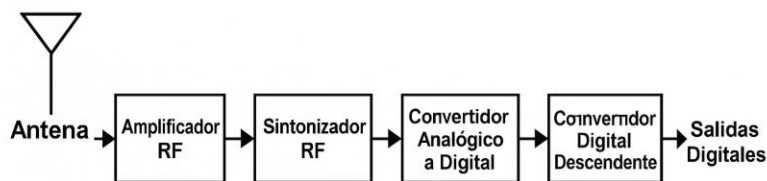
reproducibles es indispensable recorrer tres etapas claves: diseño y construcción del sistema, programación de flujogramas para recepción única y programación de flujogramas para recepción constante.

3.3.1 Diseño y construcción de sistema de procesamiento de señales

Esta sección del sistema recibe las señales mediante la cadena de adquisición del receptor SDR. El sintonizador RF desplaza la banda de interés a una frecuencia central F_c que queda dentro del rango que el ADC puede digitalizar de forma instantánea (figura 4). Dicho convertidor impone un ancho de banda instantáneo máximo igual a su frecuencia de muestreo F_s , por lo que solo “ve” $\pm F_s/2$. Para cubrir un rango mayor, desde F_{inicial} hasta F_{final} , se realiza un barrido en pasos cuyas posiciones se ubican en $F_{\text{inicial}}+F_s/2$, $F_{\text{inicial}}+2F_s/2 \dots F_{\text{final}}-F_s/2$. En cada paso se captura la señal, se aplica la FFT para obtener la PSD y finalmente, los resultados solapados se concatenan, construyendo una instantánea panorámica de toda la banda sin necesidad de un ADC ultrarrápido.

Figura 4.

Receptor basado en SDR (Hill, 2025)



PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

3.3.1.1 NumPy. Librería de Python optimizada para manejar vectores y matrices. Se utilizó para cálculos matemáticos sobre los datos espectrales, como medias, potencias y umbrales.

3.3.1.2 PostgreSQL. Sistema de gestión de bases de datos relacional, robusto y escalable. Aquí se almacenaron los resultados del monitoreo espectral, organizados por fecha, frecuencia y ubicación, facilitando la recuperación eficiente de datos para su análisis.

3.3.2 Flujograma recepción única

En la Figura 5 se observa el flujograma general del sistema en su modo de recepción única, el cual ilustra el proceso completo desde la adquisición de señales hasta la visualización de resultados e informes. El flujo inicia en la antena, que capta señales del entorno dentro del rango de frecuencias establecido, su digitalización a partir del dispositivo SDR, el cual opera con los parámetros definidos previamente (frecuencia central, ganancia, resolución espectral, etc.). La información adquirida se envía a un script en Python, que consulta una cola de solicitudes almacenadas en la base de datos PostgreSQL. Esta cola contiene los rangos de frecuencia pendientes por escanear. Si se encuentra una tarea activa, se ejecuta un único barrido en dicho rango, se realiza el procesamiento correspondiente (como cálculo de potencia y PSD), y los resultados se almacenan nuevamente en la base de datos.

Figura 5.

Flujograma recepción única



Posteriormente, la API desarrollada en Flask permite que estos datos sean consultados desde una interfaz web responsiva. Allí, el usuario puede visualizar la ocupación espectral, explorar gráficas y generar informes en PDF que resumen el comportamiento del espectro en ese barrido específico. Esta arquitectura modular asegura la eficiencia en tareas individuales de muestreo y análisis.

3.3.3 *Flujograma recepción constante*

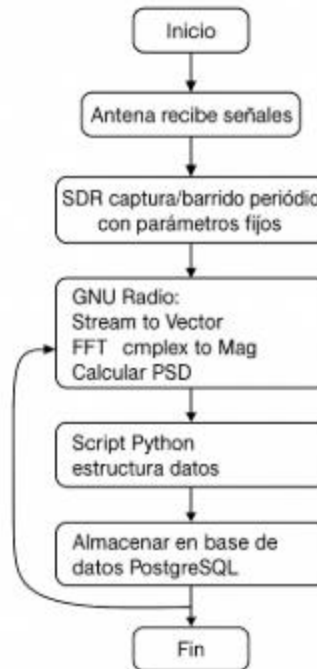
En la Figura 6 se presenta el flujograma del sistema operando en modo de recepción constante. A diferencia del modo anterior, este esquema no depende de consultar solicitudes

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

específicas en la base de datos, ya que su propósito principal es realizar capturas de forma continua y almacenar los resultados automáticamente.

Figura 6.

Flujograma recepción constante



El proceso inicia con la antena, que recibe señales electromagnéticas del entorno en un rango de frecuencias previamente definido. Estas señales son convertidas en datos digitales mediante el dispositivo SDR (Software Defined Radio), configurado para realizar barridos periódicos con parámetros fijos.

A continuación, un bloque de procesamiento en GNU Radio aplica transformaciones a la señal: conversión a vector, ejecución de la FFT, cálculo de magnitud y estimación de la densidad

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

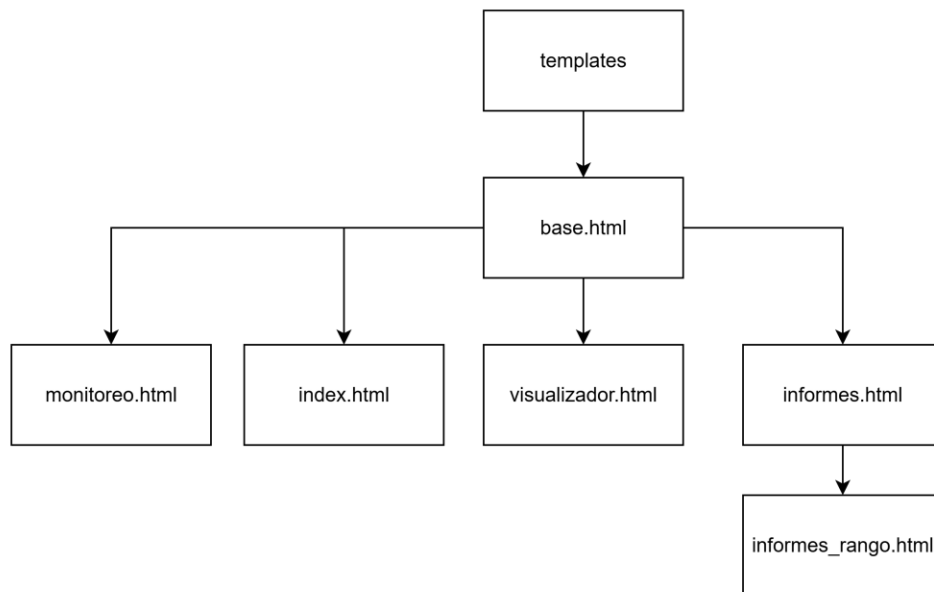
espectral de potencia (PSD). Luego, un script en Python recibe los datos procesados y los estructura adecuadamente para su registro.

Finalmente, la información se almacena de forma continua en la base de datos PostgreSQL, donde queda disponible para ser consultada, visualizada y analizada desde la plataforma web desarrollada. Este modo de operación es ideal para tareas de vigilancia espectral ininterrumpida, análisis histórico y generación automática de informes de ocupación.

3.4 Esquema de navegación del usuario

Para estructurar la interfaz web se elaborarán plantillas que contemplen, al menos, los siguientes módulos, atributos y estructura jerárquica de la figura 7:

Figura 7. Jerarquía de herencia de plantillas



PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

- Base: En esta plantilla se definen los estilos que determinan la apariencia del sitio y se provee el diseño base que heredan las demás páginas.
- Inicio: Página principal que funciona como una presentación del proyecto que contiene un pequeño README con la descripción general, tecnologías utilizadas, objetivos y propósito de la herramienta.
- Panel de visualización: Página donde se muestran los barridos espectrales registrados. Incluye gráficos generados, filtros por fecha y una tabla de señales detectadas. Desde aquí se puede acceder a cada informe individual.
- Páginas de reportes: Permiten al usuario generar distintos tipos de informes de ocupación espectral con base en criterios temporales y estadísticos. Cada uno se apoya en rutas específicas del backend para cargar los datos necesarios.

3.5 Requerimientos de presentación de informe.

Para que el informe proyecte una imagen profesional y facilite la rápida interpretación de los resultados, debe incorporar al menos los siguientes elementos:

- Encabezado institucional: Logotipo o nombre de la entidad a la que se dirige el informe, más la fecha y la hora exactas de la campaña de medición.
- Listado de emisiones detectadas: Tabla que resuma, para cada señal, la frecuencia central, el ancho de banda, la ventana temporal de actividad y la potencia media registrada.
- Gráfico de densidad espectral de potencia (PSD): Representación en la que se resalten todos los grupos de señales identificados durante el barrido.

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

- Gráficas de ocupación espectral: Porcentaje de ocupación global respecto al barrido y completo, y una probabilidad condicional a partir de la ocupación encontrada.

3.6 Pruebas y validaciones

Esta sección se encarga de ver el correcto funcionamiento de la herramienta realizando pruebas y validaciones en laboratorio.

3.6.1 Recepción y visualización de señales simuladas.

Se inyecta una señal FM de prueba con ancho de banda y potencia conocidos. El sistema debe barrer la banda, detectar la transmisión y representarla con exactitud en el espectro, verificando así la fidelidad de la captura y la visualización.

3.6.2 Detección de emisiones no autorizadas

Se genera intencionadamente una señal “ilegal” dentro de un segmento libre de la banda FM. El barrido se ejecuta primero sin la emisión; transcurridos unos minutos se activa la señal y luego se apaga. La herramienta debe indicar con claridad el intervalo de tiempo en el que la transmisión estuvo activa, confirmando su capacidad para identificar emisiones fuera de licencia y registrar su duración.

4. Resultados

Se desarrolló una plataforma web compatible con Chrome y Safari que, siguiendo rigurosamente la metodología descrita desde el diseño del sistema de adquisición hasta las pruebas y validaciones, permite visualizar la densidad espectral de potencia en los rangos de frecuencia detectados y generar informes automatizados basados en los datos capturados.

4.1 Selección de SDR

En la comparación se ponderaron explícitamente la portabilidad, el precio, la frecuencia de muestreo/ancho de banda instantáneo y, como factor decisivo adicional, la estabilidad de reloj: el RTL-SDR V3, Ultra compacto y de coste mínimo, resulta perfecto para pruebas de recepción rápidas donde basta un cristal sencillo; el HackRF One, portátil y de precio intermedio, ofrece transmisión/recepción con hasta 20 MHz de banda útil, ideal para prototipos inalámbricos en campo; mientras que el USRP 2920, más voluminoso y costoso, compensa con 25 MHz de ancho de banda instantáneo, 16 bits de resolución y reloj disciplinable vía GPSDO, cualidades imprescindibles en experimentos de alta fidelidad que requieren bajo ruido de fase y exactitud absoluta.

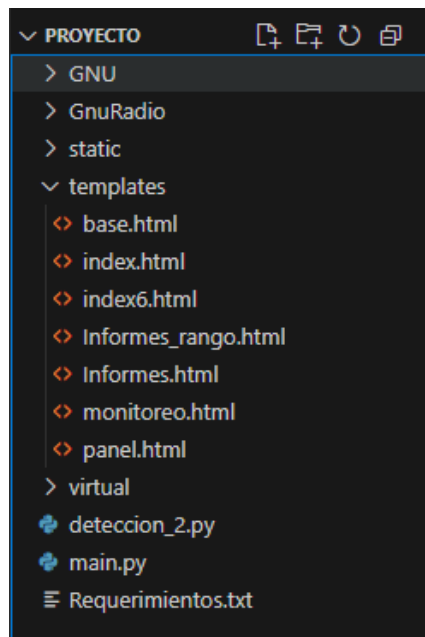
4.2 Creación de la estructura de la plataforma web

El desarrollo de la plataforma se llevó a cabo utilizando el framework Flask. Para ello, se utilizó Visual Studio Code como entorno de desarrollo, en conjunto con un entorno virtual basado en Conda, donde se instalaron todas las dependencias necesarias para el correcto funcionamiento del sistema (Verificar Apéndice B).

La organización del proyecto sigue una estructura modular y clara, como se presenta en la Figura 8, donde todo el código fuente se encuentra dentro del directorio raíz denominado PROYECTO.

Figura 8.

Estructura En visual studio code



A continuación, se describen sus principales componentes:

- **main.py:** Es el archivo principal del proyecto. Desde aquí se configura y ejecuta el servidor Flask. También se definen las rutas (routes) que conectan el frontend con el backend.
- **GNU/:** Carpeta que almacena los flujogramas de GNU Radio, utilizados para realizar los barridos espectrales. Dependiendo del tipo de recepción (única o constante), se invocan distintos flujos de procesamiento.
- **GnuRadio/:** Es el entorno virtual de GNU Radio, gestionado a través de Conda. Contiene todas las librerías y configuraciones necesarias para la ejecución local de los flujos de adquisición.

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

- `templates/`: Aquí se alojan todos los archivos `.html` de la interfaz web. Contiene vistas como el panel principal, la visualización de resultados y las páginas de informes, diseñadas con HTML y Bootstrap.
- `static/`: Carpeta dedicada a los archivos estáticos del proyecto. Incluye hojas de estilo CSS, archivos JavaScript, íconos, imágenes y configuraciones de diseño para la plataforma.

4.3 Front-end y Back-End de la plataforma web

La plataforma desarrollada para el monitoreo del espectro radioeléctrico está compuesta por una arquitectura cliente-servidor que permite la visualización, consulta y generación de informes a partir de datos espectrales. Esta arquitectura se divide en dos grandes componentes:

Front-end: Responsable de la interacción con el usuario, visualización de datos espectrales, paneles informativos y generación de informes.

Back-end: Encargado de la lógica del sistema, procesamiento de los datos recibidos desde GNU Radio, consultas a la base de datos y preparación de resultados estadísticos.

Ambas capas se comunican mediante rutas definidas en el framework Flask, que integran el servidor, los datos almacenados en PostgreSQL y la lógica de visualización web.

4.3.1 Menú principal y de visualización

Para la visualización de la plataforma Web, fue necesario construir diferentes páginas de navegación como se detalla a continuación:

Principal (Figura 9 a). Incluye un breve README del proyecto que explica su funcionamiento y las tecnologías empleadas en el desarrollo.

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

Visualización (Figura 9 b). Su función principal es la visualización del espectro: genera una gráfica y la actualiza dinámicamente según la señal seleccionada en la tabla.

Monitoreo (Figura 9 c). Permite crear las tareas de monitoreo que el usuario desee, dentro de los límites de las características de los SDR que se encuentren activos en la plataforma.

Figura 9.

Resultado final de páginas de navegación



a)

b)

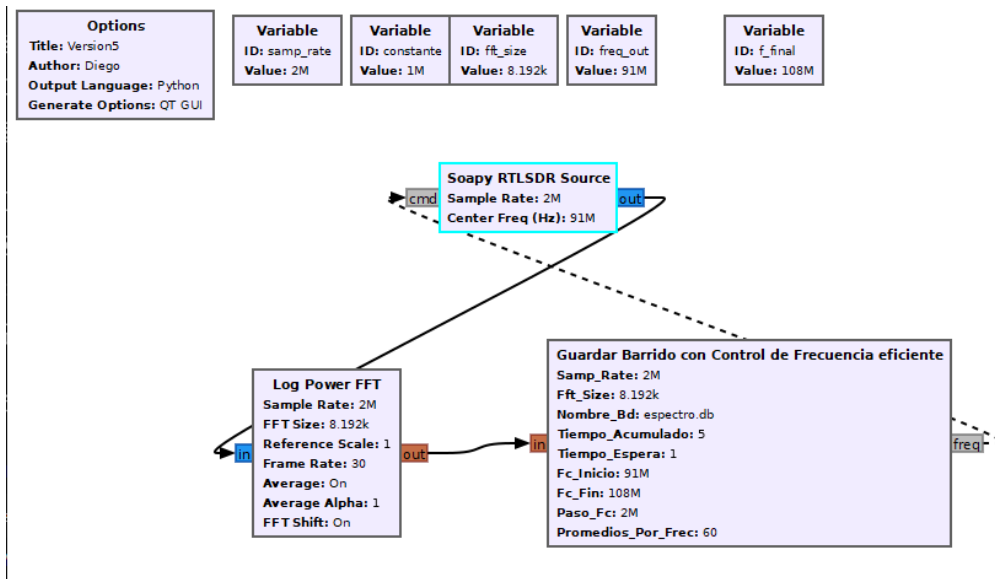
c)

4.3.2 Flujogramas de GNU Radio

El flujograma de GNU Radio (Figura 10) implementado para la recepción constante describe un proceso automático de barrido (Figura 6) dentro de un rango proporcionado que inicia en la antena conectada al Soapy RTL-SDR Source, configurado con una frecuencia de muestreo de 2 MS/s y un tamaño FFT de 8 192 puntos. Las variables globales definen el rango de trabajo (90 MHz–108 MHz por defecto) y el paso de sintonía de 2 MHz. La señal digitalizada se dirige al bloque Log Power FFT, donde cada vector resultante representa la densidad espectral de potencia (PSD) en dB. A continuación, un bloque Python personalizado llamado “Guardar Barrido con Control de frecuencia eficiente” recibe los vectores, promedia treinta observaciones por segmento y calcula estadísticas clave: potencia media, máximos, mínimos y piso de ruido. Este bloque también controla la sintonía: tras procesar los promedios, envía a la fuente RTL-SDR un mensaje PMT con la nueva frecuencia, avanzando secuencialmente en pasos de 2 MHz hasta cubrir el límite superior del barrido. Al completar la exploración, consolida los resultados en estructuras JSON y los almacena en una tabla de PostgreSQL, registrando para cada frecuencia la PSD, el tiempo de inicio y fin del barrido, así como la duración total. Luego, el sistema reinicia el ciclo tras un retardo programado de un segundo, garantizando capturas periódicas y consistentes.

Figura 10.

Flujograma de GNU Radio



4.3.3 Creación de reportes

El sistema de informes convierte automáticamente los datos espectrales almacenados en PostgreSQL en un documento técnico. Un ejemplo puede apreciarse en el archivo de muestra incluido en la aplicación (figura 11).

Portada y metadatos: La primera página identifica la institución, el rango temporal analizado y la resolución de los barridos (244.14 Hz en la figura 11). Esto garantiza trazabilidad y uniformidad entre documentos.

Figura 11.

Informe generado

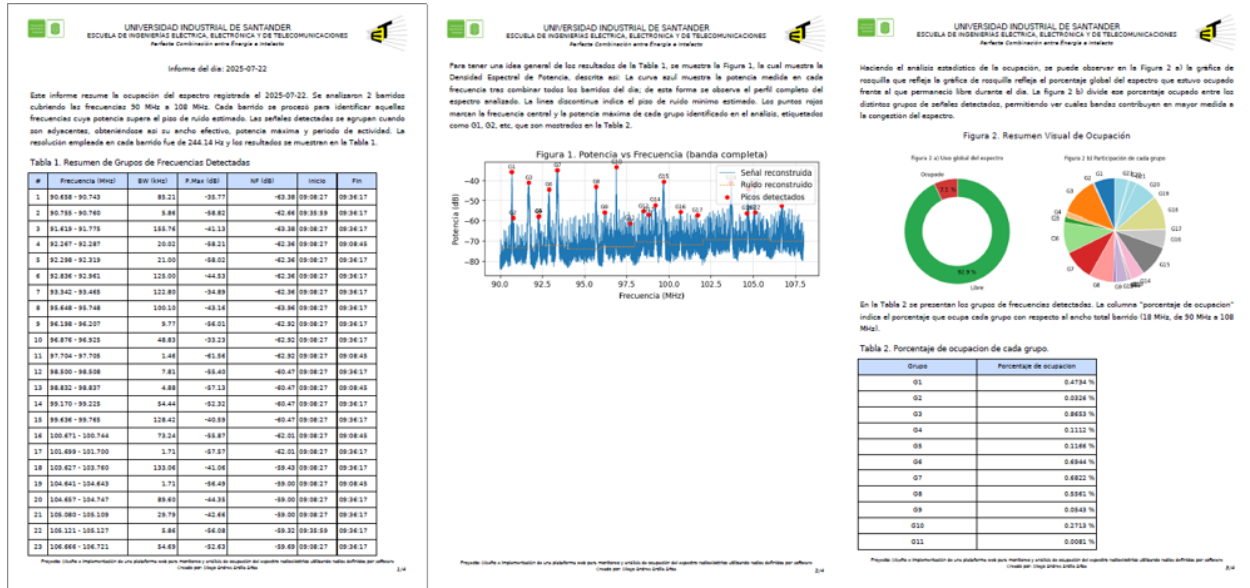


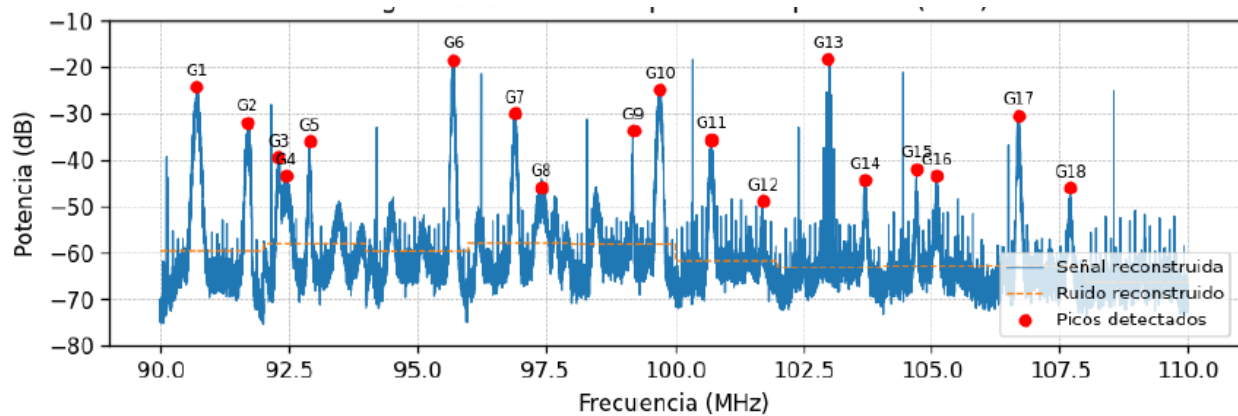
Tabla consolidada de emisiones: Seguidamente se presenta la tabla Resumen de Grupos de Frecuencias Detectadas, en la que cada fila corresponde a un grupo de bins consecutivos que superaron el umbral de ruido. Se muestran los límites de banda en MHz, el ancho de banda efectivo en kHz y la potencia máxima registrada, junto con las marcas de tiempo de inicio y fin de cada emisión. Esta tabla resulta de fusionar señales contiguas.

Reconstrucción de la PSD con los grupos identificados: La figura 12 presenta la densidad espectral de potencia (PSD) reconstruida para toda la banda monitoreada. A partir de la tabla consolidada de emisiones, se superpone la traza de potencia y se etiquetan cada uno de los grupos detectados (G1, G2, ... Gn). De este modo se visualizan simultáneamente la señal reconstruida, el piso de ruido estimado y los picos correspondientes a cada transmisión, lo que

proporciona una visión clara de la distribución espectral y de la intensidad relativa de cada emisión.

Figura 12.

PSD con los grupos identificados como ocupados



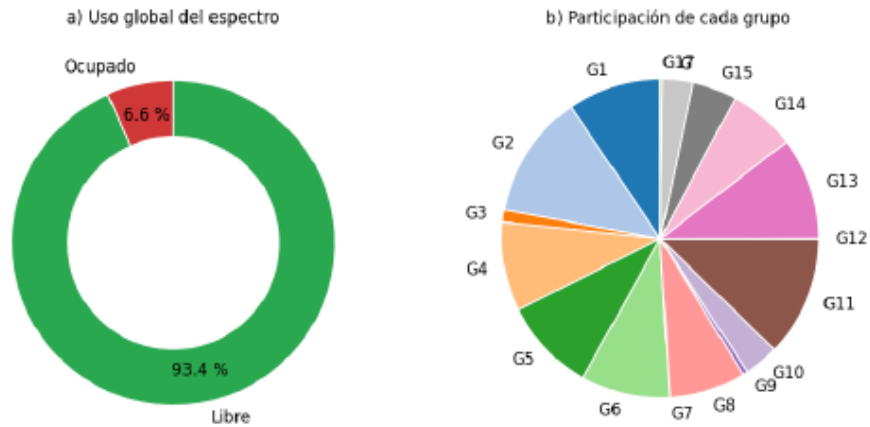
Visualización gráfica de ocupación: La Figura 13 muestra el gráfico de rosquilla que resume el porcentaje de banda ocupada frente a la banda libre, junto con un desglose por grupo (G1, G2, ...). Dicho gráfico se genera con Matplotlib a partir del ancho total ocupado y se incorpora al PDF mediante FPDF.

Proceso automatizado: Flask recibe la petición del usuario, filtra los datos por fecha y banda, y ejecuta cálculos estadísticos con NumPy.

Matplotlib produce la PSD promedio, histograma de potencias, heat-map tiempo \times frecuencia y la rosquilla de ocupación. FPDF ensambla portada, tabla y figuras en un único documento, que se guarda con un nombre sellado por fecha-hora y queda disponible para descarga inmediata.

Figura 13.

Resumen visual de ocupación en el informe



4.4 Pruebas y validaciones.

Siguiendo rigurosamente la metodología previamente establecida, se realizaron pruebas y validaciones sistemáticas para verificar el funcionamiento integral de la plataforma.

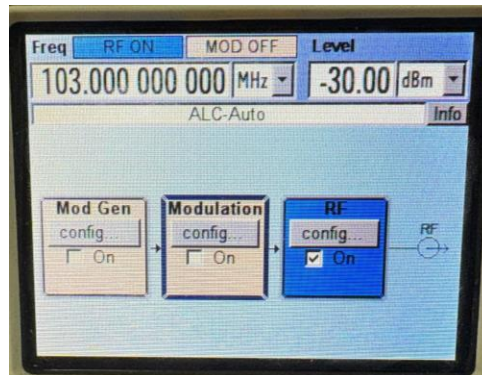
4.4.1 Recepción de señales generadas

Con la plataforma web operativa, se procedió a realizar una prueba consistente en generar una señal con un ancho de banda de 300 kHz mediante el generador de señales SMB100A, al que se le aplicó modulación FM, como se aprecia en la Figura 14.

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

Figura 14.

Configuración SMB 100A Generador de señales



La señal resultante se visualizó en el analizador de espectro (Figura 15 a), además se compara la visualización de la plataforma (Figura 15 b) y se muestran todos los instrumentos usados en esta validación (Figura 16).

Figura 15.

Visualizador del espectro.

a) Analizador de espectro



PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

b) Plataforma web desarrollada

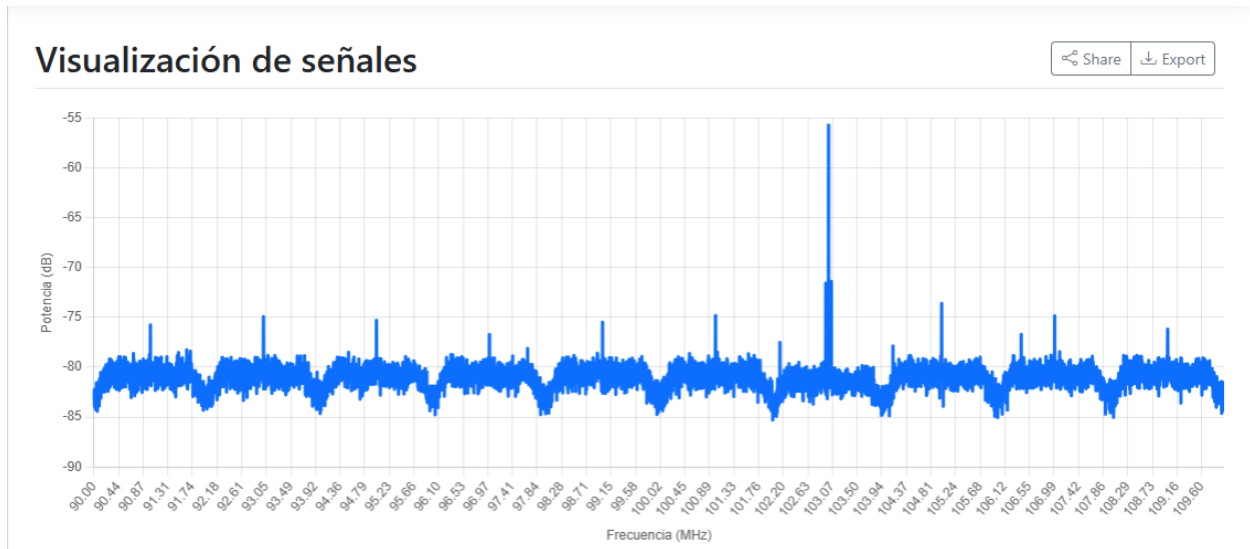


Figura 16.

Instrumentos utilizados



4.4.2 Detección de emisiones y señal generada

Durante el barrido espectral de 90 a 110 MHz se visualizó la actividad existente. Tras iniciar la recepción, se inyectó una señal de prueba en 103 MHz; el sistema la detectó de forma inmediata y la representó con precisión, sin perturbar las emisiones de radiodifusión FM autorizadas presentes en el mismo rango como muestra la figura 17 y esta muestra claramente cómo la plataforma distingue la portadora introducida de las emisoras legales, confirmando la sensibilidad del detector y la correcta discriminación de señales.

Figura 17.

Vista desde el analizador de espectro más señal generada



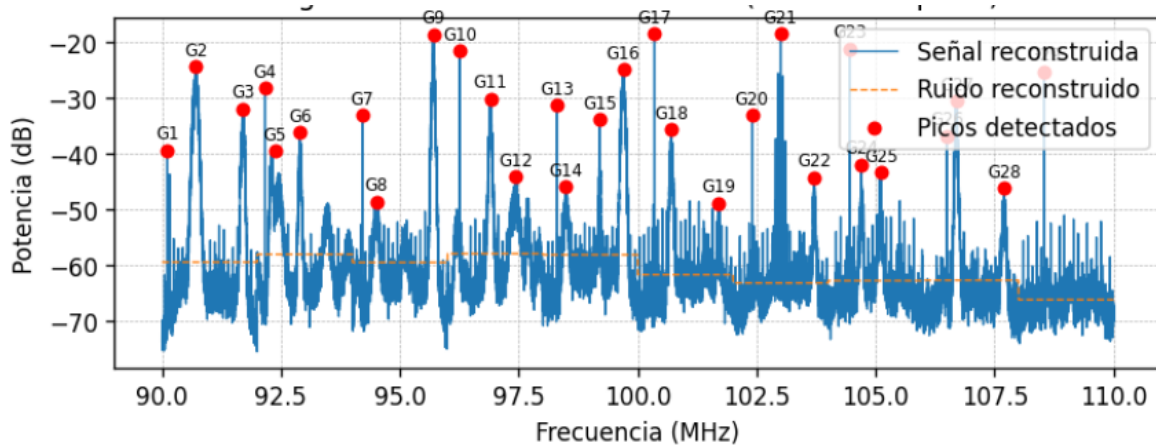
Una vez completado el barrido, se generó el informe correspondiente. El sistema identificó la banda analizada como ocupada y detalló sus principales características, tal como se aprecia en la Tabla 2. En la Figura 18 se muestra la PSD generada y el algoritmo asigna correctamente el Grupo 21 a la emisión detectada, la destaca en el espectro y la representa visualmente junto con el resto de las señales presentes

Tabla 2.
Características de la emisión generada

#	Frecuencia (MHz)	BW (kHz)	P. Max (dB)	Nf (dB)	Inicio	Fin
21	102.850 – 103.150	300.78	-18.40	-71.68	18:33:09	18:36:14

Figura 18.

PSD registrada en la plataforma



4.4.3 Detección de radiodifusión FM

Con base en la Tabla 3, se realiza el proceso de identificación de las señales captadas por la plataforma, con el objetivo de evaluar la calidad del sistema propuesto en la detección de emisoras que operan en la banda de Frecuencia Modulada (FM) en Bucaramanga.

Esta verificación permite comparar las frecuencias detectadas con el listado oficial de emisoras autorizadas en la región, evidenciando la efectividad del sistema en cuanto a

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

sensibilidad espectral, fidelidad de la reconstrucción y correcta asociación de frecuencias con sus respectivos operadores.

A continuación, se presenta la tabla con los datos de referencia de las principales emisoras FM que operan en Bucaramanga:

TABLA 3.
Emisoras autorizadas en Bucaramanga

Frecuencia (MHz)	Indicativo	Nombre	Cadena	RDS	Potencia (W)	Año de inicio	Detección dentro de la Plataforma
90.7	HJQ72	W Radio	Caracol Radio	SI	10.000	2013	Detectada
91.7	HJ093	Radio Policía Nacional	Policía Nacional de Colombia	NO	10.000	1997	Detectada
92.3	HJZM	Radio Nacional de Colombia	RTVC Sistema de Medios Públicos	SI	5.000	2010	Detectada
92.9	HJA87	Colombia Estéreo	Ejército Nacional de Colombia	NO	15.000	1999	Detectada
95.7	HJNH	Tropicana	Caracol Radio	SI	10.000	2014	Detectada
96.2	HJB91	Radio USTA	Universidad Santo Tomás	SI	10.000	2016	Detectada
96.9	HKW23	UIS FM	Universidad Industrial de Santander	SI	10.000	2003	Detectada
97.7	HJP23	Olímpica Stereo	Organización Radial Olímpica	NO	5.000	1979	Detectada

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

99.2	HJP29	Caracol Radio	Caracol Radio	NO	5.000	2013	Detectada
99.7	HJDY	La FM	RCN Radio	NO	10.000	2010	Detectada
100.7	HJC95	La Cultural	Instituto Municipal de Cultura y turismo de Bucaramanga	NO	10.000	1993	No Detectada
101.7	HJC99	Tu Radio UTS	Unidades Tecnológicas de Santander	NO	5.000	2013	No Detectada
102.5	HJQ66	La Mega	RCN Radio	NO	10.000	2008	NO Detectada
103.7	HJA83	El Sol	RCN Radio	NO	5.000	2020	Detectada
104.7	HJYF	Bésame	Caracol Radio	SI	5.000	2018	Detectada
105.1	HJU95	La Guapachosa	Independiente	SI	5.000	2021	Detectada
106.7	HJYC	Radio Uno	RCN Radio	NO	5.000	2008	Detectada

Nota: Las características de esta tabla fueron tomadas de (ANE, 2019) y (Wikipedia, s.f.)

A partir de la Tabla 3, se realiza la comparación con las emisoras listadas generadas en el informe como observamos en la figura 20, la cual representa el conjunto de señales de radiodifusión FM captadas durante un barrido en el rango de 90 a 110 MHz.

El análisis tiene como propósito identificar cuáles de las frecuencias detectadas por la plataforma corresponden efectivamente a emisoras autorizadas y registradas en Bucaramanga, y cuáles no se encuentran reflejadas en la tabla oficial. Además, se visualizan todas las emisiones dentro del espectro a través de la representación de la densidad espectral de potencia (figura 21), lo que permite contrastar la presencia de señales reales con la ocupación esperada del espectro en dicha banda.

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

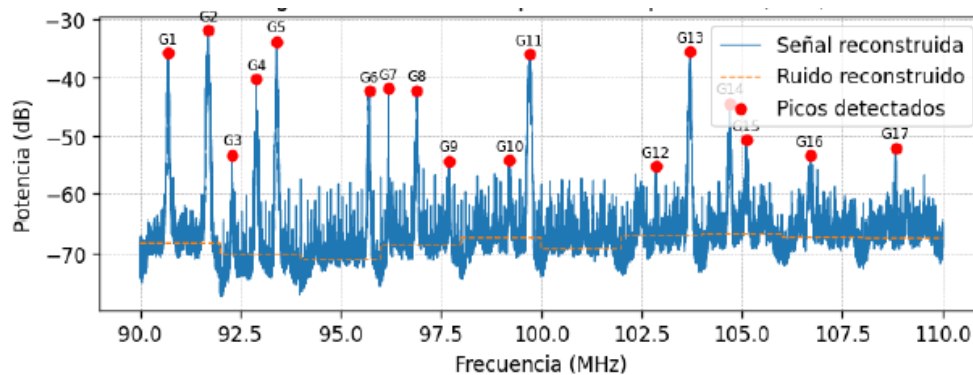
Figura 20.

Densidad espectral de potencia

#	Frecuencia (MHz)	BW (kHz)	P.Max (dB)	NF (dB)	Inicio	Fin
1	90.636 - 90.762	126.46	-35.82	-60.91	18:46:51	18:49:09
2	91.615 - 91.781	166.99	-31.89	-60.91	18:46:51	18:49:09
3	92.294 - 92.310	16.36	-53.27	-62.20	18:46:51	18:49:09
4	92.838 - 92.958	119.87	-40.26	-62.20	18:46:51	18:49:29
5	93.338 - 93.464	126.46	-33.85	-62.20	18:46:51	18:49:29
6	95.651 - 95.771	119.63	-42.35	-63.20	18:46:51	18:49:29
7	96.200 - 96.200	0.73	-41.92	-58.44	18:47:12	18:47:31
8	96.843 - 96.946	103.27	-42.20	-59.22	18:46:51	18:49:29
9	97.694 - 97.701	6.84	-54.33	-59.22	18:46:51	18:48:49
10	99.174 - 99.220	46.63	-54.15	-57.41	18:46:51	18:49:29
11	99.620 - 99.781	161.87	-36.03	-57.41	18:46:51	18:49:29
12	102.851 - 102.851	0.73	-55.25	-57.37	18:46:51	18:47:11
13	103.632 - 103.770	137.45	-35.62	-57.37	18:46:51	18:49:29
14	104.651 - 104.741	90.09	-44.50	-57.01	18:46:51	18:49:29
15	105.073 - 105.134	60.06	-50.79	-57.01	18:46:51	18:49:29
16	106.674 - 106.715	41.02	-53.45	-57.17	18:46:51	18:49:29
17	108.824 - 108.827	2.93	-52.08	-58.17	18:46:51	18:49:29

Figura 21.

Densidad espectral de potencia



PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

A partir de los resultados del sistema de monitoreo espectral, de la tabla 4 se identificaron 14 emisoras dentro del rango analizado, frente a las 17 emisoras legalmente registradas en Bucaramanga, lo que equivale a una confiabilidad del 82% esto debido que a lo largo de 20 días de seguimiento continuo con barridos ejecutados en distintos horarios, en cada jornada el sistema promedió la detección de 15 emisoras por monitoreo, lo que refuerza la consistencia y robustez del algoritmo bajo condiciones temporales variadas.

4. Conclusiones

Las herramientas de procesamiento digital de señales (barrido secuencial, FFT y cálculo de piso de ruido promedio) integradas con el backend y los gráficos de Matplotlib/Firebase ofrecen indicadores precisos de ocupación, duración y persistencia de emisiones. Los informes generados (PDF, gráficas de rosquilla, tablas de actividad) facilitan la identificación de bandas saturadas o subutilizadas, apoyando decisiones de gestión del espectro tanto para investigadores como para entidades reguladoras.

La plataforma web alcanzó una precisión del 82 % en la detección de emisoras de radiodifusión FM en Bucaramanga, impulsada por la alta relación señal-ruido y el ancho de banda relativamente amplio de estas señales; además, la mayoría de los barridos se realizaron durante la madrugada o la noche, cuando algunas estaciones podían estar fuera del aire, lo que también influyó en el resultado. Sin embargo, al extender el monitoreo a otras bandas, las señales suelen presentar potencias menores, modulaciones más estrechas y ocupaciones espectrales reducidas; bajo estas condiciones, el algoritmo basado en un umbral global de potencia y en promedios de piso de ruido tiende a subestimar su presencia y clasifica canales como “no ocupados”.

5. Recomendaciones

Mejorar la detección según la banda analizada. Para aumentar la fiabilidad del sistema en los tres servicios, es imprescindible adaptar los umbrales de detección a las particularidades de cada banda: en radiodifusión FM (88-108 MHz), donde las portadoras ocupan alrededor de 200 kHz y se emiten con potencias relativamente altas, basta con un umbral fijo de potencia y un filtro de espectro ancho para alcanzar altas tasas de acierto; en televisión terrestre, tanto en VHF alto (174-216 MHz) como en UHF (470-698 MHz), las señales analógicas remanentes o digitales presentan anchos de banda de 6-8 MHz y potencias que dependen de la topografía, por lo que se requiere un piso de ruido dinámico calculado por canal y un filtrado específico que aisle cada multiplex antes de estimar la relación señal-ruido, de modo que al ampliar el monitoreo más allá de la banda FM se mantenga la misma fiabilidad obtenida en las pruebas realizadas.

Para pasar de un sistema de consulta manual a una herramienta operacional, es aconsejable implementar un módulo de reportes programados que genere documentos PDF, Excel o JSON de forma automática a intervalos definidos (diario, semanal, mensual) y los envíe por correo o API. Esto beneficia a entidades reguladoras que requieren evidencias continuas sin intervención humana.

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

Referencias Bibliográficas

- (ANE), A. N. (2021). *Agencia Nacional del Espectro* . Obtenido de Plan Nacional de Gestión del Espectro Radioeléctrico: <https://www.ane.gov.co>
- (ITU), I. T. (2020). *International Telecommunication Union (ITU)*. Obtenido de Radio Regulations (Edición 2020: <https://www.itu.int/pub/R-REG-RR>
- Agencia Nacional de Espectro. (s.f.). *Campos electromagneticos*. Obtenido de Campos Electromagneticos:
<https://www.ane.gov.co/SitePages/Antenas%20y%20salud/index.aspx?p=223#:~:text=La%20parte%20del%20espectro%20electromagn%C3%A9tico,CEM%20en%20las%20frecuencias%20radioel%C3%A9ctricas.>
- ANE. (2019). *PLAN TÉCNICO NACIONAL DE RADIODIFUSIÓN SONORA*. Obtenido de PLAN TÉCNICO NACIONAL DE RADIODIFUSIÓN SONORA FM: https://www.ane.gov.co/Documentos%20compartidos/ArchivosDescargables/radiodifusion_sonora/Plan%20T%C3%A9cnico%20Nacional%20de%20Radiodifusi%C3%B3n%20Sonora%20en%20FM%20-%20Act.%206%20de%20noviembre%20de%202019.pdf
- Comunicaciones., A. N. (2024). Consideraciones técnicas en el uso de la banda del Dividendo Digital (698-806 MHz).
- De La Cruz Peñafiel, . &. (2018). Diseño e implementación de un prototipo de transmisión de mensajes de alerta en FM sobre cinco grupos de tres frecuencias portadoras para su uso en vehículos de emergencia utilizando USRP y GNU Radio (Tesis de ingeniería).
- Espectro (ANE),. M. d. (2012). Manual de gestión nacional del espectro radioeléctrico: Título V – Monitoreo del espectro radioeléctrico (1.^a ed.). Bogotá, Colombia.

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

- Flask. (13 de 11 de 2024). *Flask*. Obtenido de Flask 3.1.0: <https://flask.palletsprojects.com/en/stable/>
- Gadgets, G. S. (2025.). *HackRF Product Line*. Obtenido de HackRF Product Line: <https://greatscottgadgets.com/hackrf/>
- Haykin, S. (s.f.). Sección 1.7: Densidad espectral de potencia. En S. Haykin, *Sistemas de Comunicación* (págs. 44-49). LIMUSA Wiley.
- HTML: Lenguaje de etiquetas de hipertexto*. (2023). Obtenido de HTML: Lenguaje de etiquetas de hipertexto: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML>
- Moroşanu, I. V.-M. (2024). Real time Spectrum Monitoring of Mobile Networks based on SDR Platform and Web Application. *En 2024 IEEE International Conference and Exposition on Electric and Power Engineering (EPEI)*, 573–579.
- Research, E. (2025). *Ettus Research*. Obtenido de Ettus Research: <https://www.ettus.com/sdr-software/gnu-radio/>
- Santiago Rivera, . V. (2018). Analizador de espectro con función de monitoreo remoto mediante radio definida por software. 1125-1140.
- SDR RTL V3. (s.f.). *RTL- SDR*. Obtenido de RTL-SDR: <https://www.rtl-sdr.com/>
- Telecomunicaciones (ITU-R), U. I. (2016). Medición y evaluación de la ocupación del espectro (Informe UIT-R SM.2256-1).
- Wikipedia. (2025). *Wikipedia*. Obtenido de Emisoras de Bucaramanga: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Emisoras_de_Bucaramanga
- Yagoub, R. B. (2022). Web Browser Based Real Time Spectrum Analyzer for RTL SDR Dongles. *En 7th International Conference on Image and Signal Processing and their Applications (ISPA)*, 1-6.

PLATAFORMA WEB DE ANÁLISIS RADIOELÉCTRICO

Apéndices

Apéndice A. Recursos Tecnológicos del Proyecto

Repositorio GitHub: El proyecto posee un repositorio en GitHub con el propósito de fomentar la colaboración. Este incluye el código del algoritmo de procesamiento utilizado para la consulta y visualización de datos. Al alojar el código en GitHub, se promueve la investigación a estudiantes a contribuir al desarrollo de nuevas versiones para dar a conocer información sobre el espectro electromagnético. [Click aqui](#)

Apéndice B. Configuración de entornos virtuales

Este archivo contiene la guía para la instalación del entorno virtual y las librerías necesarias para ejecutar correctamente el proyecto. Incluye instrucciones detalladas para crear y activar el entorno virtual, así como los pasos para instalar todas las dependencias mediante pip a partir del archivo requirements.txt. [Click aquí](#)