



## **HANDBOOK MISIÓN # 2 - CODEFEST AD ASTRA 2024**

### **MISIÓN 2: Caracterización de señales de radiofrecuencia de enlaces satelitales**

#### **1. Introducción**

En el contexto de las misiones satelitales de observación de la Tierra, la caracterización electrónica de las señales de radiofrecuencia (RF) en los enlaces de comunicación es esencial para comprender y optimizar el rendimiento de los sistemas de comunicación satelital. Estas misiones dependen de la transmisión y recepción de datos a través de enlaces de comunicación RF para recopilar información crucial sobre la Tierra. Razón por la cual, la caracterización detallada de las señales RF es fundamental para garantizar la integridad y confiabilidad de los datos transmitidos desde y hacia los satélites.

#### **2. Motivación**

Las misiones satelitales de observación de la Tierra tienen aplicaciones vitales en el monitoreo del medio ambiente, la gestión de desastres naturales y la predicción meteorológica, entre otras. Estos datos son transmitidos a través de enlaces de comunicación de radiofrecuencia (RF) entre los satélites y las estaciones terrestres. Sin embargo, estos enlaces de comunicación están sujetos a interferencias, atenuación y otros fenómenos que pueden degradar la calidad de la señal y comprometer la integridad de los datos. La caracterización electrónica detallada de las señales de RF en estos enlaces de comunicación es esencial para comprender y mitigar estos desafíos. Al comprender mejor las características de las señales RF, como la modulación, el ruido y la interferencia, los ingenieros pueden desarrollar estrategias para optimizar la eficiencia espectral, mejorar la calidad de la señal y garantizar una transmisión de datos confiable y de alta calidad desde los satélites hasta las estaciones terrestres.

#### **3. Objetivo**

El objetivo de este reto es fomentar la investigación y el desarrollo en el campo de la caracterización electrónica de las señales de radiofrecuencia en los enlaces de comunicación de las misiones satelitales de observación de la Tierra. Al participar en este desafío, los participantes tendrán la oportunidad de:



- **Ampliar conocimientos en análisis de señales de radiofrecuencia:** Los participantes adquirirán una comprensión más profunda de los principios y técnicas utilizados en el análisis de señales de radiofrecuencia, incluyendo la modulación, demodulación, filtrado, y técnicas de procesamiento de señales digitales.
- **Aplicar técnicas avanzadas de procesamiento de señales:** Los participantes aplicarán técnicas avanzadas de procesamiento de señales, como transformadas de Fourier, filtrado adaptativo, análisis espectral y estimación de parámetros de señal, para caracterizar y optimizar los enlaces de comunicación satelital.
- **Desarrollar soluciones innovadoras:** Los participantes desarrollarán soluciones innovadoras utilizando herramientas y algoritmos avanzados para mejorar la eficiencia y confiabilidad de los sistemas de comunicación satelital. Esto incluye la implementación de técnicas de mitigación de interferencias, optimización de la calidad de la señal y detección y corrección de errores en tiempo real.

#### 4. Escenario

El escenario que se muestra en la Figura 1, representa un sistema de comunicaciones y monitoreo de señales en la banda UHF utilizando modelos de ingeniería de satélites de dos satélites tipo CubeSat de 3U y varios equipos terrestres para la gestión y análisis del espectro electromagnético. A continuación, se detallan los elementos clave desde un enfoque técnico:

- **Satélite EM MISC (400 - 450 MHz):** Este satélite opera en la banda UHF, específicamente en el rango de frecuencias de 400 a 450 MHz. Esta banda es comúnmente utilizada para comunicaciones satelitales debido a sus características de propagación que permiten una cobertura más extensa y una menor atenuación atmosférica. El satélite transmite y recibe señales en este rango de frecuencias, siendo susceptible a posibles interferencias de señales no deseadas en las cercanías del espectro.
- **Satélite EM FACSAT (430 - 440 MHz):** El segundo activo tiene un rango de operación más restringido en la banda UHF, operando en 430 a 440 MHz. Las comunicaciones con este satélite también son sensibles a interferencias en este rango específico de la UHF. Debido a la cercanía de las frecuencias de operación entre los dos satélites, es crucial asegurar que no haya interferencias internas entre ellos y que se pueda filtrar y analizar cualquier posible señal espuria o no deseada.



- **PC de administración EM (Control Ground Segment):** La estación terrena está representada por el PC Admin EM, este actúa como el centro de control y monitoreo para ambos satélites. Este equipo se encarga de procesar las señales que llegan desde los satélites y realizar la administración de las comunicaciones. El PC también puede controlar los comandos enviados a los satélites para ajustar parámetros de transmisión, frecuencia, y potencia de la señal. Además, esta estación puede visualizar la actividad en tiempo real y analizar la integridad de las comunicaciones.
- **SDR (Software Defined Radio, 30 MHz – 6 GHz):** Un SDR (Radio Definida por Software) se utiliza como un transmisor de señales interferentes en este escenario. El SDR puede generar señales dentro de un rango de 30 MHz hasta 6 GHz, lo que lo hace extremadamente versátil para crear interferencias tanto intencionales como no deseadas. En este caso, se está simulando una interferencia dentro de la banda UHF, específicamente entre 400 a 480 MHz, rango que cubre las frecuencias de operación de los dos sistemas satelitales descritos anteriormente, para analizar cómo esta interferencia afecta la calidad de las comunicaciones. El SDR permite la generación de señales con diferentes configuraciones de modulación, frecuencia, potencia y tipo de señal (CW, modulación digital, etc.), lo cual es clave para realizar pruebas de robustez de las comunicaciones frente a interferencias.
- **Analizador de espectro:** El Analizador de Espectro R&S es un dispositivo que se conecta a una antena de recepción de banda ancha para captar las señales presentes en el espectro electromagnético, incluidas las transmitidas por los satélites y las interferencias generadas por el SDR. Este equipo puede operar en un rango amplio de frecuencias, permitiendo analizar señales en tiempo real y verificar la presencia de interferencias, ruido, espurias y otros fenómenos electromagnéticos.
- **Antena de recepción:** El sistema se complementa con una antena receptora asociada al analizador de espectro, la cual es capaz de recibir señales de distintas frecuencias en el rango de operación del equipo. Esta antena permite realizar un monitoreo de las señales emitidas por los satélites y las interferencias generadas, capturando toda la actividad en el espectro UHF.
- **PC InstrumentView R&S:** Este PC es el dispositivo en el cual se encuentra instalado y ejecutará el software InstrumentView de R&S. El software permite controlar el instrumento (Analizador de espectro) de forma remota a través de una interfaz LAN o USB. Es un software de aplicación que proporciona servicio de impresión, generación de informes personalizados y funciones de edición sobre los diferentes conjuntos de datos medidos por el instrumento.



**Figura 1.** Configuración escenario comunicaciones satelitales banda UHF

## 5. Principio de funcionamiento de un analizador de espectro

Conocer el principio de funcionamiento de un analizador de espectro, instrumento que será la herramienta principal para desarrollar el presente reto, resulta de vital importancia al momento de plantear los cursos de acción para proponer una solución que cumpla satisfactoriamente los requisitos planteados dentro del reto.

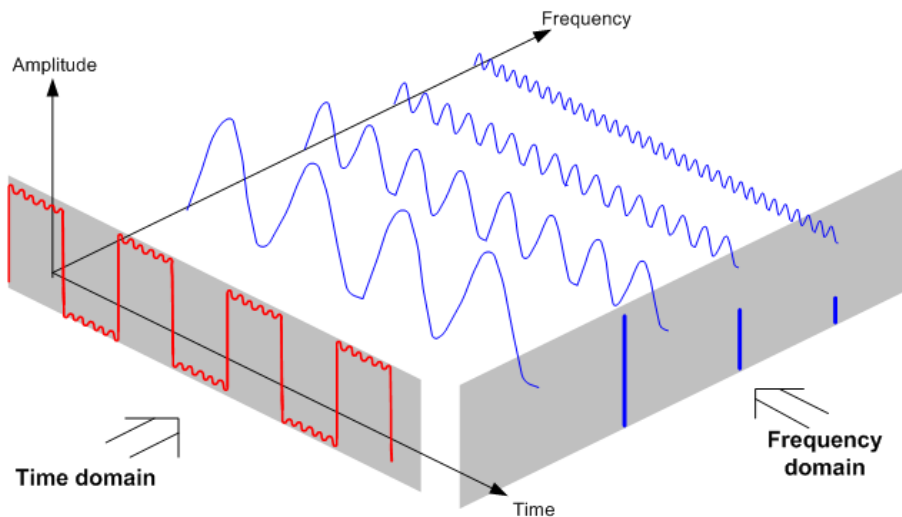
Básicamente, es posible medir y analizar señales de RF en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia.

Las mediciones en el dominio del tiempo muestran las variaciones de la señal a lo largo del tiempo. Puede realizarlas con un osciloscopio, por ejemplo. Las mediciones en el dominio de la frecuencia muestran los componentes de frecuencia de una señal. Para realizar mediciones en el dominio de la frecuencia, se puede utilizar un analizador de espectro.

Ambos modos son esencialmente equivalentes porque al aplicar la transformada de Fourier a cualquier señal, ésta se convierte en sus componentes espectrales. Dependiendo de la característica de la señal que se desee medir, un método suele ser más apropiado que el otro. Con un osciloscopio, es posible saber si una señal es una onda sinusoidal, una onda cuadrada con una determinada relación de encendido/apagado o una onda diente de sierra. Sin embargo, detectar señales superpuestas de bajo nivel o controlar el contenido armónico de la señal es más fácil con un analizador de espectro o de señal.



La Figura 2 muestra la base teórica de los dos métodos de medida. En el dominio temporal, un osciloscopio mostraría, por ejemplo, una sección de la señal que es una onda cuadrada. La misma señal, vista con un analizador de espectro, mostraría un espectro lineal (la fundamental y sus armónicos).

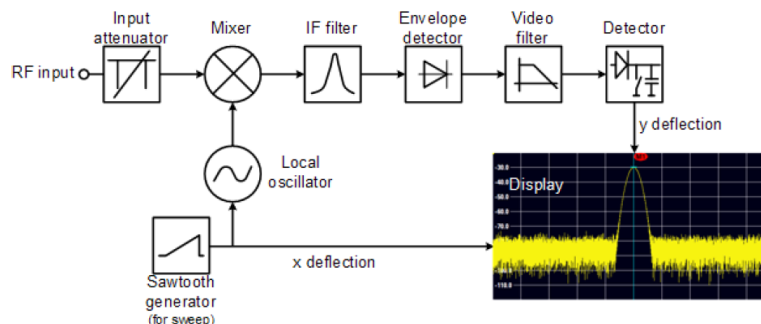


**Figura 2.** Visualización del dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia

La aplicación de la transformada de Fourier a la onda cuadrada periódica la transforma en el dominio de la frecuencia. El analizador de espectro mostraría la fundamental (o frecuencia de la onda cuadrada) y sus armónicos.

El analizador de espectro utiliza un filtro pasa banda de banda estrecho para las medidas en el dominio de la frecuencia. Sólo en las frecuencias que contienen una señal hay una lectura que da la amplitud del componente de frecuencia.

La Figura 3 muestra el principio básico del funcionamiento de un analizador de espectro.



**Figura 3.** Diagrama de bloques que muestra la funcionalidad básica de un analizador de espectro



El atenuador de precisión en la entrada del analizador atenúa la señal a un nivel que el mezclador puede manejar sin sobrecargarlo. El atenuador está directamente acoplado al nivel de referencia. Para la referencia de los equipos suministrados por R&S de la serie FSH, se puede atenuar la señal en el rango de 0 dB a 40 dB en pasos de 5 dB.

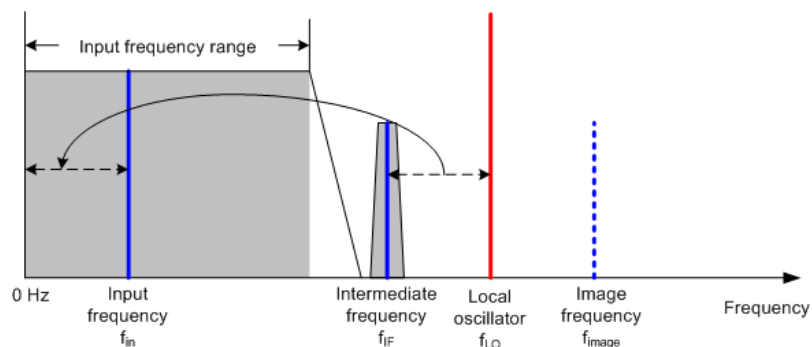
El mezclador convierte la señal de RF en una frecuencia intermedia (FI) fija. Este proceso suele constar de varias etapas. Dura hasta que se obtiene una FI para la que se dispone de buenos filtros de banda estrecha. El R&S FSH necesita tres etapas de mezcla para obtener una FI que el filtro pueda manejar. La Figura 4 muestra gráficamente el proceso de combinación de señales.

La frecuencia del oscilador local determina la frecuencia de entrada a la que el analizador de espectro realiza las medidas:

$$f_{in} = f_{LO} - f_{IF}$$

El primer mezclador produce la frecuencia suma  $f_{LO} + f_{IF}$  (= frecuencia imagen  $f_{image}$ ) así como la frecuencia diferencia  $f_{LO} - f_{IF}$ .

La frecuencia imagen es rechazada por el paso de banda en la FI para que no interfiera en las conversiones de frecuencia posteriores.



**Figura 4.** Proceso de combinación de señal

El primer oscilador local se sintoniza con una señal tipo diente de sierra que actúa simultáneamente como tensión de desviación x para la pantalla. En la práctica, se utiliza la tecnología de sintetizador para generar la frecuencia del primer oscilador local y para un visualizador digital.

La tensión instantánea del diente de sierra determina, por tanto, la frecuencia de entrada del analizador de espectro.

El ancho de banda del filtro de FI en la FI determina el ancho de banda que se utiliza para las mediciones. Las señales sinusoidales puras pasan por las características del filtro de

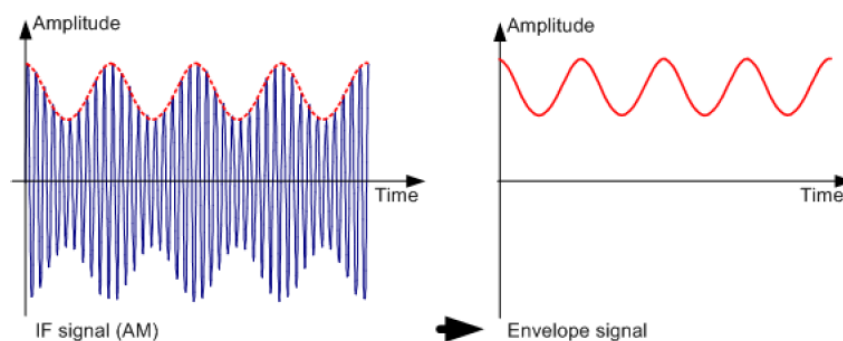




FI. Esto significa que las señales más cercanas entre sí que el ancho de banda del filtro de FI no pueden resolverse. Esta es la razón por la que el ancho de banda del filtro FI en un analizador de espectro se denomina ancho de banda de resolución. El R&S FSH tiene anchos de banda de resolución de 1 Hz a 3 MHz.

La FI de banda limitada se pasa al detector de envolvente. El detector de envolvente elimina la FI de la señal y emite su envolvente. La señal de salida del detector de envolvente se denomina señal de vídeo. Como ha sido demodulada, sólo contiene información de amplitud. La información de fase se pierde.

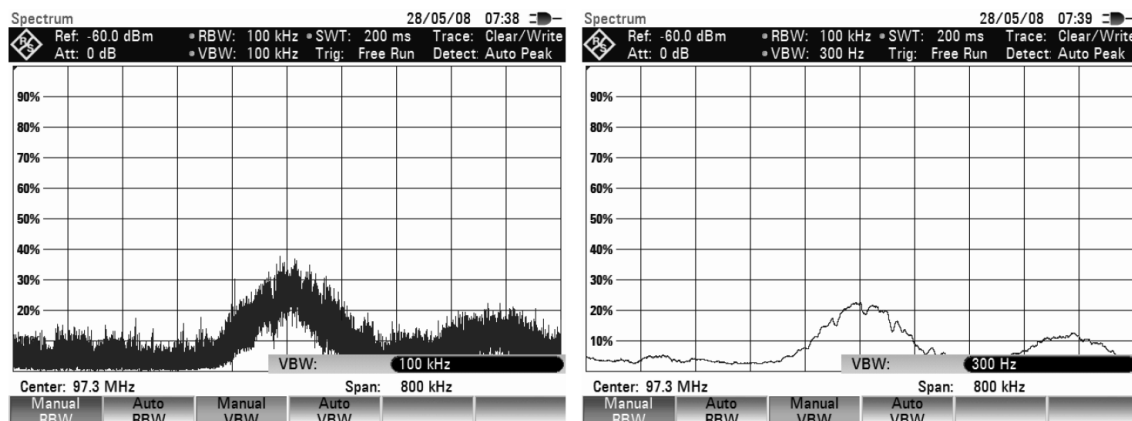
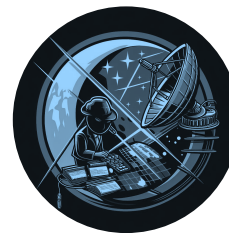
Con señales sinusoidales de RF, la señal de vídeo es una tensión continua. Con señales AM, la señal de vídeo contiene una componente DC cuya amplitud corresponde a la potencia de la portadora y una componente AC cuya frecuencia es igual a la frecuencia de modulación, siempre que la frecuencia de modulación esté dentro del ancho de banda de resolución.



**Figura 5.** Señal IF y detección de envolvente

El filtro de vídeo va después del detector de envolvente. El filtro es un paso bajo con una frecuencia de corte ajustable que limita el ancho de banda de la señal de vídeo. Resulta especialmente útil cuando se desea medir señales sinusoidales en las proximidades del ruido intrínseco del analizador de espectro. La señal sinusoidal produce una señal de vídeo que es una tensión continua. En la FI, sin embargo, el ruido se distribuye por todo el ancho de banda o, en el caso de la señal de vídeo, por la mitad del ancho de banda del filtro de resolución. Seleccionando un ancho de banda de vídeo estrecho en relación con el ancho de banda de resolución, se puede suprimir el ruido, mientras que la señal sinusoidal que se va a medir (= CC) no se ve afectada.

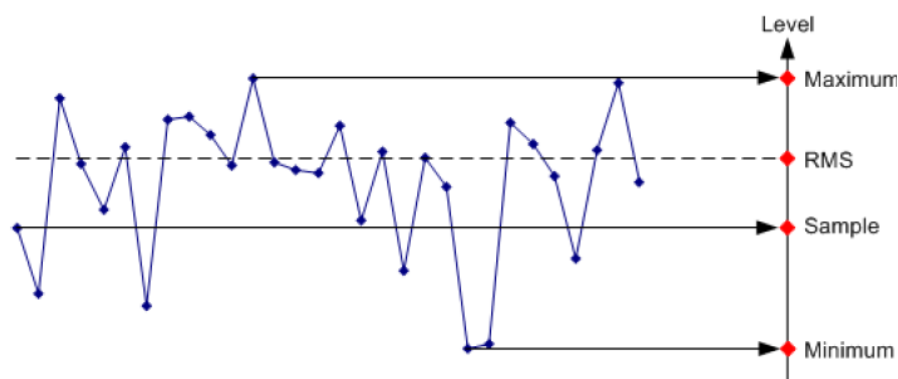
La Figura 6 muestra una señal sinusoidal débil. En la parte izquierda de la imagen, se mide con un ancho de banda de vídeo amplio y en la derecha de la imagen con un ancho de banda de vídeo angosto.



**Figura 6.** Señal sinusoidal débil, medición con ancho de banda de video amplio (Izquierda) y angosto (Derecha)

Limitar el ancho de banda de vídeo suaviza considerablemente la traza. Esto facilita mucho la determinación del nivel de la señal medida.

Después del filtro de vídeo se encuentra el detector. El detector combina el espectro medido para que pueda ser representado como un píxel en la traza. El R&S FSH utiliza 631 píxeles para formar la traza, es decir, todo el espectro medido tiene que ser representado utilizando sólo 631 píxeles. Los tipos comunes de detectores en analizadores de espectro son el detector de pico (PEAK), el detector de muestra (SAMPLE) y el detector RMS (RMS). También suele incluirse un detector de pico automático que muestra simultáneamente el pico máximo y el pico mínimo. La Figura 7 explica el funcionamiento de estos detectores.



**Figura 7.** Tipos comunes de detectores en analizadores de espectro

La figura anterior muestra 30 valores medidos que están representados por un único píxel. El detector de picos determina y muestra el valor máximo medido. El detector de picos automático toma el máximo y el mínimo y los muestra juntos. Los dos valores están unidos por un segmento de línea vertical. Esto da una buena indicación de la variación de nivel





sobre los valores medidos representados por un solo píxel. El detector RMS es utilizado por el analizador de espectro para determinar el valor RMS de los valores medidos. Es, por tanto, una medida de la potencia espectral representada por un píxel. El detector de muestras toma un valor de medición arbitrario y lo muestra (en la Figura anterior, el primero). Los demás valores medidos se ignoran.

Sobre la base de los principios de funcionamiento de los detectores, se pueden hacer algunas recomendaciones en cuanto a su uso.

- Es mejor utilizar el detector de picos automático o el detector de picos para el análisis del espectro en grandes rangos de frecuencia. De este modo se garantiza la visualización de todas las señales.
- El detector RMS se recomienda para mediciones de potencia en señales moduladas. Sin embargo, el rango de visualización debe elegirse de forma que no exceda 100 veces el ancho de banda de la señal o el ancho de banda de resolución, el que sea mayor.
- Para las mediciones de ruido debe utilizarse el detector de muestreo o el detector RMS (preferido). Sólo estos dos detectores son capaces de medir correctamente la potencia de ruido.
- Cuando las mediciones se realizan en señales sinusoidales, la visualización del nivel no depende del detector. Sin embargo, si utiliza el detector RMS o el detector de muestreo, asegúrese de que el span no sea demasiado grande. De lo contrario, los niveles mostrados de las señales sinusoidales pueden ser inferiores a su valor real.

## **6. Descripción del reto**

Durante un lapso de 20 minutos aproximadamente, desde el PC Admin EM se programarán secuencias de control de forma automática para que ambos modelos de ingeniería de los satélites tipo Cubesat (FACSAT y MISC), transmitan de forma simultánea señales de RF en la banda de frecuencias UHF, en un rango entre 400 MHz a 450 MHz.

Al tratarse de una banda de frecuencias libres o no licenciada, es posible encontrar en el espectro electromagnético señales de RF no deseadas que causen interferencias al enlace satelital, debe prestarse atención a este tipo de señales con el fin de ser detectadas, identificadas, caracterizadas, y si es posible durante el procesamiento de señales aplicar técnicas de filtrado para eliminar estos componentes de frecuencia no deseados para el análisis. Las interferencias referenciadas pueden estar presentes en cualquier componente de frecuencia en el rango comprendido entre 400 MHz a 480 MHz.

El conjunto compuesto por el analizador de espectro, antena y software InstrumentView de R&S, son la herramienta principal para que los equipos registren todas las emisiones o señales de RF en esa porción del espectro electromagnético que es de interés durante la ventana de tiempo de 20 minutos en los cuales los satélites estarán transmitiendo. Cabe aclarar que el analizador de espectro es un instrumento que permite la medición de señales



en tiempo real y facilita el almacenamiento de los datos correspondientes a cada medición en un dispositivo de almacenamiento extraíble (Memoria tipo SD) para su posterior análisis.

Por lo anterior, es indispensable la adecuada configuración del instrumento en el rango de frecuencias correcto con los demás parámetros de interés para la oportuna detección de señales de RF. Una funcionalidad de gran utilidad que integra el analizador de espectro es la función de espectrograma, esta muestra la densidad espectral de una señal en el dominio de la frecuencia y en el tiempo simultáneamente.

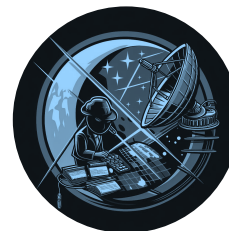
Por defecto, la visualización del resultado del espectrograma consta de dos ventanas. La ventana superior muestra el espectro medido como una línea de traza. La ventana inferior muestra los resultados de la medida en un espectrograma. Como en otras visualizaciones de resultados, el eje horizontal representa el intervalo de frecuencias. El eje vertical representa el tiempo. En el espectrograma, el tiempo transcurre cronológicamente de arriba abajo. Por lo tanto, la parte superior del diagrama es el presente. Una tercera dimensión muestra la amplitud de cada frecuencia asignando colores diferentes a cada nivel de potencia. Así, el resultado es un diagrama bidimensional.

Para el desarrollo del reto, se destinará un espacio en el cual se hará el despliegue del escenario descrito en el numeral 4. En ese mismo espacio se dispondrán seis (6) estaciones de trabajo, cada una de ellas dotada con un analizador de espectro R&S, una antena receptora y un computador con el software InstrumentView para control del instrumento y posterior descarga de los datos grabados durante la medición.

Teniendo en cuenta que se han seleccionado 17 grupos participantes, se programarán (04) cuatro rondas de cuatro (04) grupos cada una. Los equipos dispondrán de una ventana de tiempo de 35 minutos, incluidos los 20 minutos de duración de la transmisión de los modelos de ingeniería de los satélites, para que realicen la configuración de los instrumentos de medición, graben las señales que consideren de su interés, y finalmente las descarguen para su posterior análisis y desarrollo del aplicativo de software que de forma automatizada estimará los parámetros característicos del enlace de comunicaciones satelitales.

El reto se compone de tres partes esenciales, la primera de ellas enfocada en la caracterización de la señal portadora, un segundo aspecto que se centra en la identificación de potenciales interferencias y finalmente la estimación de los parámetros de canal del enlace de comunicaciones. A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno de estos componentes.

- **Caracterización de la señal de radiofrecuencia portadora:** En este componente del reto, los participantes se enfrentarán a la tarea de caracterizar la señal de radiofrecuencia portadora utilizada en los enlaces de comunicación satelital. Esto implica analizar aspectos como la frecuencia central, el ancho de banda, la modulación y la potencia de la señal portadora. Los participantes deberán desarrollar una aplicación (componente de software) que integre algoritmos y



técnicas para estimar con precisión estos parámetros, lo que permitirá una mejor comprensión y optimización de la señal de comunicación satelital.

- **Identificación y clasificación de interferencias:** Los participantes desarrollarán algoritmos de procesamiento de señales capaces de identificar y clasificar diferentes tipos de interferencias en los enlaces de comunicación satelital. Esto implica el uso de técnicas de análisis espectral, como el análisis de Fourier y la transformada de wavelet, para distinguir entre señales legítimas y señales no deseadas, como ruido impulsivo, interferencia co-canal y desvanecimiento selectivo.
- **Estimación de parámetros de canal:** En este último componente del reto, los participantes desarrollarán técnicas de estimación de parámetros de canal para caracterizar la respuesta del canal de comunicación satelital. Esto incluye la estimación de la ganancia, la atenuación y el retardo de propagación del canal, utilizando métodos como la estimación de máxima verosimilitud, la estimación por mínimos cuadrados y el filtro de Kalman.

Los equipos participantes deberán desarrollar un aplicativo de software, que a través de una interfaz gráfica permita abrir de forma simultánea la secuencia de archivos \*.CSV correspondientes a las secciones del espectrograma de la grabación del espectro electromagnético realizada por cada equipo. Con base en los datos registrados en la secuencia de archivos, el aplicativo de software deberá calcular de forma automatizada los siguientes parámetros o características de la señal de RF y del enlace de comunicaciones, así:

Característica/Parámetro	Descripción
Frecuencia central	La frecuencia en la cual la señal tiene su mayor amplitud.
Ancho de banda (BW)	Ancho de la porción de espectro ocupada por la señal (en Hz).
Amplitud/ Potencia	Nivel de potencia de la señal, generalmente medido en dBm o mW.
Nivel de ruido	Nivel de ruido de fondo en el espectro, medido en dBm.
Relación señal-ruido (SNR)	La relación entre la potencia de la señal y el nivel de ruido.
Forma de la señal	La apariencia visual del espectro de la señal, que puede indicar modulación.
Frecuencias de espuria	Señales indeseadas que aparecen cerca de la señal principal.
Frecuencias armónicas	Señales a múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.



Interferencias	Presencia de otras señales que interfieren en la banda de la señal. Estas deben ser eliminadas y no ser visualizadas en el espectrograma final.
Modulación	Determinar el tipo de modulación utilizada.
Picos espectrales	Puntos donde la amplitud es máxima dentro del ancho de banda.
Análisis de ancho de banda de ocupación	Análisis de la cantidad de espectro utilizado por la señal.
Crest factor	Relación entre el pico de la señal y su valor RMS (Root Mean Square).
Frecuencia de repetición de pulso (PRF)	Frecuencia de repetición de pulsos en señales moduladas en pulsos.
Análisis de canal adyacente	Evaluación de la interferencia en canales adyacentes.
Drift de frecuencia	Cambios en la frecuencia central de la señal a lo largo del tiempo.
Tiempo de ocupación	Tiempo durante el cual la señal está presente en el espectro.
Análisis de espectro temporal	Cómo varía el espectro a lo largo del tiempo (Waterfall display).
Medición de potencia de canal	Potencia total de la señal dentro de un ancho de banda de canal específico.

**Tabla 1.** Características de la señal de RF y del enlace de comunicaciones

## 7. Producto final

El producto final debe ser una solución integral que aborde de manera efectiva los retos de caracterización y análisis de señales de radiofrecuencia de un enlace satelital. La metodología y estructura de entrega aseguran que los equipos proporcionen una solución completa, bien documentada y evaluable desde múltiples perspectivas (funcionalidad, precisión, rendimiento y facilidad de uso). Así, el producto final que cada equipo debe entregar para su evaluación debe incluir los siguientes componentes:

### 7.1. *Aplicativo de software ejecutable*

- **Formato:** Un archivo ejecutable (o equivalente) o una aplicación web completa.
- **Requisitos de instalación:** Incluir instrucciones claras sobre cómo instalar y ejecutar el software en diferentes plataformas (Windows/Linux).



- **Interfaz gráfica:** El software debe contar con una interfaz gráfica funcional que permita la carga de archivos CSV, cálculo automático de parámetros, visualización de resultados y exportación de informes de resultados.
- **Capacidades:** El software debe ser capaz de:
  - Abrir archivos CSV generados por el analizador de espectro.
  - Calcular automáticamente los parámetros descritos en la Tabla 1.
  - Visualizar los datos mediante gráficos (espectrogramas, análisis temporal, etc.).
  - Permitir la interacción del usuario para ajustar configuraciones como filtros y rangos de frecuencia.
  - Exportar resultados y gráficos en formato PDF o CSV.

## 7.2. *Presentación final (Pitch)*

- **Formato:** Presentación PowerPoint o similar, que explique brevemente el enfoque y la solución desarrollada por cada equipo.
- **Contenido:**
  - Introducción al problema.
  - Descripción resumen de la arquitectura del software, metodología utilizada y su funcionalidad.
  - Resultados clave obtenidos en pruebas.
  - Demostración del uso del software.
  - Reflexión final sobre los desafíos enfrentados y los próximos pasos.

## 8. Métrica y rúbrica de evaluación

La evaluación del aplicativo de software se hará con base en los siguientes criterios:

### 8.1. *Exactitud de los cálculos (50%)*

- **Descripción:** Se evaluará la precisión de los cálculos automáticos que realiza el aplicativo de software para cada uno de los parámetros descritos en la Tabla 1. La exactitud será verificada mediante comparaciones con valores esperados obtenidos de pruebas controladas o referencias conocidas.
- **Criterios:**
  - **Frecuencia central:** Error máximo permitido  $\pm 0.5\%$  respecto al valor teórico o conocido.
  - **Ancho de banda (BW):** Tolerancia de  $\pm 2\%$  con respecto al valor real.



- **Amplitud/Potencia:** El software deberá mostrar una diferencia menor a 1 dB con respecto a mediciones manuales o instrumentos de referencia.
  - **Nivel de ruido:** Desviación máxima permitida de  $\pm 1$  dB en el cálculo del nivel de ruido.
  - **Relación Señal-Ruido (SNR):** Error máximo de  $\pm 1$  dB en la estimación de la SNR.
  - **Forma de la señal:** No aplicable a desviaciones numéricas, se requiere identificación visual correcta del tipo de modulación con un 95% de precisión.
  - **Identificación de frecuencias espurias y armónicas:** Se evaluará si el software detecta señales no deseadas en el rango correcto con una precisión de  $\pm 0.5\%$  en la frecuencia.
  - **Interferencias:** La interferencia debe ser eliminada en un 100% en el espectrograma final. Error cero tolerado.
  - **Modulación:** Precisión en la identificación del tipo de modulación.
  - **Picos espectrales:** Error máximo de  $\pm 1$  dB del pico máximo detectado.
  - **Análisis de ancho de banda de ocupación:** Error máximo de  $\pm 2\%$  del ancho de banda calculado.
  - **Crest factor:** Error máximo de  $\pm 2$  dB del valor calculado.
  - **Frecuencia de repetición de pulso (PRF):** Error máximo de  $\pm 0.5\%$  de la PRF calculada.
  - **Análisis de canal adyacente:** Las interferencias en el canal adyacente deben estar dentro de  $\pm 1$  dB respecto al nivel permitido.
  - **Drift de frecuencia:** Error máximo de  $\pm 1\%$  de drift respecto a la frecuencia inicial.
  - **Tiempo de ocupación:** Error máximo de  $\pm 5\%$  del tiempo de ocupación calculado.
  - **Análisis de espectro temporal:** No aplica a desviaciones numéricas, pero debe representar con un 95% de precisión la evolución temporal de la señal.
  - **Medición de potencia de canal:** Error máximo de  $\pm 1$  dB de la potencia calculada.
- **Niveles de evaluación:**
    - **Excelente (85 - 100):** Todos los parámetros calculados con un error dentro de las tolerancias especificadas.
    - **Bueno (60 - 84):** Algunos parámetros con pequeñas desviaciones, pero aceptables dentro de márgenes ampliados ( $\pm 3\%$  de error).
    - **Regular (30 - 59):** Desviaciones mayores al 3% en más de un parámetro, pero dentro de un límite tolerable de  $\pm 5\%$ .
    - **Deficiente (0 - 29):** Desviaciones significativas que comprometen la precisión del análisis.





### 8.2. *Detección de interferencias y señales espurias (20%)*

- **Descripción:** El software debe detectar interferencias y señales no deseadas de manera eficiente y precisa, aplicando técnicas de filtrado para eliminar o minimizar su impacto.
- **Criterios:**
  - **Detección automática de interferencias:** Algoritmos capaces de identificar señales no deseadas dentro del espectro analizado.
  - **Filtrado de señales:** Aplicación de filtros automáticos o configurables para reducir el impacto de interferencias en el análisis final.
  - **Precisión:** Capacidad para distinguir entre señales legítimas y espurias con un alto nivel de acierto (95%).
- **Niveles de evaluación:**
  - **Excelente (85 - 100):** Detección precisa de todas las interferencias y eliminación efectiva de señales no deseadas.
  - **Bueno (60 - 84):** Detección correcta de la mayoría de interferencias, aunque con limitaciones en el filtrado avanzado.
  - **Regular (30 - 59):** Identificación básica de interferencias, pero con dificultades para aplicar filtros efectivos.
  - **Deficiente (0 - 29):** Problemas en la detección de interferencias o incapacidad para filtrar correctamente las señales espurias.

### 8.3. *Interfaz de usuario y usabilidad (15%)*

- **Descripción:** Se analizará la capacidad del software para ofrecer una interfaz gráfica intuitiva y funcional. La facilidad de uso es clave, especialmente en tareas complejas como el análisis de señales RF.
- **Criterios:**
  - **Diseño de la interfaz:** Organización clara de menús, botones y opciones de configuración.
  - **Carga de datos:** Debe permitir cargar archivos CSV sin errores y con opciones para manejar grandes volúmenes de datos.
  - **Interactividad:** Herramientas como zoom, selección de áreas de interés, comparaciones visuales entre señales o configuraciones ajustables por el usuario.
  - **Personalización:** Opciones para personalizar las visualizaciones de resultados (colores, estilos de gráficos, escalas de ejes).
  - **Navegabilidad:** Debe ser fácilmente navegable y entenderse con un mínimo de aprendizaje.



- **Filtros ajustables:** Debe permitir la aplicación de filtros seleccionables en un rango de frecuencias específico y configurable por usuario.
  - **Generación de reportes:** Capacidad para generar informes detallados que incluyan gráficos, análisis estadístico y comentarios interpretativos.
  - **Formato de reportes:** Exportación de resultados en formatos estándar (PDF, CSV) para facilitar el análisis y compartir datos.
- **Niveles de evaluación:**
    - **Excelente (85 -100):** Diseño intuitivo, todas las funciones fácilmente accesibles y personalizables. Interacción fluida y sin errores.
    - **Bueno (60 - 84):** Interfaz funcional con ligeros problemas de usabilidad, pero sin que afecte significativamente la operación.
    - **Regular (30 - 59):** La interfaz es operable, pero presenta complejidades o confusión en algunos aspectos clave.
    - **Deficiente (0 -29):** Interfaz poco intuitiva, complicada de navegar o con errores de interacción.

#### 8.4. Código Fuente (15%)

- **Descripción:** Evalúa la accesibilidad, organización y documentación del código, que debe estar en un repositorio con instrucciones claras para clonarlo y ejecutarlo. El código debe estar bien estructurado, comentado y detallar las dependencias necesarias. También debe incluir una licencia abierta que especifique los términos de uso del software.
- **Criterios:**
  - **Formato:** Todo el código fuente del proyecto debe entregarse en un repositorio (GitHub), con instrucciones claras sobre cómo clonar el repositorio y compilar/ejecutar el software en un archivo readme.
  - **Comentarios y organización:** El código debe estar bien comentado y organizado en módulos lógicos. Deben especificarse dependencias de bibliotecas, frameworks o SDKs utilizados.
  - **Licencia de uso:** El equipo debe incluir un archivo de licencia que especifique los términos de uso del código, debe tenerse la claridad que este debe liberarse bajo una licencia abierta.
- **Niveles de evaluación:**
  - **Excelente (85 - 100):** Código completamente accesible, bien documentado, organizado y bajo una licencia clara y abierta.
  - **Bueno (60 - 84):** Código accesible, con buena documentación y organización, pero con detalles menores a mejorar.



- **Regular (30 - 59):** Código accesible, pero con problemas significativos en la organización, documentación o claridad de la licencia.
- **Deficiente (0 - 29):** Código desorganizado, sin documentación adecuada, con problemas de accesibilidad y sin claridad en la licencia.

#### 8.5. **Capacidad de visualización y análisis gráfico (Bonus)**

- **Descripción:** El software debe proporcionar representaciones visuales claras y precisas de los datos, como espectrogramas, gráficos de frecuencia en tiempo real y análisis temporal de señales.
- **Criterios:**
  - **Espectrogramas:** Representación detallada y precisa, con colores y escalas adecuadas para mostrar densidades espectrales.
  - **Gráficos temporales:** Visualización del comportamiento de las señales en función del tiempo (waterfall plots).
- **Niveles de evaluación:**
  - **Excelente (85 - 100):** Visualización de alta calidad, gráficos detallados con opciones avanzadas de configuración y análisis comparativo.
  - **Bueno (60 - 84):** Gráficos precisos, pero con menos opciones de personalización o comparación simultánea.
  - **Regular (30 - 59):** Representaciones gráficas útiles, pero con limitaciones en la precisión o el ajuste de parámetros visuales.
  - **Deficiente (0 - 29):** Visualización inadecuada o limitada, dificultando el análisis efectivo de las señales.

Esta métrica de evaluación asegura un análisis del rendimiento y la calidad del software, garantizando que las soluciones desarrolladas sean precisas, eficientes y fáciles de usar. Cada criterio evalúa aspectos críticos para el correcto del análisis de señales RF en un contexto de comunicaciones satelitales.



## 9. Anexos

### 9.1. Anexo 1 - Tabla de verificación de parámetros

Característica/Parámetro	Señal RF - EM 1 Menor frecuencia	Señal RF - EM 2 Mayor frecuencia
Frecuencia central		
Ancho de banda (BW)		
Amplitud/ Potencia		
Nivel de ruido		
Relación señal-ruido (SNR)		
Forma de la señal		
Frecuencias de espuria		
Frecuencias armónicas		
Interferencias		
Modulación		
Picos espectrales		
Análisis de ancho de banda ocupado		
Crest factor		
Frecuencia de repetición de pulso (PRF)		
Análisis de canal adyacente		
Drift de frecuencia		
Tiempo de ocupación		
Análisis de espectro temporal		
Medición de potencia de canal		



## 9.2. Anexo 2 – Métrica y rúbrica de evaluación

Parámetro	Criterios	Evaluación			
		E	B	R	D
Exactitud de los cálculos (50%)	Cálculo de variables relacionadas en el Anexo 1				
Detección de interferencias y señales espurias (20%)	Detección automática de interferencias				
	Filtrado de señales				
	Precisión				
Interfaz de usuario y usabilidad. Se evaluará en un vídeo de máximo de 5 minutos por equipo. (15%)	Carga de archivos CSV				
	Calcular automático de los parámetros de la Tabla 1				
	Visualización de datos mediante gráficos (espectrogramas, análisis temporal, etc.)				
	Selección de filtros ajustables en rangos de frecuencias (Señal cruda Vs. Señal tratada)				
	Exportar resultados y gráficos en formato PDF o CSV, con información relevante sobre la caracterización de la señal				
Código fuente (15%)	Formato, repositorio (GitHub)				
	Comentarios y organización				
	Licencia de uso (Readme)				
Capacidad de visualización y análisis gráfico (Bonus)	Espectrogramas				
	Gráficos temporales				



### 9.3. Anexo 3 – Estructura del proyecto en GitHub

La estructura que se muestra en la imagen representa la organización del proyecto en el repositorio de GitHub, donde se encuentran diferentes tipos de archivos organizados en carpetas. A continuación, se presenta una descripción general de cada uno de los elementos:

- **Archivos de nivel raíz:**
  - **README:** Este es el archivo de descripción del proyecto. Generalmente, en un repositorio de GitHub, se usa un archivo README (normalmente en formato .me) para ofrecer una introducción, guías de uso, instalación y explicaciones generales sobre el propósito del proyecto, además indicar la licencia.
  - **results.xlsx:** Un archivo de Excel que contiene registro de resultados de cada uno de los parameros relacionados en la Tabla 1.
- **ejecutable/:**
  - **app:** En esta carpeta se encuentra un archivo ejecutable. Esto sugiere que el proyecto tiene una aplicación compilada para ser ejecutada en sistemas Windows/Linux.
- **resources/:**
  - **spectral\_01.csv, spectral\_02.csv, spectral\_03.csv:** Estos archivos (se presentan como ejemplo) contienen datos en formato CSV, contienen información de los registros espectrales de la señal RF.
  - **video.mp4:** Un archivo de video con una duración máxima de cinco (5) minutos, que muestra la funcionalidad del aplicativo desarrollado con las capacidades relacionadas en el numeral 7.1.
- **src/ (source):**
  - **main.c:** Código fuente escrito en C, lo que indica que parte del proyecto está implementada en este lenguaje.
  - **\_main.py:** Archivo fuente en Python, indicando que el proyecto también podría incluir componentes escritos en Python.

**NOTA:** El código no necesariamente tiene que estar en estos lenguajes de programación, en este caso se presentan a manera de ejemplo.





```
readme.me
results.xlsx

—ejecutable
  app.exe

—resources
  spectral_01.csv
  spectral_02.csv
  spectral_03.csv
  video.mp4

—src
  main.c
  _main.py
```