

Requerimientos del proyecto - Analizador espectral

Oscar Andres Gutierrez
Juan Esteban Granada

Introducción

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema “**Analizador espectral con plataforma en la nube**”, se definieron los requerimientos funcionales y no funcionales que delimitan las capacidades, el rendimiento esperado y las restricciones de operación.

El sistema está compuesto por cuatro módulos principales:

1. **Adquisición:** captura de señales de RF con la HackRF One.
2. **Procesamiento:** estimación de PSD, demodulación y filtrado en la Raspberry Pi.
3. **Servidor en la nube:** recepción de datos, postprocesamiento y visualización web.
4. **Hardware/calibración:** referencia de frecuencia y potencia frente a equipos profesionales.

Los siguientes requerimientos fueron formulados teniendo en cuenta las **limitaciones físicas de la HackRF One**, la **capacidad del puerto USB 2.0** de la Raspberry Pi, la **memoria RAM disponible** para buffers de adquisición, y los **objetivos de rendimiento y usabilidad** definidos previamente.

Requerimientos Funcionales

ID	Descripción	Tipo de verificación
FR-01	El sistema deberá adquirir señales de RF en el rango de 1 MHz a 6 GHz , usando la HackRF One como front-end.	Prueba de adquisición a diferentes frecuencias con señales de referencia.

FR-02	El sistema deberá permitir seleccionar la frecuencia central, ancho de banda y tasa de muestreo (hasta 20 MHz) desde la interfaz web o archivo de configuración.	Validación de cambios en parámetros reflejados en el flujo de datos y JSON transmitido.
FR-03	El sistema deberá estimar la densidad espectral de potencia (PSD) mediante el método de Welch, con resolución y ventana configurables.	Comparación con PSD generada por un analizador comercial o herramienta de simulación.
FR-04	El sistema deberá soportar la demodulación AM y FM y enviar los datos de audio demodulados o espectros parciales a la nube.	Prueba de demodulación con tonos de referencia.
FR-05	El sistema deberá transmitir los resultados procesados (PSD, picos, piso de ruido, etc.) al servidor en la nube mediante JSON cada 1 s.	Verificación de recepción continua y sin pérdida en la API del servidor.
FR-06	La interfaz web deberá permitir visualizar el espectro, cambiar escalas (dB, dBm, dBFS, V²/Hz) y controlar parámetros de adquisición.	Prueba de interacción web con actualización de datos y control remoto exitoso.
FR-07	El sistema deberá detectar automáticamente picos y calcular el nivel de piso de ruido (DANL) durante el postprocesamiento.	Verificación mediante análisis comparativo de picos y ruido calculado.
FR-08	El sistema deberá permitir la descarga de los datos adquiridos y procesados en formatos .csv o .json .	Prueba de exportación desde la interfaz web.

Requerimientos No Funcionales

ID	Descripción	Criterio de aceptación
NFR-01	El sistema deberá operar con una tasa de actualización máxima de 1 Hz , es decir, actualizar el espectro cada segundo.	Verificación del retardo promedio medido entre adquisiciones consecutivas.
NFR-02	El número máximo de muestras adquiridas por bloque estará limitado por la memoria RAM disponible (máx. 512 MB en la Pi Zero 2W) . El sistema deberá gestionar automáticamente el tamaño del buffer según los recursos del sistema.	Validar estabilidad sin errores de memoria al capturar con diferentes tamaños de buffer.

NFR-03	El sistema deberá asegurar que el flujo de datos USB no exceda 40 MB/s , compatible con el límite práctico del bus USB 2.0 de la Raspberry Pi.	Medir throughput con <code>hackrf_transfer</code> y validar que no ocurran pérdidas de paquetes.
NFR-04	La precisión de frecuencia deberá mantenerse dentro de ± 1 kHz, calibrada frente a un analizador profesional.	Comparar resultados de tono de referencia 100 MHz entre HackRF y Keysight N9000B.
NFR-05	La precisión de potencia medida (PSD) deberá estar dentro de ± 3 dB respecto a una referencia calibrada.	Comparar PSD promedio con medición del analizador.
NFR-06	El sistema deberá mantener un consumo total < 7 W durante operación continua de 2 horas.	Prueba de consumo con multímetro de potencia.
NFR-07	La interfaz web deberá ser responsiva y accesible desde navegadores modernos (Chrome, Firefox, Edge) sin pérdida de funcionalidad.	Verificación manual de compatibilidad.
NFR-08	El sistema deberá tener una disponibilidad mínima del 95% durante una sesión de 2 h (sin reinicios ni bloqueos).	Medición de uptime y registro de errores.

Justificación de los requerimientos no funcionales

1. Tasa de muestreo y ancho de banda efectivo:

La HackRF One tiene una tasa máxima de muestreo de **20 Msps**, limitada por la velocidad del bus USB. En la práctica, se espera un límite estable de ~ 18 Msps para evitar *buffer overruns*.

2. Tamaño del buffer:

Dado que el host (Raspberry Pi Zero 2W) dispone de 512 MB de RAM, el número de muestras por bloque deberá ajustarse dinámicamente. Por ejemplo, a 20 Msps, un bloque de 128k muestras (~ 2.5 MB) permite operación continua sin pérdida.

3. Rendimiento de transferencia USB:

Aunque USB 2.0 soporta teóricamente 60 MB/s, el rendimiento real medido es de 45–50 MB/s. El sistema se diseñará para operar **por debajo de 40 MB/s** garantizando estabilidad.

4. Latencia de visualización (1 Hz):

Se definió una tasa de refresco de **1 actualización por segundo**, que balancea procesamiento, transmisión y usabilidad, evitando saturación de CPU o red.

5. Consumo y estabilidad:

Las pruebas prolongadas (≥ 2 h) aseguran que el sistema sea confiable para uso continuo educativo o de monitoreo.

Trazabilidad

Cada requerimiento (FR/NFR) está vinculado con los objetivos del ítem 1.1 y con las pruebas de verificación del ítem 1.2.

Por ejemplo:

Objetivo	Requerimientos Relacionados
Visualizar espectro 1–6 GHz	FR-01, FR-02, FR-03
Demodular AM/FM	FR-04
Transmitir datos a la nube	FR-05
Visualizar en web	FR-06
Medir piso de ruido (DANL)	FR-07
Operación estable en Raspberry	NFR-02, NFR-03, NFR-06
Calibración de precisión	NFR-04, NFR-05