



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**COMPONENTE PRÁCTICO DE EXAMEN COMPLEXIVO**

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA LA  
CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE MICROONDAS USANDO EL  
ANALIZADOR PORTÁTIL KEYSIGHT N9918A FIELDFOX**

**AUTOR:**

**ESTEFANIA LISSETTE LLANGARI AQUINO**

**TUTOR SUGERIDO:**

**ING. CARLOS EFRAÍN ANDRADE CAICHO MSC.**

**LA LIBERTAD - ECUADOR**

**2024-2**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**



PhD. Ronald Rovira Jurado

**DIRECTOR DE LA CARRERA**



Ing. Luis Amaya Fariño Mgt.

**DOCENTE GUIA/ ESPECIALISTA**



Ing. Carlos Andrade Caicho MSc.

**DOCENTE TUTOR**



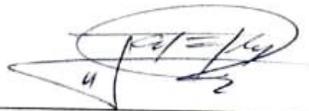
Ing. Corina Gonzabay De La A

**SECRETARIA**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por LLANGARI AQUINO ESTEFANIA LISSETTE, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

La Libertad, a los 06 días del mes de Diciembre del año 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Andrade Caicho', is written over a horizontal line. The signature is somewhat stylized and includes some scribbles.

Ing. Carlos Andrade Caicho MSc.

TUTOR

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Carlos Andrade Caicho

### DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, Desarrollo De Prácticas De Laboratorio Para La Caracterización De Sistemas De Microondas Usando El Analizador Portátil Keysight N9918A Fieldfox previo a la obtención del título en Ingeniero en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 06 días del mes de Diciembre del año 2024



---

Ing. Carlos Andrade Caicho MSc.

TUTOR

## CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado Desarrollo De Prácticas De Laboratorio Para La Caracterización De Sistemas De Microondas Usando El Analizador Portátil Keysight N9918A Fieldfox, presentado por el estudiante, Llangari Aquino Estefania Lissette fue enviado al sistema anti plagio, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 5%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

 CERTIFICADO DE ANÁLISIS  
magister

**Tesina\_Llangari\_Estefania\_2024\_2 (2)**

**5%**  
Textos sospechosos

- 0% Similitudes
  - 0% similitudes entre familias
  - 0% entre las fuentes mencionadas
- 2% Idiomas no reconocidos
- 4% Textos potencialmente generados por IA

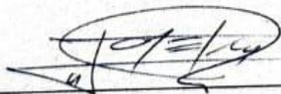
Nombre del documento: Tesina\_Llangari\_Estefania\_2024\_2 (2).pdf  
ID del documento: e377b1439e50dfc3c4c556d58dae3043bbdcfd  
Tamaño del documento original: 1,76 MB  
Autores: []

Depositante: CARLOS EFRAIN ANDRADE CAICHO  
Fecha de depósito: 11/12/2024  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 11/12/2024

Número de palabras: 19.937  
Número de caracteres: 135.974

Ubicación de las similitudes en el documento:

---



Ing. Carlos Efraín Andrade Caicho MSc.

TUTOR

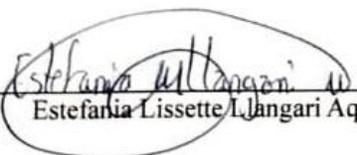
## AUTORIZACIÓN

Yo, Llangari Aquino Estefania Lissette

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales del trabajo de titulación con fines de difusión pública, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, a los 06 días del mes de Diciembre del año 2024

  
Estefania Lissette Llangari Aquino

AUTOR

## **DEDICATORIA**

Los sueños se construyen con esfuerzo y perseverancia y se cosechan con quienes realmente importan.

Con gran emoción y gratitud dedico este logro a mi madre, Rosa Aquino, que, con su amor, fortaleza y sacrificó, me guio día a día a alcanzar cada meta propuesta, que, aunque resulto difícil, no fue imposible.

Quiero dedicar este logro a mi querido Abuelo Nicanor Aquino, quien siempre estuvo apoyándome en el transcurso de este camino, quien siempre ocupa un lugar en mi corazón. Este legado de sus cuatro palabras siempre llevare en que es fuerza, gratitud, humildad y valores

Agradezco a todos ustedes, los que caminaron conmigo, gracias por sus palabras de aliento, motivación y sobre todo compañía. Este logro es tan suyo como mío.

ESTEFANIA LISSETTE LLANGARI AQUINO

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida y guiarme en cada paso que doy, contribuyendo conmigo y brindándome las fuerzas necesarias para poder afrontar las etapas y los momentos que han transcurrido a lo largo de este camino.

A mí madre Rosa, quien ha sido mi mayor fuente de inspiración, pilar fundamental, compañera incondicional a quien estoy completamente agradecida por ser mi motor en todo momento.

A mis hermanos y familiares que me acompañaron dándome apoyo absoluto y sin reservas con sus sabios consejos, llenando mi vida de sabiduría y fortaleza, recordándome que siempre puedo contar con ellos.

A la facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, les extiendo un grato agradecimiento por haberme dado las herramientas necesarias para formarme profesionalmente y lograr cumplir el objetivo de la mano también de mis docentes.

A mis tutores los ingenieros Carlos Andrade y Daniel Jaramillo, quienes fueron una pieza importante y fundamental en mi formación académica, acompañándome y guiándome con sabiduría, paciencia y dedicación para culminar este gran logro.

También un agradecimiento especial a los ingenieros Fernando Chamba, Luis Amaya y Oscar Gómez por todo el conocimiento que impartieron en el trayecto universitario, dejando una huella imborrable en mi vida.

A mis amigos Michael, Mateo, Katherine, Karla, Andy y Maeba, quienes fueron mis amistades más incondicionales, apoyándome y caminando conmigo este largo recorrido. Llenándome de cariño y contribuyendo en mi crecimiento profesional y personal. Gracias por todas las experiencias adquiridas y sobre todo por haber hecho de mi etapa universitaria un desafío más fácil de enfrentar.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que de alguna u otra manera formaron parte de este camino para cumplir mis sueños. Esto no sólo me pertenece a mí, sino también a cada uno de ustedes que lograron sembrar en mí algo suyo.

ESTEFANIA LISSETTE LLANGARI AQUINO

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	7
AGRADECIMIENTO .....	8
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	12
ABREVIATURAS .....	13
RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	15
CAPITULO I.....	16
1.1 Antecedentes Investigativos.....	16
1.2 Planteamiento del Problema y Justificación .....	18
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivo General .....	18
1.3.2 Objetivos Específicos .....	18
1.4 Alcance del Proyecto.....	19
1.5 Fundamentación Teórica.....	20
1.5.1 Conceptos Básicos de Microondas .....	20
1.5.2 Aplicaciones en Telecomunicaciones y Radar.....	21
1.5.3 Características del FieldFox y su Aplicación en las Telecomunicaciones .....	21
1.6 Desarrollo de material educativo y documentación técnica .....	22
1.7 Resultados Esperados:.....	22
1.8 Conclusión .....	22
CAPITULO II.....	23
Metodología .....	23
2.1 Métodos de la Investigación .....	23
2.2 Materiales .....	24
2.1 Hardware.....	24
CAPITULO III.....	35
3.1 Desarrollo de Prácticas de Calibración para la Caracterización de Sistemas de Microondas en Modo NA, CAT y VVM.....	35
3.1.1 Introducción .....	35
3.1.2 Contexto y Justificación.....	35
3.1.3 Dispositivo Bajo Prueba (DUT) y Estándares de Calibración .....	35

3.1.3.1. Modos de Calibración en el FieldFox y Justificación del Uso de Modos Específicos ....	36
3.1.3.2 Importancia de la Implementación Práctica .....	37
3.1.3.2 Descripción de los componentes utilizados .....	37
3.1.3.3 Descripción de los Circuitos Utilizados.....	38
3.1.4 Procedimiento de Calibración del N9918A FieldFox.....	38
3.1.4.1 Preparación del Equipo .....	38
3.1.4.2 Selección de Estándares de Calibración (SOLT) .....	39
3.1.4.3 Ajuste de Frecuencia de Calibración .....	39
3.1.5 Verificación de la Calibración .....	40
3.1.5.1 Pruebas Iniciales de Medición .....	40
3.1.5.2 Procedimiento para Realizar una QuickCal .....	41
3.1.5.3 Conexión del DUT y Opciones de Calibración .....	42
3.1.5.4 Calibración ECal con el que Keysight FieldFox .....	42
3.1.5.5 Calibración Simple de Respuesta (Simple responsible Cal) .....	44
3.1.6 Precauciones de la Práctica. ....	46
3.1.7 Conclusión de la Práctica .....	47
<b>3.2 Necesidad de Medir los Parámetros de Radio Frecuencia y Analizar la Adaptación de Impedancia en Antena.....</b>	<b>47</b>
3.2.1 Introducción .....	47
3.2.2 Contexto y Justificación.....	48
3.2.2.1 Importancia de las Mediciones de RF en Telecomunicaciones .....	48
3.2.3 Definición y Aplicaciones de los Parámetros S.....	49
3.2.4 Configuración del Modo NA .....	49
3.2.5 Especificaciones del Equipo: Keysight N9918A FieldFox .....	50
3.2.5.1 Características Técnicas .....	50
3.2.5.2 Historia y Evolución de los Analizadores de Redes: El Analizador Portátil Keysight N9918A FieldFox.....	50
3.2.5.3 Comparación entre Analizadores Comerciales y Analizadores Libres: El Analizador Portátil Keysight N9918A FieldFox .....	51
3.2.5.3.1 Analizadores Comerciales: El Caso del Keysight N9918A FieldFox .....	51
3.2.5.3.2 Analizadores Libres .....	52
3.2.5.3.3 Ventajas y Limitaciones del Analizador Portátil Keysight N9918A FieldFox .....	52
3.2.6 Procedimiento para la Medición de Parámetros S con el que Keysight N9918A FieldFox .....	53

3.2.7 Conclusión de la Práctica .....	54
<b>3.3 Desarrollo de la Práctica de Análisis de Señales Wi-Fi y Bluetooth en la banda de 2.4 GHz..</b>	<b>55</b>
3.3.1 Introducción .....	55
3.3.2 Contexto y Justificación.....	55
3.3.3 Equipos y Componentes Utilizados.....	56
3.3.4. Procedimiento de la Práctica .....	56
3.3.5. Procedimiento para la Medición de Modo del Analizador de Espectro en Tiempo Real (RTSA).....	56
3.6 Rango de Frecuencia.....	57
3.3.6.1 Rango de Frecuencia en Modo RTSA.....	57
3.3.7 Escala y las Unidades en el Modo RTSA .....	58
3.3.8 Ganancia Externa en el Modo RTSA .....	59
3.3.9 Atenuación en el Modo RTSA.....	60
3.3.10. Preamplificador en el modo RTSA .....	61
3.3.1.1. GPS en el FieldFox .....	64
3.3.12 Conclusión de la Práctica .....	65
<b>4. Guías Prácticas.....</b>	<b>65</b>
4.1 Práctica 1: Desarrollo de Prácticas de Calibración para la Caracterización de Sistemas de Microondas en Modo NA .....	65
4.2 Práctica 2: Análisis de Adaptación de Impedancias y Mediciones de parámetros S en Redes de un Puerto: Antena.....	67
4.3 Práctica 3: Análisis de Adaptación de Impedancias y Mediciones de parámetros S en Redes de Dos Puerto .....	70
4.4 Práctica 4: Configuración y Medición en Tiempo Real de Señales con el Keysight FieldFox.	73
<b>ANEXOS .....</b>	<b>77</b>
<b>CONFIGURACIÓN Y MEDICIÓN EN TIEMPO REAL DE SEÑALES CON EL KEYSIGHT FIELDFOX.....</b>	<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFÍAS .....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Espectro Electromagnético [8] .....	20
Ilustración 2. Características del FieldFox .....	21
Ilustración 3. Panel frontal del Analizador FieldFox [12].....	25
Ilustración 4. Panel Superior del Analizador FieldFox [12].....	27
Ilustración 5. Panel Lateral Derecho del Analizador FieldFox [12].....	28
Ilustración 6. Panel Lateral Izquierdo del Analizador FieldFox [12] .....	28
Ilustración 7. Pantalla del Analizador FieldFox [12].....	29
Ilustración 8. Antena Parche a Doble Banda con Geometría Fractal.....	33
Ilustración 9. Keysight Cal Kit 85520a.....	34
Ilustración 10. Antena GPS u-blox ANN-MS- 0-005 .....	34
Ilustración 11. Pantalla para Seleccionar el Modo de Calibración [12].....	40
Ilustración 12. Pantalla para Seleccionar el Modo de Calibración [12].....	54
Ilustración 13. Densidad del Espectro de una Señal FM. [12].....	62
Ilustración 14. Densidad del Espectro en Histograma [12] .....	63
Ilustración 15. Espectro en Tiempo Real [12].....	63

## ABREVIATURAS

**RF** - Radio frecuencia.

**NA** -Network Analyzer (analizador de redes).

**SA**- Spectrum Analyzer (analizador de espectro).

**S11**- Parámetro de dispersión relacionado con la reflexión en el puerto 1.

**CAT** - Cable and Antenna Test (Prueba de Cable y Antena).

**VVM**- Vector Voltage Measurement (Medición de Voltaje Vectorial).

**GPS**- Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global).

**DUT**- Device Under Test (Dispositivo Bajo Prueba).

**SOLT** – Short, Open, Load, Thru (Corto, Abierto, Carga, Pasante-estándares de calibración).

**RTSA** - Real Time Spectrum Analyzer (Analizador de Espectro en Tiempo Real).

**FFT**- Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier).

**GNSS**- Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegación por Satélite).

**ADC**- Analog to Digital Converter (Convertidor Analógico al Digital).

**GHz** - Gigahertz, unidad de frecuencia equivalente a mil millones de hercios.

**IF**- Intermediate Frequency (Frecuencia Intermedia), utilizada en procesamiento de señales.

**LAN**- Local Area Network (Red de Área Local).

**SD**- Secure Digital, tipo de tarjeta de memoria para almacenamiento.

**ROE**- Relación de Onda Estacionaria, también conocida como SWR (Standing Wave Ratio), utilizada para medir la adaptación de impedancia.

**I/Q**- Señales en cuadratura representando componentes In-phase(I) y Quadrature (Q) en análisis de señales.

**ERTA**- Extended Range Transmission Analysis, Análisis de transmisión en un rango extendido.

**QuickCal**- calibración rápida.

## **RESUMEN**

Este proyecto de titulación tiene como objetivo desarrollar prácticas de laboratorio que permitan a los estudiantes explorar la caracterización de sistemas de microondas utilizando el analizador portátil Keysight N9918A FieldFox. Estas prácticas se han estructurado en tres actividades principales, orientadas a proporcionar a los estudiantes experiencia, práctica en el uso de dispositivos de alta frecuencia aplicados a las telecomunicaciones y otras áreas de radiofrecuencia.

En la primera práctica, los estudiantes deben llevar el proceso de calibrar el modo de analizador de redes en el analizador FieldFox, lo que representa unas mediciones exactas. Durante en proceso de actividad los estudiantes, aprenderán ajustar y configurar en el analizador con fin de minimizar los errores de sus mediciones, verificando que los datos se reflejen con exactitud y se verifique los datos reales. Posteriormente la segunda práctica se basa en obtener las mediciones de parámetros S, más que todo en el parámetro S11 debidamente utilizando una antena donde los estudiantes puedan analizaran la reflexión y la adaptación de impedancia en el área de radiofrecuencia. La actividad brinda a los estudiantes comprender como se comportan los sistemas bajo de diferentes condiciones de frecuencia y les permiten identificar problemas relacionados con la eficiencia de la señal y adaptabilidad.

Finalmente, la tercera práctica, está enfocado en el análisis de las señales Wi-Fi y Bluetooth en la banda de 2.4 GHz utilizando el Keysight N9918A FieldFox en los modos de Analizador de Espectro (SA) y Tiempo Real (Real Time SA). Los estudiantes utilizan una antena GPS y un amplificador de señal EDUP EP-AB019 esto para mejorar la sensibilidad en entornos de baja cobertura. Posterior a esto deben configuran el equipo con una frecuencia de 2.45 GHz con un ancho de banda de 100 MHz, permitiendo identificar interferencias con el fin de desarrollar destrezas en redes inalámbricas. Este conjunto de prácticas convierte al Keysight N9918A FieldFox en una herramienta muy útil en el ámbito educativo de las telecomunicaciones. Esto integra la combinación de teoría impartidas en clases y práctica esto mejora la experiencia de los futuros ingenieros y así tengan habilidades necesarias para enfrentar los desafíos técnicos de la industria.

**Palabras clave:** calibración, parámetros S, analizador de espectro, Keysight N9918A FieldFox, diagnóstico de redes inalámbricas.

## **ABSTRACT**

This degree project aims to develop laboratory practices that allow students to explore the characterization of microwave systems using the Keysight N9918A FieldFox handheld analyzer. These practices have been structured in three main activities, aimed at providing students with experience, practice in the use of high-frequency devices applied to telecommunications and other areas of radio frequency.

In the first practice, students must go through the process of calibrating the network analyzer mode on the FieldFox analyzer, which represents accurate measurements. During the activity process, students will learn to adjust and configure the analyzer in order to minimize errors in their measurements, verifying that the data is accurately reflected and the actual data is verified. Later the second practice is based on obtaining the measurements of S parameters, especially in the S11 parameter properly using an antenna where the students can analyze the reflection and impedance adaptation in the radio frequency area. The activity provides students with an understanding of how systems behave under different frequency conditions and allows them to identify problems related to signal efficiency and adaptability.

Finally, the third practice is focused on the analysis of Wi-Fi and Bluetooth signals in the 2.4 GHz band using the Keysight N9918A FieldFox in Spectrum Analyzer (SA) and Real Time (Real Time SA) modes. Students use a GPS antenna and an EDUP EP-AB019 signal amplifier to improve sensitivity in low-coverage environments. After this, they must configure the equipment with a frequency of 2.45 GHz with a bandwidth of 100 MHz, allowing interference to be identified in order to develop skills in wireless networks. This set of practices makes the Keysight N9918A FieldFox a very useful tool in the telecommunications education field. This integrates the combination of theory taught in classes and practice, this improves the experience of future engineers and thus they have the necessary skills to face the technical challenges of the industry

**Keywords:** calibration, S parameters, spectrum analyzer, Keysight N9918A FieldFox, wireless network diagnostics.

## CAPITULO I

### 1.1 Antecedentes Investigativos

El avance en el sector de telecomunicaciones ha demandado el desarrollo de tecnologías sofisticadas para la caracterización de sistemas de microondas especialmente en aplicaciones de telecomunicaciones y radar. Esta caracterización precisa es fundamental para obtener mediciones detalladas de parámetros críticos como la impedancia y la reflexión en la que determinan el rendimiento y eficiencia de los sistemas de radiofrecuencia y microonda [1]. Mediante la medición de estos parámetros es posible garantizar que los dispositivos que se emplean en la transmisión de datos operen de manera óptima bajo diversas condiciones [2].

El estudio realizado, en la Universidad Politécnica de Valencia, hecho por Hernández y su equipo, titulado “Caracterización de Sistemas de Microondas usando FieldFox”, destaca como el uso del analizador portátil Keysight FieldFox tiene mejoras en las prácticas de laboratorio [3]. Este dispositivo permite que los investigadores realicen mediciones precisas en los parámetros S, calibrando el equipo en el modo NA (Network Analyzer) esto para eliminar errores sistemáticos, asegurando los datos obtenidos se reflejen con precisión las características reales de los dispositivos que fueron analizados [4].

En las investigaciones adicionales, el proyecto titulado “Evaluación de Cobertura y Potencia LTE usando GPS y FieldFox” desarrollado en la Universidad de Sao Paulo, ellos utilizan el FieldFox para realizar un estudio de campo, ellos se centran en las mediciones de la potencia y la cobertura de la señal en redes LTE. Los resultados destacan la capacidad de este dispositivo para medir niveles de potencia de señal y esto proporcionar datos geolocalizados, esto resulta muy importante con el despliegue de las infraestructuras de telecomunicaciones en áreas extensas. Este estudio nos dice que el uso de analizadores portátiles como el FieldFox optimiza la toma de decisiones para el despliegue de redes de telecomunicaciones [5].

Es muy importante contar con herramientas de medición portátiles como el FieldFox, también es utilizado en el ámbito educativo. Varios estudios nos revelan que el uso de estos dispositivos en prácticas de laboratorio permite a los estudiantes desarrollar habilidades con la medición y análisis de sistemas de microondas, entendiendo los principios teóricos mediante la práctica. Este enfoque práctico no solo mejora los estudiantes entender, sino que también contribuye a prepararse y enfrentar desafíos reales en el ámbito de las telecomunicaciones [6].

La creciente necesidad de conectividad ha llevado al avance de tecnologías portátiles que permiten un análisis de señales inalámbricas, especialmente en las bandas de 2.4 GHz, utilizando por redes Wi-Fi y Bluetooth, ya que este tipo de análisis es fundamental para la optimizar las redes de comunicación, esto ayuda a identificar y reducir interferencias, garantizando así una transmisión de datos estable y eficiente. Las debidas herramientas avanzadas, como es el Keysight N9918A FieldFox, ha facilitado estos estudios tanto en entornos profesionales como en contexto educativos [7].

Las investigaciones realizadas en la Universidad Politécnica de Valencia mencionan cómo el uso del FieldFox permite optimizar las prácticas de laboratorio en telecomunicaciones, especialmente en los modos de Analizador de Espectro (SA) y también en el Analizador en Tiempo Real (Real Time SA). Estos estudios verifican que la capacidad del FieldFox es para realizar mediciones de espectro en tiempo real que permite identificar interferencias en redes Wi-Fi y Bluetooth, proporcionando los datos que ayudan en mejorar la calidad y el alcance de estas redes [8].

El FieldFox también fue empleado en estudios de campo para analizar la cobertura de señal en las redes Wi-Fi en diferentes entornos. Investigadores de la Universidad de Sao Pablo han documentado con el uso de la antena GPS integrada del FieldFox, combinada con un amplificador de señal, con el fin de obtener un registro geo referenciado de la intensidad de señal en áreas con cobertura limitada. Esta metodología nos permite evaluar en el cambio de la señal en diferentes puntos, ayudando que el diseño y la planificación de redes inalámbricas más eficientes en zonas urbanas y rurales [9].

El debido uso de analizadores portátiles en el ámbito de educación da nuevas innovaciones en el entorno tecnológico. Según las investigaciones estos dispositivos permiten a los estudiantes a desarrollar habilidades prácticas en el análisis de señales y el diagnóstico de redes. Al configurar el analizador FieldFox en la banda de 2.4 GHz en sus debidas condiciones reales, donde os estudiantes tienen la oportunidad de trabajar en el ámbito de interferencias y la optimización de la cobertura del área.[10].

Finalmente, el FieldFox ha demostrado ser una herramienta útil en el diagnóstico y mejora de redes Wi-Fi y Bluetooth gracias a su capacidad de combinar mediciones en tiempo real con datos de ubicación geográfica. Este tipo de funcionalidad ha sido valorada en estudios recientes, donde sé

destaca su aplicación en el despliegue de redes Wi-Fi, ya que facilita la toma de decisiones informadas basadas en datos precisos sobre la distribución de señal. Esto resulta una mejora en la estabilidad y rendimiento de las redes de comunicación en distintos entornos [11].

## **1.2 Planteamiento del Problema y Justificación**

A nivel educativo, se ha identificado una carencia de guías prácticas que permitan a los estudiantes realizar caracterizaciones de sistemas de microondas usando equipos avanzados como el FieldFox. Esta falta de recursos limita con el desarrollo de competencias prácticas y conocimientos técnicos que son esenciales para los nuevos profesionales en telecomunicaciones. La falta de material en base a las capacidades del FieldFox y la ausencia de prácticas, en la que impiden que los estudiantes comprendan los principios de calibración, la medición de parámetros S y análisis de la potencia en entorno controlado.

Se desarrolla las prácticas en el laboratorio para que los estudiantes comprenden de forma teórica y puedan tener experiencia práctica al utilizar el analizador portátil de microondas, estas actividades diseñadas para fortalecer las habilidades de los estudiantes con su proceso de calibración, medición del parámetro S11 y análisis de señales Wi-Fi y Bluetooth en el área.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar prácticas de laboratorio que permitan la caracterización de sistemas de microondas mediante el uso del analizador portátil Keysight N9918A FieldFox, facilitando el aprendizaje y dominio de técnicas de medición y análisis de señales Radio Frecuencia.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Implementar una práctica para calibrar en el modo NAT y mejorar la exactitud de las mediciones.
- Realizar las respectivas mediciones y análisis del parámetro S11 para obtener resultados y establecer ajustes de impedancia en la antena.
- Diseñar una práctica para analizar señales Wi-Fi y Bluetooth, utilizando una antena GPS y un amplificador de señales EDUP EP-AB019 y diagnosticar la intensidad, calidad de la señal en la banda de 2.4 GHz.

## **1.4 Alcance del Proyecto**

El proyecto consiste en tres prácticas, en las cuales están diseñadas para que los estudiantes obtengan conocimientos específicos en la caracterización de sistemas de microondas, dando uso al analizador portátil Keysight FieldFox, estas prácticas se desglosan en las siguientes:

### **Práctica 1: Calibración en Modo NA**

En esta práctica los estudiantes se instruyen en el proceso de calibración mediante el modo Network analyzer (NA) del FieldFox. Este se enfoca en la configuración de los estándares de calibración utilizando el método SOLT (Short, Open, Load, Thru) y además se hace los respectivos ajustes precisos en el equipo para minimizar errores sistemáticos. Este ejercicio es fundamental para asegurar la exactitud en las mediciones de parámetros S, que son componentes importantes en el análisis detallado de los sistemas de microondas.

### **Práctica 2: Medición de Parámetros S con Antena**

La segunda práctica se centra en la medición del parámetro S11 en la que permite evaluar el ajuste de la impedancia y la reflexión en antenas utilizando el FieldFox, aquí es donde los estudiantes pueden realizar mediciones para analizar la respuesta de la antena en diferentes frecuencias, evaluando su eficiencia bajo diversas condiciones, en esta actividad ayuda a identificar problemas relacionados con el ajuste de la impedancia y a optimizar la transmisión de señal, en la que contribuye al análisis de dispositivos de radio frecuencia.

### **Práctica 3: Análisis de Señales Wi-Fi y Bluetooth con la banda de 2.4 GHz**

En esta práctica, se establece en realizar el análisis de señales Wi-Fi y Bluetooth en la respectiva banda de 2.4 GHz utilizando el analizador FieldFox, en los modos el Analizador de Espectro (SA) y también vamos a obtener la medición en Analizador en Tiempo Real (Real-Time SA). Para mejorar la sensibilidad en áreas de cobertura baja, se emplea en una antena GPS y un amplificador de señal EDUP EP-AB019. Donde es configurado a 2.45 GHz con un ancho de banda la cual es de 100 MHz, este enfoque ayuda a identificar interferencias en las señales de Wi-Fi y Bluetooth donde permite desarrollar habilidades con el diagnóstico de redes inalámbricas.

## 1.5 Fundamentación Teórica

### 1.5.1 Conceptos Básicos de Microondas

Las microondas son un tipo de onda electromagnética que abarca frecuencias entre 300 MHz sí 300 GHz, correspondientes a longitudes de onda que varían de 1 metro a 1 milímetro. Estas ondas se encuentran en el espectro electromagnético entre las ondas de radio y el infrarrojo, lo cual las hace únicas en términos de sus propiedades de transmisión y su capacidad para propagarse en línea recta sin una pérdida significativa de energía. Esta característica es aprovechada en diversas aplicaciones, en especial aquellas que requieren una transmisión directa y precisa, como en las comunicaciones por satélite y los sistemas de radar [8].

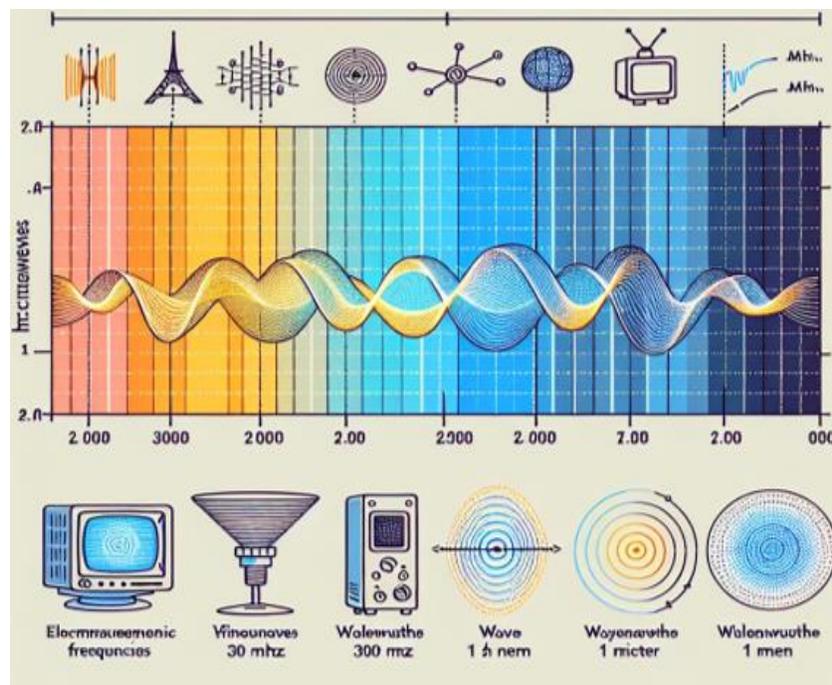


Ilustración 1. Espectro Electromagnético [8]

En el entorno de las telecomunicaciones, las microondas se destacan como parte fundamental donde permiten la transmisión de los datos con altas velocidades a largas distancias donde no utilizan cables. Es especialmente una aplicación donde el cableado es poco habitual como en los sistemas de telefonía móvil ya no utilizamos aquello, los enlaces de comunicaciones satelitales y redes Wi-Fi son más esenciales en la actualidad. Además, en este ámbito, las microondas poseen la capacidad de transmitir grandes volúmenes de información con interferencia baja, lo que es importante la eficiencia de las comunicaciones modernas[9].

### 1.5.2 Aplicaciones en Telecomunicaciones y Radar

Las microondas juegan un rol esencial en el campo de las telecomunicaciones, permitiendo la transmisión de datos a altas velocidades sin necesidad de un soporte físico como cables. Esto es especialmente beneficioso en situaciones en las que el cableado es complicado o poco práctico como en zonas rurales o áreas de difícil acceso. Las microondas son el pilar de tecnologías modernas como la telefonía móvil, los enlaces de comunicación satelital y las redes Wi-Fi, gracias a su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos con interferencia mínima[9]

Además, en la comunicación satelital las microondas permiten establecer conexiones a largas distancias entre satélites y estaciones terrestres. Esto es fundamental para la transmisión global de señales de televisión, el acceso a Internet y las llamadas de larga distancia. Los satélites que orbitan la tierra reciben y transmiten señales de microondas que pueden recorrer grandes distancias sin necesidad de repetidores intermedios, lo cual simplifica la infraestructura necesaria y reduce los costos de operación[8].

### 1.5.3 Características del FieldFox y su Aplicación en las Telecomunicaciones

El analizador portátil Keysight FieldFox presenta una serie de características en las que son utilizadas según el tipo de usuario que lo vaya a medir, aquí permite adaptarse a necesidades específicas en el entorno de las telecomunicaciones. A continuación, se describen las principales ventajas para fabricantes, usuarios finales y proveedores.

Fabricantes	Proveedores	Usuarios finales
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ofrecen configuración flexible y actualizaciones de software para reducir costos y extender la vida útil del equipo.</li><li>• Por ejemplo, Keysight, Anritsu</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Facilitan mejoras de rendimiento y funcionalidad mediante actualizaciones remotas y estandarización de plataformas.</li><li>• Por ejemplo, Tektronix, Rohde &amp; Schwarz</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permiten ajustes funcionales sin hardware adicional y posibilitan análisis en campo de redes y sistemas de microondas.</li><li>• Por ejemplo, operadores de telecomunicaciones como AT&amp;T, Verizon</li></ul>

Ilustración 2. Características del FieldFox

### **1.6 Desarrollo de material educativo y documentación técnica**

- **Diseño de Ejercicios Prácticos:** Se diseñan actividades que guían a los estudiantes en la configuración, calibración y uso del FieldFox, integrando teoría y práctica en la caracterización de sistemas de microondas.
- **Documentación:** Se realizan informes técnicos en la que incluyen gráficos, tablas y análisis comparativas de datos recolectados, dando así recursos de referencia que aporten a la comprensión de los conceptos de radio frecuencia.

### **1.7 Resultados Esperados:**

- Informe Técnico Completo un informe detallado que documente todas las configuraciones, calibraciones, mediciones y análisis realizados con el Keysight N9918A FieldFox. Este informe incluirá gráficos y tablas que presenten los parámetros S ( $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ) resultados de los análisis de Wi-Fi y Bluetooth.
- Guías Educativas, Tutoriales y desarrollo de guías específicos sobre el uso del FieldFox en la medición de parámetros S, calibración y análisis de señales RF, orientados al aprendizaje práctico de estudiantes de telecomunicaciones.
- Ejemplos Prácticos y Ejercicios de laboratorio actividades de laboratorio y ejercicios aplicables al currículo de telecomunicaciones, que incluyen la configuración y medición de parámetros y análisis de señales Wi-Fi y Bluetooth en sistemas de microondas.

### **1.8 Conclusión**

En esta parte de las prácticas de laboratorio, el debido uso del analizador portátil que Keysight N9918A FieldFox se enfoca en un avance significativo en la formación a nivel educativo de carrera de telecomunicaciones. Este equipo permite que los estudiantes lleven a cabo la práctica de calibraciones, donde puedan medir los parámetros fundamentales de radio frecuencia y puedan hacer un análisis señales Wi-Fi y Bluetooth, estas prácticas fortalecerán el conocimiento teórico en las prácticas, donde es importante tener una comprensión de los conceptos técnicos.

## **CAPITULO II**

### **Metodología**

En este capítulo se detallan los respectivos métodos y procedimientos importantes utilizados para llevar a cabo las prácticas de laboratorio enfocadas en determinar el sistema de microondas con el analizador portátil que Keysight N9918A FieldFox. Se presentan las técnicas de investigación que posteriormente emplea los recursos de hardware y software necesarios para alcanzar los objetivos principales.

Las prácticas de laboratorio determinan un enfoque eficiente donde se establece un conocimiento de teoría y práctica, permitiendo que los estudiantes tengan el proceso científico de emplearlos. Este sistema educativo nos induce a fomentar la formulación de hipótesis, el trabajo en equipo y el desarrollo de habilidades científicas, a través de la experiencia se enfoca en el proceso de los estudiantes para enfrentar situaciones reales en el área de las telecomunicaciones.

### **2.1 Métodos de la Investigación**

#### **Investigación Bibliográfica**

En la fase inicial del proyecto, se realizó una revisión detallada de la literatura sobre métodos de calibración y medición en sistemas de alta frecuencia, con especial énfasis en el uso de analizadores de red portátiles como el que Keysight FieldFox. Esta investigación incluyó la consulta de artículos científicos, manuales técnicos y publicaciones en bases de datos especializadas como Google Scholar.

Este análisis teórico proporcionó los fundamentos necesarios para la implementación del método de calibración SOLT (Short, Open, Load, Thru) y otros procedimientos de medición en radio frecuencia y microondas aportando un soporte eficiente para las prácticas de laboratorio.

#### **Investigación Experimental**

En esta fase experimental se establece actividades prácticas para determinar sistemas de microondas, empezando con la calibración en el modo Network analyzer (NA). Durante esta sección, se ajustando los parámetros de calibración que minimizan los errores en las mediciones y se configuró el analizador FieldFox y, en la que permitió obtener resultados eficientes. Esta

práctica inicial ayudo a los respectivos estudiantes la comprensión sobre la importancia de la calibración para garantizar la fiabilidad en las mediciones de alta frecuencia en las áreas.

Luego de la actividad anterior se va al proceso de medición para los parámetros S1.1 donde se utiliza la antena, con el propósito principal de analizar la reflexión y la adaptación de impedancia de radio frecuencia del área. Esta actividad ofreció a los estudiantes su calidad de poder evaluar el comportamiento de los parámetros S en su debida frecuencia, lo que establece como identificar los s problemas relacionados de la transmisión de datos del área.

Finalmente, en la tercera práctica, se estableció un análisis de señales Wi-Fi y Bluetooth en la banda de 2.4 GHz, donde utilizamos el analizador FieldFox en los modos de Analizador de Espectro (SA) y Tiempo Real (Real Time SA), se configuró el equipo a 2.45 GHz con un ancho de banda de 100 MHz, y con su respectiva una antena GPS conectada con un amplificador de señal e EDUP EP-AB019, aquí los estudiantes lograron mejorar la sensibilidad del equipo en áreas de cobertura baja, identificando interferencias en señales inalámbricas y así desarrollando competencias en el diagnóstico de redes Wi-Fi y Bluetooth.

## **2.2 Materiales**

### **2.1 Hardware**

El analizador portátil Keysight N9918A FieldFox es un dispositivo avanzado utilizado en la caracterización de sistemas de microondas, especialmente en aplicaciones de telecomunicaciones y análisis de radio frecuencia en campo. Este equipo permite realizar múltiples mediciones, como análisis de parámetros S, pruebas de potencia y calibración adaptándose a diferentes condiciones de uso. En esta sesión de la práctica del laboratorio de este proyecto, se utilizó el analizador FieldFox donde tenemos en tres modos claves. El dispositivo está diseñado para soportar condiciones de trabajo fuertes y exigente donde los estudiantes facilitan su uso tanto en laboratorio como en campo del área de telecomunicaciones dando así su respectiva experiencia en este entorno, donde convierte en una herramienta valiosa para la enseñanza y el análisis práctico.

### **Descripción del analizador portátil FieldFox**

#### **Panel Frontal**



Ilustración 3. Panel frontal del Analizador FieldFox [12]

1. **Encendido:** permite encender, poner en modo de espera o apagar el FieldFox. Al presionar momentáneamente se enciende. Con el FieldFox encendido, un toque breve lo pone en modo de espera. Para apagarlo, se debe presionar y mantener hasta que el dispositivo se apague.

2. **LED:** El indicador LED muestra el estado del FieldFox, si no está iluminado, el dispositivo está apagado y sin carga. Un LED verde indica que el FieldFox está encendido. Un LED naranja con parpadeo rápido indica modo de espera y un parpadeo lento indica que está en el proceso de carga.
3. **Sistema:** Acceso a un submenú que permite configurar diversas opciones del sistema del FieldFox.
4. **Teclas de Función:** Se seleccione la debida medición como Freq/Dist, Scale/Amptd, BW, Sweep, Trace, Meas Setup, Measure y Mode, donde son principales para ajustar parámetros específicos.
5. **Preset:** Restaura el FieldFox a un estado conocido, útil para iniciar con una configuración predeterminada al comienzo de una nueva medición.
6. **Enter:** Permite seleccionar y configurar los ajustes del equipo. Dando así que en su medición se puede establecer su valor en analizar.
7. **Marcador:** Se puede seleccionar el dónde se requiere los resultados y analizar los puntos del gráfico de datos.
8. **Mkr→Tools:** Abre un submenú donde brinda opciones adicionales para poder establecer marcadores en el análisis de datos.
9. **Esc:** Sale del cuadro de entrada activa o borra el texto o valor ingresado en el dispositivo.
10. **Guardar/Recuperar:** Permite guardar datos actuales en la memoria de esta manera poder analizar cada grafica que nos arroje en el respectivo análisis del equipo.
11. **Límite:** Se determina un límite para la medición que se va a realizar.
12. **Ejecutar/Detener:** Alterna entre el modo de operación continua y el modo de retención, útil para detener temporalmente la medición.
13. **Calibrar:** En esta parte se puede ir a la sesión donde se puede hacer las respectivas calibraciones de equipo.
14. **Flechas (▲ ▼):** Aquí se utilizan para poder disminuir o aumentar dichos valores.
15. **Atrás:** Se puede regresar al menú o posterior también se puede volver, dando así útil para navegar.
16. **Perilla Giratoria:** Se puede seleccionar de manera rápido en cuestión a valor numéricos.
17. **Teclas Suaves:** Aquí tenemos botone que nos permiten seleccionar diversas configuraciones y posteriormente realizar mediciones.

**18. Pantalla:** Pantalla traslativa diseñada para hacer visible en diversas condiciones de iluminación lo que permite trabajar al aire libre o en interiores. La pantalla debe limpiarse con un paño sin pelusa y alcohol isopropílico para mantener su claridad y funcionalidad.

### Panel Superior



Ilustración 4. Panel Superior del Analizador FieldFox [12]

1. **Salida RF Puerto 1:** Se utiliza para realizar mediciones de reflexión en los modos CAT y NA. Admite un voltaje máximo de  $\pm 50$  VDC y una salida de potencia de hasta  $\pm 27$  dBm RF. También funciona como salida de fuente en el modo SA.
2. **Entrada RF SA Puerto 2:** En el modo SA, permite realizar todas las mediciones. En los modos CAT, NA Y VVM, se emplea para realizar mediciones de transmisión en el Puerto 2, con un límite de  $\pm 50$  VDC y una potencia máxima de  $\pm 27$  dBm RF.
3. **Antena GPS:** En esta parte tenemos un conector SMA(f) para el GPS, donde proporciona un voltaje de polarización de 3,3 VDC, necesario para el funcionamiento del respectivo preamplificador de la antena, en la cual es compatible con las antenas GPS como el modelo N9910X-825 como también otras antenas GPS.
4. **Entrada de Referencia/ Entrada de Disparo:** El dispositivo cuenta con un conector SMA en la que va conectado a la fuente de referencia de la señal para poder recibir los datos externos, recordando que la entrada se alimenta máximo de 5.5 VDC del dispositivo.

## Panel Lateral Derecho



Ilustración 5. Panel Lateral Derecho del Analizador FieldFox [12]

1. **LAN:** Proporciona una conexión a internet para leer datos de trazado y conectar el FieldFox de forma remota mediante el software FieldFox Data Enlace.
2. **IF Out:** Ofrece una salida de frecuencia intermedia (IF) utilizada en el modo SA para el procesamiento de señal externa.
3. **Ref/Trig Out:** Este conector funciona como fuente de referencia de frecuencia y salida de disparo en el modo ERTA, lo que nos facilita para sincronizar y referenciar en las mediciones de transmisión de área.
4. **Tarjeta SD:** El equipo incluye una ranura de tarjeta Secure Digital (SD) en la que permite expandirla memoria para almacenar datos adicionales del equipo.
5. **Mini-USB:** En los modelos el puerto mini-USB se conecta al puerto USB donde es estándar de una computadora y se pueda enviar comandos SCPI.
6. **USB:** El dispositivo cuenta con 2 puertos estándar donde se puede conectar un sensor de modo Power Meter facilitando un almacenamiento de archivos donde se puede enviar a un flash de memoria.

## Panel Lateral Izquierdo

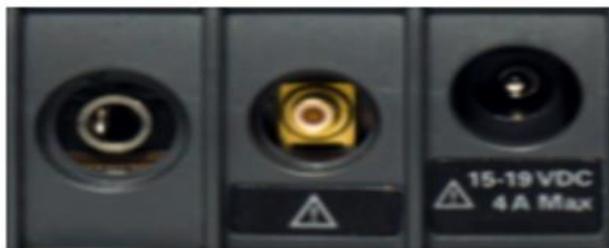


Ilustración 6. Panel Lateral Izquierdo del Analizador FieldFox [12]

1. **Salida de Audio:** Proporciona una toma de salida de audio para su uso en el modo SA, permitiendo la función de sintonización y escucha en señales AM/FM.
2. **Fuente de Voltaje DC:** El equipo cuenta con una fuente de voltaje de corriente continua (DC) en la que se pueda utilizar en aplicaciones que requieren una polarización externa DC.
3. **Conector de Alimentación DC:** El analizador tiene una conexión de alimentación de corriente continua (DC) para el respectivo adaptador AC/DC, con un límite máximo de 4 ADC y 19 VDC.

### Recorrido por la Pantalla

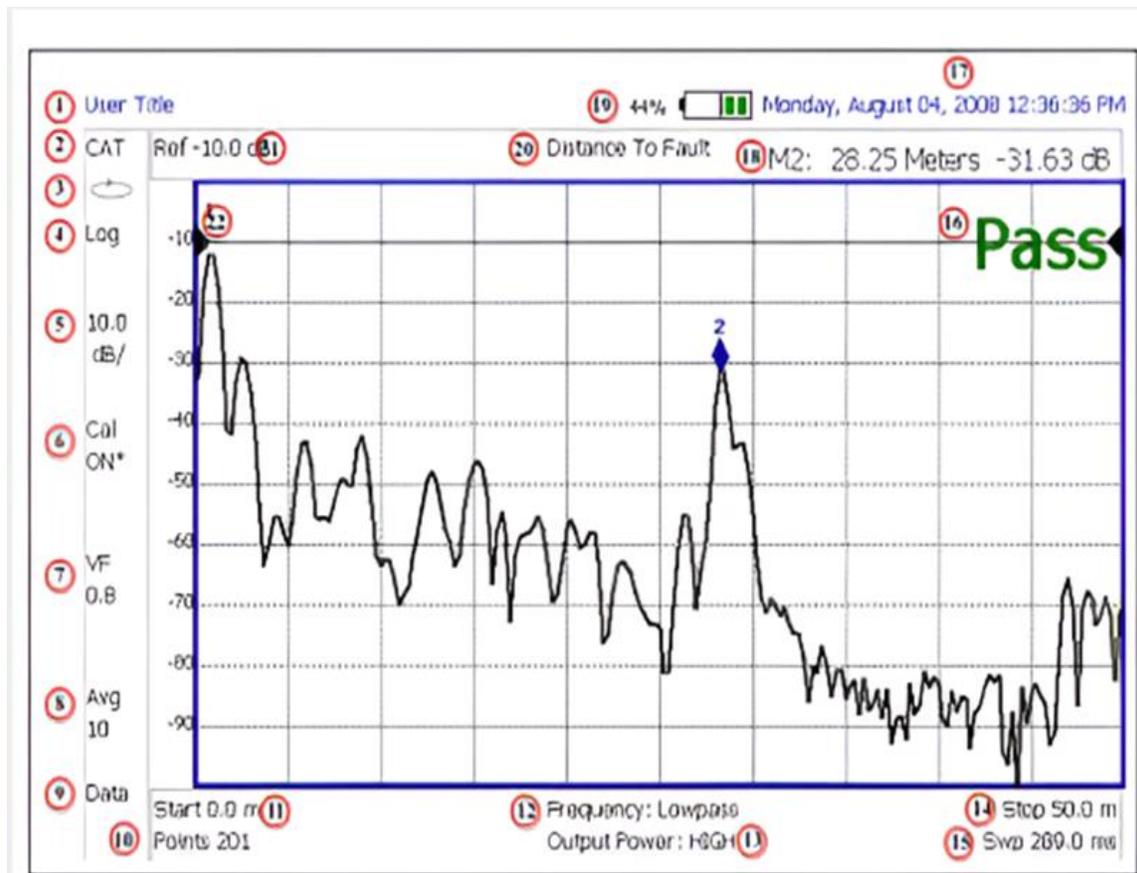


Ilustración 7. Pantalla del Analizador FieldFox [12]

1. **Título:** Permite personalizar el título de la pantalla para cada medición
2. **Modo Actual:** Indica el modo de operación activo del equipo.

3. **Ejecutar/Mantener:** Alterna entre la ejecución continua y la retención de la medición actual.
4. **Formato de Pantalla:** Configuración de la disposición visual de los datos ajustada según el modo de operación.
5. **Escala/División:** Configuración de la escala y la división de la pantalla, específica al modo de operación.
6. **Estado de Calibración (CAT y NA):** Aquí nos refleja el estado de calibración del equipo con los modos de Prueba de Cables, Analizador de Redes (NA) y también las antenas (CAT).
7. **Método de Detección (SA):** Especifica el método de detección de señal en el modo de analizador de espectro (SA).
8. **Factor de Velocidad (Medición de Fallo):** Se configura el factor de velocidad para las debidas mediciones de distancia con fallos.
9. **Estado de Promedio y Conteo:** Muestra el estado y el número de promedios realizados, ajustado por el modo de operación.
10. **Pantalla de Datos/Memoria (CAT y NA) / Paso/FFT (SA):** Muestra el tipo de visualización de datos en función del modo de operación.
11. **Configuración de Resolución:** Define la resolución de la medición adaptada al modo de operación.
12. **Frecuencia de Inicio de Medición o Distancia:** Configura el punto de inicio de la medición en frecuencia o distancia, según el modo.
13. **Configuración de Ancho de Banda de Paso/Ancho de Banda IF en el Modo NA:** En esta función nos permite ajustar el ancho de banda de paso y el ancho de banda intermedio en el modo de analizador de redes.
14. **Nivel de Potencia de Salida:** Se define el nivel de potencia de salida con los respectivos modos de Prueba de Cables, CAT y NA.
15. **Frecuencia de Parada de Medición o Distancia:** Se configura el punto final de la medición en frecuencia del análisis.
16. **Tiempo Real de Barrido:** Muestra el tiempo de barrido actual en función del modo.
17. **Estado de Línea Límite:** Indica si se han configurado líneas límite para análisis de paso/fallo en la medición.

18. **Fecha y Hora:** Muestra la fecha y la hora actual es del equipo configuradas por el usuario.
19. **Lectura del Marcador:** Presenta la lectura actual del marcador activo en la pantalla.
20. **Estado de la Batería:** Muestra el nivel de carga de la batería del equipo.
21. **Tipo de Medición (CAT y NA):** Se establece el tipo de medición seleccionada en los modos.
22. **Adquisición:** Configura el estado de adquisición de la medición.
23. **Posición de Referencia:** Ajusta la posición de referencia para la medición en la pantalla.

### Uso de la Batería

Al recibir el analizador FieldFox, la batería de iones de litio se encontrará fuera del equipo y si se encuentra la batería dentro del equipo tendría que estar cargada en un 30%, con el fin de proteger su vida útil. Esta batería no presenta efecto memoria, lo significa que se puede utilizarse en su nivel de carga actual. Si el equipo tiene una carga completa, su respectiva batería puede alimentar al analizador FieldFox durante unas tres horas. El dispositivo durante este tiempo se puede utilizar sin ningún problema, en la cual se recomienda cargar la batería por completo.

La carga de la batería puede verificarse en tres ubicaciones:

- En la esquina superior derecha de la pantalla.
- en la pantalla de batería accediendo a través de System>Service Diagnostics> Battery.
- En la batería misma, abriendo la puerta del compartimento de la batería en el FieldFox para ver la pantalla LCD.

Para con para conservar la energía de la batería:

- Utilice la función Run/Hold para activar una medición única cuando sea necesario; el estado “Hold” aparecerá en pantalla.
- Presione System, luego Display y después Brightness. Utilice las flechas, el mando giratorio o el teclado numérico para ajustar el brillo y atenuar la pantalla del FieldFox tanto como sea posible.

Cuando el FieldFox funciona solo con la batería puede permanecer en modo de espera durante un máximo de cuatro horas antes de apagarse automáticamente, si la carga relativa de la batería desciende aproximadamente un 20% el FieldFox se apagará para conservar la carga restante.

Se debe utilizar únicamente el cargador específico de FieldFox para la recarga. La batería puede alcanzar una carga completa en aproximadamente cuatro horas, tanto si el equipo está encendido como apagado. Alternativamente, también es posible cargar la batería externamente en un tiempo similar usando el cargador externo. Además, si se retira la batería, el FieldFox puede seguir operando mediante el uso del adaptador AC/DC.

### **EDUP EP-AB019**

El amplificador EDUP EP-AB019 tiene como señal Wi-Fi donde trabaja en la frecuencia de 5.8 GHz donde nos brinda una potencia de salida de 4W. Este equipo está diseñado para mejorar la recepción de señales Wi-Fi y transmisión, siendo fundamental para las aplicaciones como drones y comunicaciones de largo alcance, el dispositivo nos ayuda a amplificar la señal, donde el alcance y la estabilidad de la conexión en áreas de la señal Wi-Fi incrementa.

Características	Descripción
Frecuencia de operación	5.8 GHz
Potencia de salida	4 W
Modos de uso	Amplificación de señal wifi para drones y aplicaciones de largo alcance.
conexión	Fácil integración con sistema Wifi y drones.
Tipo de antena compatible	50 ohm
Voltaje de operación	12 V
Material	Carcasa resistente para uso en exteriores.

**Tabla 1.** Característica de Amplificador EDUP EP-AB019

## Antena Parche a Doble Banda con Geometría Fractal

La antena parche a doble banda con geometría fractal es un tipo de antena diseñada para operar en dos bandas de frecuencia distintas. Su estructura fractal optimiza el espacio, permitiendo un diseño compacto y eficiente para aplicaciones de radio frecuencia y microondas. Esta antena cuenta con una alta capacidad de adaptación en diversas frecuencias, mejorando el rendimiento en aplicaciones donde se requiere recepción y transmisión de señal en diferentes bandas. La estructura de geometría fractal también proporciona una mayor ganancia y ancho de banda, haciendo que esta antena sea ideal para aplicaciones en comunicaciones móviles y sistemas inalámbricos.



Ilustración 8. Antena Parche a Doble Banda con Geometría Fractal

## Keysight Cal Kit 85520A

EL conjunto de calibración Keysight está diseñado para ser utilizado en aplicaciones de alta precisión como en sistemas de radio frecuencia y microondas. Este kit contiene conectores tipo 3.5 mm (macho) con su respectiva impedancia de 50 ohmios donde se puede operar en un rango de frecuencias que va desde DC hasta 26.5 GHz. Proporciona un estándar confiable que ayuda a minimizar errores en las mediciones y asegurando una mayor precisión en el análisis

Este kit es ideal especialmente adecuado para la calibración de analizadores de redes y otros equipos de prueba en entornos de alta frecuencia. Su construcción permite soportar un nivel

moderado físico, cuando se manipule se debe tener cuidado y se eviten golpes mecánicos que puedan dañar los conectores ya que tiene que ser muy cuidadoso con el kit.



Ilustración 9. Keysight Cal Kit 85520a

### **Antena GPS u-blox ANN-MS- 0-005**

La Antena GPS u-blox ANN-MS- 0-005 está diseñada específicamente para mejorar la recepción de señal GPS con un sistemas de navegación y localización, incluye un cable largo para facilitar su localización en su respectivas zonas donde la señal de GPS, aquí se puede captarse con mayor claridad. Esta antena proporciona alta precisión y estabilidad lo que se determina ideal para aplicaciones en sistemas de geolocalización, telemetría y monitoreo de vehículos.



Ilustración 10. Antena GPS u-blox ANN-MS- 0-005

Su diseño compacto y eficiente garantiza un rendimiento óptimo tanto en sus respectivos entornos urbanos y rurales permitiendo una conexión constante y confiable.

## **CAPITULO III**

### **3.1 Desarrollo de Prácticas de Calibración para la Caracterización de Sistemas de Microondas en Modo NA, CAT y VVM.**

#### **3.1.1 Introducción**

La calibración es principalmente este proceso de medición de sistemas de microondas, especialmente al utilizar analizadores de red portátiles como es el Keysight N9918A FieldFox. Este proceso permite que el equipo ofrezca mediciones exactas al minimizar los errores del sistema, los que son causados por cables y conectores en el equipo. Gracias a la respectiva calibración establece que las lecturas de impedancia, pérdida de retorno y parámetros S estén alineadas con los estándares internacionales de medición con sus resultados.

En este capítulo, se empleará el método de calibración SOLT (Short, Open, Load, Thru), que es ampliamente reconocido en la industria y se adapta a las configuraciones del equipo mediante cuatro puntos de referencia. El objetivo es proporcionar un procedimiento detallado y claro que ayude a otros usuarios replicar las mediciones y obtener resultados precisos en sus aplicaciones

#### **3.1.2 Contexto y Justificación**

La precisión y determinación de sistemas de alta frecuencia dependen de un proceso de calibración fiable, en la que permite corregir errores sistemáticos que son inherentes tanto al equipo como los componentes conectados. Si estos errores no se abordan, pueden impactar directamente en la precisión de los resultados obtenidos en parámetros críticos, como la impedancia y la pérdida de retorno por ende hay que verificar aquello. El analizador portátil Keysight N9918A FieldFox cuenta con modos de calibración específicos que permiten realizar estas correcciones con un alto grado de exactitud.

#### **3.1.3 Dispositivo Bajo Prueba (DUT) y Estándares de Calibración**

- El dispositivo bajo prueba puede variar según el tipo de aplicación y las debidas mediciones a realizar en la actividad. Los DUTs más conocidos son con mediciones por cables, antenas,

líneas de transmisión y amplificadores de radio frecuencia dando así sus respectivas mediciones exactas donde se utilizan estándares de calibración específicos del área.

- Estándares de Reflexión (OPEN, SHORT, LOAD): Estos componentes reflejan las señales de radio frecuencia de manera controlada donde permite al analizador FieldFox establece un patrón de referencia al calibrar. El estándar OPEN simula un circuito abierto que genera una reflexión total de la señal sin ninguna carga conectada. Este estándar se puede replicar simplemente dejando un cable desconectado en el extremo, aunque es un estándar de precisión es preferible, por otro lado, el estándar SHORT también produce una reflexión completa, pero altera la fase de relación OPEN, creando una referencia de fase distinta, por su otra parte, el estándar LOAD absorbe la señal incidente, devolviendo una cantidad mínima de señal reflejada.

### **3.1.3.1. Modos de Calibración en el FieldFox y Justificación del Uso de Modos Específicos:**

El analizador portátil Keysight N9918A FieldFox ofrece varios modos de calibración, cada uno diseñado para cumplir funciones específicas en los dispositivos de alta frecuencia. Estos modos permiten optimizar pruebas como los diagnósticos en componentes de radio Frecuencia, proporcionando ajustes que se adaptan a las necesidades de precisión y al entorno de la medición, cada una con ventajas específicas como son las siguientes:

- Modo NA (Analizador de Redes): Este modo permite medir los parámetros de dispersión o parámetros S, como S11 y S21, que describen las características de reflexión y transmisión del dispositivo bajo prueba (DUT). Es especialmente útil en las antenas y otros dispositivos, donde se evalúan parámetros como la adaptación de impedancia y la pérdida de retorno. La calibración en el modo NA, cuando se realiza con una calibración mecánica, asegura una mayor precisión al eliminar errores sistemáticos como las reflexiones internas y pérdidas de inserción, garantizando que las mediciones reflejen con exactitud la respuesta del DUT sin distorsiones por parte del equipo o las conexiones
- Modo CAT (Prueba de Cable y Antena): El modo es especialmente adecuado para el diagnóstico de sistemas de telecomunicaciones, ya que permite evaluar la integridad, compatibilidad de cables y antenas, este modo permite identificar problemas de transmisión, como pérdidas, discontinuidades o deficiencias de la adaptación de

impedancia, como aspectos esenciales en la instalación y mantenimiento de infraestructuras del área. Estas pruebas de campo permiten que QuickCal resulte beneficiosa.

- Modo VVM (Medición de Voltaje Vectorial): Este modo se centra en medir las diferencias en fase y magnitud de la señal, proporcionando un resultado detallado en el rendimiento del dispositivo donde se encuentra en bajo diversas condiciones operativas.

**Objetivos de la práctica:** Determinar la calibrar y configurar en el analizador Keysight N9918A FieldFox en los modos como Medición de Voltaje Vectorial, Prueba de Cable y Antena y Analizador de Redes de alta frecuencia donde los estudiantes vallan obteniendo conocimientos de las características y funcionalidades del equipo de sistemas de microondas en el área en telecomunicaciones.

### **3.1.3.2 Importancia de la Implementación Práctica**

- Realización de mediciones prácticas: Llevar a cabo mediciones prácticas con el Keysight N9918A FieldFox en los modos NA, CAT y VVM es esencial para una comprensión profunda de los sistemas de radio frecuencia y microondas acercando a los estudiantes a aplicaciones reales en telecomunicaciones y radar.
- Mejora en la calidad de la comunicación: la implementación de mediciones en filtros pasa bajas y pasa altas garantiza que solo las señales deseadas se transmitan y reciban con claridad esto no solo mejora la calidad de las comunicaciones, sino que también ayuda los estudiantes a entender la importancia de un análisis preciso de componentes clave en circuitos RF.

### **3.1.3.2 Descripción de los componentes utilizados**

- Describir los procedimientos de calibración en modo NA, CAT y VVM, incluyendo calibraciones de uno y dos puertos.
- Determinar los componentes y parámetros a medir y analizar en cada modo, así como los métodos de corrección de errores aplicados.
- Especificar el equipo y software a utilizar para el control y análisis de los datos recopilados en el proceso de caracterización.

### **3.1.3.3 Descripción de los Circuitos Utilizados**

#### **Circuito RLC en Paralelo**

En el análisis de un circuito RLC en paralelo con el Keysight N9918A FieldFox, los componentes, resistencia, inductor y capacitor se encuentran conectados en ramas independientes que comparten los mismos puntos de referencia de tensión. Esta disposición permite que el FieldFox mida la respuesta del circuito en condiciones donde la tensión se mantiene constante en cada componente, pero las corrientes varían según las propiedades de cada uno. La configuración en paralelo es adecuada para examinar cómo responde el circuito ante diferentes condiciones de carga, tensión y el FieldFox permite realizar un ajuste preciso del rango de frecuencias y una calibración específica para circuitos en paralelo. La capacidad de este analizador para registrar los datos con alta precisión facilita la obtención de información detallada sobre la distribución de corriente y tensión, proporcionando una caracterización completa del comportamiento del circuito en diversas frecuencias.

#### **Circuito RLC en Serie**

En esta parte el análisis de un circuito en serie en el dispositivo como es el analizador Keysight N9918A FieldFox en la cual permite medir cada componente como es el capacitor, resistencia, el inductor en la que también puede estar conectados en una trayectoria de corriente en el circuito, en esta sesión de configuración la corriente fluye a través de los elementos que están en tensiones donde puede variar las características eléctricas por el circuito en la cual el uso del analizador estudia la resonancia del circuito en la que trabaja la frecuencia y puede actuar un filtro donde puede reducir la impedancia y su total de un equilibrio entre las reactancias capacitiva e inductiva, esto permite observar el cambio de la corriente e impedancia en el circuito donde nos refleje su debida frecuencia resonante.

### **3.1.4 Procedimiento de Calibración del N9918A FieldFox.**

#### **3.1.4.1 Preparación del Equipo**

Antes de comenzar calibración primero se debe preparar adecuadamente el equipo teniendo en cuenta su debida batería que este óptima para el uso del equipo. El analizador FieldFox tiene que contar con todos los kit preparados para el uso de aquello donde incluye lo que son cables y

adaptadores compatibles al analizador, para poder realizar una medición precisa y se pueda verificar lo que son cables y conectores en buenas condiciones.

El analizador portátil debe colocarse sobre una superficie estable y bien ventilada para evitar interferencias durante el proceso. Se recomienda también asegurarse de que el equipo esté completamente cargado para evitar interrupciones.

#### **3.1.4.2 Selección de Estándares de Calibración (SOLT)**

El método de calibración SOLT utiliza cuatro estándares específicos, cada uno con una función en la configuración del equipo. Posteriormente, se describe cada uno:

- Estándar de Circuito Abierto (OPEN): Este estándar es fundamental para la calibración inicial, se debe conectar el estándar de circuito abierto al puerto de medición del analizador. Este ajuste del equipo es una referencia de medición. Al aplicar este estándar, el analizador reconoce la condición de “circuito abierto” y ajusta internamente sus parámetros en el dispositivo.
- Estándar de Circuito Corto (SHORT): En este paso que se conecta un estándar que representa un “corto circuito” en el puerto del analizador. Al ajustar permite al equipo registrar la referencia de impedancia en esta condición.
- Estándar de carga (LOAD): Aquí la carga generalmente consiste en una resistencia de 50 ohmios en la que se conecta al puerto de medición. En este paso se configura al analizador para una condición de referencia de carga ideal del estándar.
- Thru (Conexión de Paso Directo): Se realiza conectando un cable de paso directo entre los puertos del analizador del equipo donde ajusta sus parámetros para una referencia de transmisión.

#### **3.1.4.3 Ajuste de Frecuencia de Calibración**

Una vez realizado los pasos anteriores se debe ajustar el rango de frecuencia en la cual se va a medir en el analizador, de acuerdo con las especificaciones de la medición que se planea realizar en la actividad se procede a configurarlo para que el estudiante ingrese al menú de configuración del analizador FieldFox para establecer el rango de frecuencias donde se va a poner también lo que son los límites de frecuencia del equipo.

### 3.1.5 Verificación de la Calibración

#### 3.1.5.1 Pruebas Iniciales de Medición

Una vez finalizada la calibración, se realiza una medición de prueba con un componente de referencia, como una resistencia de 50 ohm, que permite verificar que el equipo ha sido calibrado exitosamente. Si el valor mostrado se desvía significativamente de las especificaciones del componente de referencia, será necesario revisar el proceso de calibración.

En modo NA, CAT y VVM, presione **Cal 5**

Aparece lo siguiente:

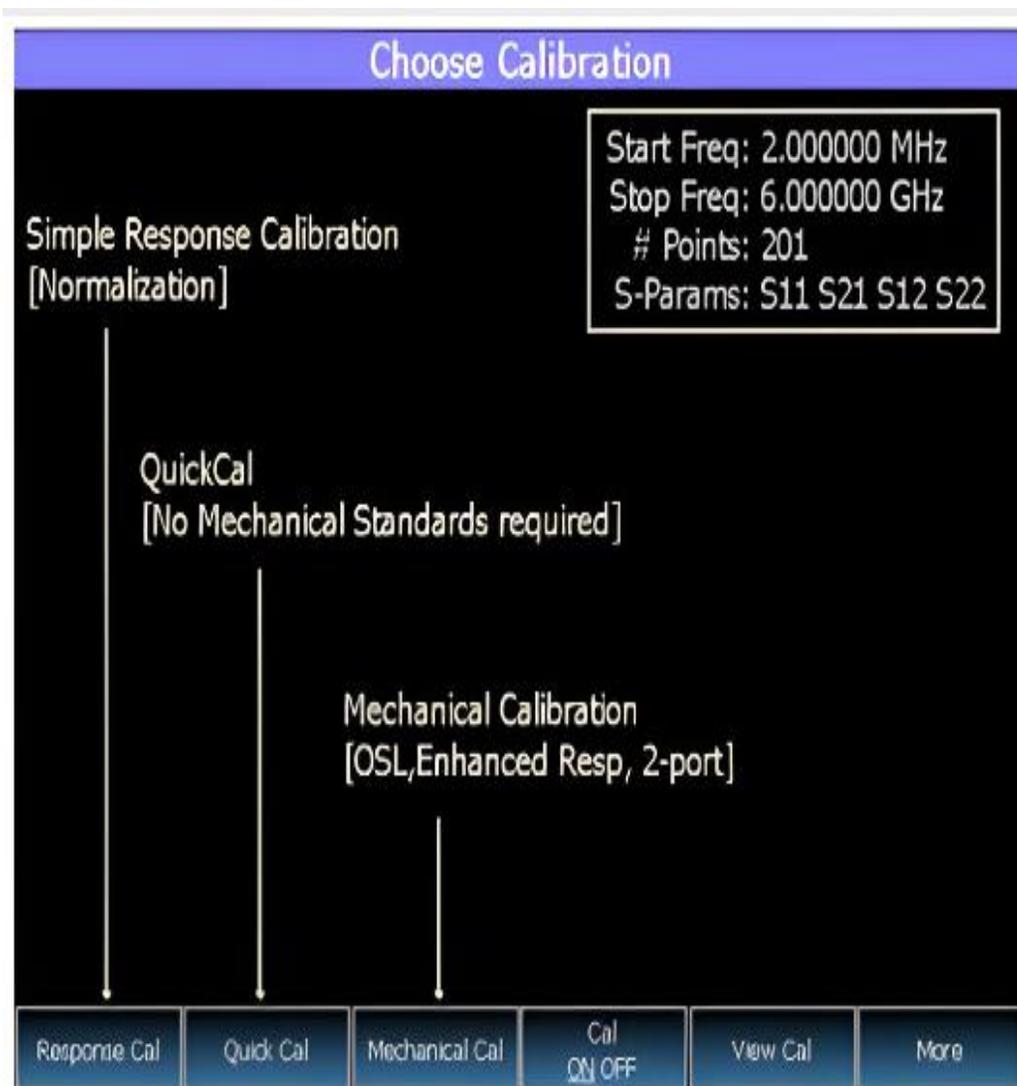


Ilustración 11. Pantalla para Seleccionar el Modo de Calibración [12]

## Pantalla de Selección de Método de Calibración

- **Calibración de Respuesta (Respondes Call):** Este método permite realizar una calibración rápida para un solo tipo de medición utilizando estándares mecánicos, aunque con una precisión de medición generalmente baja.
- **Calibración Mecánica/ECal:** Con el uso de estándares de calibración mecánica de un kit de calibración, este método permite realizar una calibración precisa en 1 o ambos puertos de prueba, adaptadores o cables de salto. La calibración mecánica completa de dos puertos es la opción de calibración más precisa disponible en el fieldFox.
- **Activar/Desactivar calibración de usuario (User Cal OFF ON):** Permite activar o desactivar la calibración personalizada realizada por el usuario. En el estado OFF, el equipo vuelve al estado de calibración CalReady.
- **Visualizar Calibración (View Cal):** Muestra las propiedades de la calibración actual.
- **Más Opciones (MORE):** Permite acceder a información adicional sobre las propiedades de CalReady.

### 3.1.5.2 Procedimiento para Realizar una QuickCal

1. En los modos NA, CAT y VVM, presione cal y luego seleccione QuickCal.
2. Presione change DUT Conectores para seleccionar el tipo de conector y el género del DUT. Aunque quizás no requiere un kit de calibración, la selección precisa del tipo de conector proporciona un modelo de circuito abierto más exacto y mejora la calibración. Sí el tipo de conector del DUT no aparece, seleccione Unknown/Other.
3. Para cada puerto del DUT:
  - Utilice las flechas o el mando giratorio para seleccionar el tipo del DUT.
  - Presione **Change Gender** para ajustar el género del conector del DUT.
  - Presione **Next** para confirmar la selección.
  - Si la opción está disponible, presione **Finish** para completar el paso.
4. Seleccione o cambie el tipo de calibración (Cal Type). El FieldFox recomienda un tipo de calibración que permita calibrar con precisión todos los parámetros S mostrados. Otros tipos de calibración listados podrían no calibrar todos los parámetros S visualizados.
  - Seleccione el tipo de calibración con las flechas o el mando giratorio, y presione Select y Finish.

6 Presione Start Calibration para iniciar la calibración.

### 3.1.5.3 Conexión del DUT y Opciones de Calibración

- Sin Conexión Inicial: Desconecte el DUT del FieldFox. Si se necesita un cable de salto adaptador para conectar el DUT al FieldFox, conecte estos componentes primero. El equipo le dirá y eliminará los efectos de estos componentes durante la calibración, asegurando que solo se reflejen los efectos del DUT en los resultados. Estos componentes deben ser de alta calidad.
- Conectar el Estándar de Carga Opcional (Load): Conecte a un estándar de carga en el punto donde se conectará el DUT y presione Measure en las siguientes condiciones:
  - Cuando el cable de salto tiene demasiada pérdida. Si aparece un error de “Cal Failed” y se omitió la medición de carga, realice la calibración nuevamente e incluya la medición de carga.
  - En otros casos presione Skip Step, especialmente al realizar mediciones de distancia a la falla de (DTF), ya que la medición de carga no mejorará significativamente la precisión en estos casos.
- Conectar el estándar THRU (no se usa para calibraciones de un solo puerto): Conecte el puerto 1 al puerto 2 ya sea directamente (Flush THRU) o mediante un cable de salto corto, imprime Measure.
  - Presione Finish para finalizar la calibración.

Al finalizar aparecerá en pantalla la indicación CAL ON U para todas las mediciones corregidas con QuickCal, indicando que se ha aplicado la calibración.

### 3.1.5.4 Calibración ECal con el que Keysight FieldFox

El sistema de Ecal es una técnica de calibración que sirve como una solución para simplificar y mejorar la precisión de las calibraciones, esta técnica utiliza módulos electrónicos, cada módulo de ECal posee un nivel estimado de potencia de entrada generalmente recomendado, y el FieldFox por su parte puede exceder el nivel recomendado estableciendo un nivel de potencia según la medición que se requiere. Si se supera el límite se produce una comprensión inválida de los datos, por ende, es necesario ajustar el nivel de potencia de entrada para evitar errores.

Los módulos de ECal son activados de manera automática en la etapa de la calibración, esto sucede debido a que contienen estándares electrónicos los mismos que han sido calibrados desde fábrica y los datos son enviados a la memoria del módulo, lo que permite facilitar esa información para ser usada por el FieldFox para calcular los términos de error que existen en la calibración.

El FieldFox permite realizar calibraciones completas tales como la calibración de dos puertos, y para esto es recomendable usar el dispositivo en modo simple ECal ON, esta técnica se utiliza cuando se busca conectar simultáneamente los puertos del dispositivo al parámetro ECal del módulo, esto asegura que el modelo Thru sea el adecuado, si en el caso de que la calibración no tiene una conexión simultánea se debe seleccionar el modo Simple ECal OFF y conectar los puertos mediante cable coaxial o un adaptador elegido por el usuario.

En caso de utilizar la herramienta Unknown Thru, se procede a conectar mediante un cable coaxial el puerto 1 al puerto 2 sin utilizar el Thru interno del ECal para evitar que salgan datos que no sean precisos, la opción Flush Thru realiza la conexión directa del puerto 1 al puerto 2 sin usar de por medio adaptadores y cables.

Los módulos de ECal del dispositivo Keysight tienen varios conectores que son utilizados para cubrir varios rangos de frecuencias, es recomendable seleccionar el mismo tipo y género de conectores DUT para el módulo ECal, en el caso que no se disponga de un módulo compatible, se puede ocupar un VNA de banco de Keysight que tiene modelos como el PNA o ENA.

### **Procedimiento para Realizar una Calibración con ECal**

1. Ajuste los parámetros de medición en el fieldFox, como el rango de frecuencia y el número de puntos. En este caso el rango de frecuencia debe concordar con el rango obtenido del módulo ECal para que no existan errores durante el proceso de calibración.
2. Conecte el cable USB del módulo de ECal al puerto USB del FieldFox.
3. Permita que el módulo de ECal se caliente hasta que indique que está listo.
4. Conecte los puertos del módulo ECal al FieldFox en el plano de referencia de calibración, donde se conectará el DUT.
5. Presione Cal para iniciar la calibración.
6. Seleccione **Mechanical Cal /ECal**.

7. Presione **Change DUT Connectors** y seleccione el tipo y género de conector para cada puerto de prueba del DUT y del módulo de ECal.
8. Opcionalmente active **ECal Auto Orient** para que el FieldFox detecte automáticamente la dirección de conexión de los puertos, si la potencia es demasiado baja, seleccione OFF y conecte manualmente los puertos como se le indique.
9. Opcionalmente, seleccione **Extended Cal** para medir puntos adicionales fuera del rango de frecuencia actual, esto permite ajustar el rango de frecuencia después de la calibración sin desactivar la corrección de errores. En modo OFF (predeterminado), el FieldFox no genera mediciones que se encuentran fuera del rango actual, lo que ocasiona que no exista corrección de errores ya que se desactiva si el rango de frecuencia es generado fuera de los puntos calibrados.
10. Presione **Start Calibration**, cuando se le solicite la verifique la conexión del módulo el ECal y presione **Measure**, los estándares del módulo de ECal se conectarán y medirán automáticamente

Para calibraciones de tipo **Unknown Thru**, procede a conectar los puertos denotados como el puerto 1 y 2 mediante un cable coaxial o adaptador Thru, sin utilizar el flujo interno de ECal, en caso de Flush Thru, conecte los puertos de manera directa al plano de referencia de calibración sin utilizar adaptadores adicionales.

Este proceso garantiza que el FieldFox aplique términos de error correctos y proporcione una calibración precisa y confiable para los tipos de configuración mencionados anteriormente.

#### **3.1.5.5 Calibración Simple de Respuesta (Simple responsible Cal)**

La calibración simple de respuesta verifica los ajustes realizados de manera rápida en magnitud y fase cuando se ha realizado una medición, utiliza componentes como Open, Short también conocido como Thru, estos métodos actúan como estándares de calibración no es necesario seleccionar un Cal Kit por lo que no se moldean haciendo que eso genere una medición baja. Aunque esta opción es óptima utilizarla cuando se requiere de una medición rápida, también tomando en cuenta que es usada cuando se tiene un cabe de salto para conectar el DUT al FieldFox, quedando el método de CalReady como el que suele tener mayor precisión.

La calibración Simple de Respuesta asume que el estándar tiene una respuesta ideal. Esto significa que cualquier desviación en la respuesta del estándar utilizado respecto a la respuesta ideal se reflejará como un sesgo en la medición del DUT, la opción **Open Response** se trata de una normalización simple mientras que **Short Response** incluye una compensación de fase de 180 grados.

Para una mayor precisión se recomienda realizar una calibración mecánica.

#### **Opciones de Calibración con Simple Response:**

- Se puede ejecutar una simple responsable para los parámetros S11, S22, S21 y S12.
- Al seleccionar el estándar se elige en función de los parámetros mostrados. Por ejemplo, para calibrar S11, se conecta un estándar Open o Short en el plano de referencia del puerto 1.

#### **Normalización en Simple Response:**

La normalización utiliza un estándar Thru o un cable entre los puertos 1 y 2 para calibrar una medición de transmisión en los parámetros S21 y S12 (en modo NA) y una medición de pérdida de inserción de dos puertos en el modo CAT, en el modo VVM, la normalización se realiza con un ajuste de cero. Durante la normalización los términos de seguimiento de transmisión directa e inversa de CalReady se actualizan para incorporar el efecto de Thru utilizado.

#### **Pasos para Realizar una Calibración Simple de Respuesta**

1. Seleccionar su sección en la cual va a ser las mediciones a calibrar según el modo que se desee obtener (NA, CAT o VVM).
2. Presionar Cal y luego seleccionar Response Cal
3. para mediciones de un puerto:
  - Elegir Open Response o Short Response para el puerto a calibrar, es posible que se requiera una opción adicional para habilitar esta calibración en el puerto 2.
  - Conectar un estándar Open o Short puerto especificado y presionar Measure.
4. Para mediciones de dos puertos:
  - Seleccionar **Normalization**.

- Conectar un cable corto de alta calidad y con estabilidad de fase entre los conectores de los puertos 1 y 2 del FieldFox, luego presionar **Measure**.

Después de una calibración de normalización todas las mediciones de pérdida de inserción posteriores se realizarán en relación con la pérdida de inserción del cable utilizado como estándar Thru, por ejemplo, si se usa un cable con 1 dB de pérdida después de la normalización la pantalla mostrará 0 dB de pérdida con ese cable, para obtener la máxima precisión al medir el DUT, también se debe usar el mismo cable que se utilizó en la calibración de normalización.

5. presionar **Finish** para completar la calibración.
6. Conectar el DUT.

La indicación **CAL ON U** aparecerá en la pantalla cuando una calibración de usuario (como una Simple Response Cal) esté corrigiendo solo la medición correspondiente, por ejemplo, cuando se realiza una calibración Open Response en el puerto 2, **CAL ON U** solo se mostrará para las mediciones S22.

La opción **View Cal** permite visualizar la configuración de la calibración desde la pantalla de selección de calibración.

### 3.1.6 Precauciones de la Práctica.

- Verificación de Conexiones y Estado del Equipo: Antes de comenzar la calibración se tiene que tomar en cuenta la inspección de los puertos que estén correctamente para asegurarse de que no presenten daños físicos como lo que son los cables, como dobleces o desgaste ya que esto cumple con mucha importancia cuando se valla a sacar las mediciones.
- Selección Correcta de Estándares de Calibración: Asegurarse de seleccionar los estándares de calibración SOLT (Short, Open, Load, Thru), adecuados y de conectar cada uno en el puerto correcto del analizador, esto ayuda a establecer condiciones de referencia precisas y evitar errores en las mediciones.
- Realización de Pruebas de Verificación Iniciales: Tras completar la calibración realizar una prueba de medición con un componente de referencia (como una resistencia de 50 ohm)

para verificar que los valores de medición sean precisos esto garantiza que el proceso de calibración fue exitoso.

### **3.1.7 Conclusión de la Práctica**

La práctica permitió a los estudiantes comprender la importancia de la calibración en la medición de sistemas de microondas en la cual es el rol del Keysight N9918A FieldFox en la precisa de estos dispositivos, mediante la aplicación de diferentes métodos de calibración, como SOLT, QuickCal y ECal, los estudiantes lograron minimizar los errores de medición y mejorar la fiabilidad de los resultados en dispositivos de Radio Frecuencia.

Además la actividad facilitó el desarrollo a los estudiantes utilizar los modos NA, CAT y VVM del analizador FieldFox en la que proporciona a la experiencia de la práctica, así con las debidas perdida de retorno como también parámetros de dispersión y en el análisis de la adaptación de fases de señal de sus debidas condiciones a medir..

Este conocimiento res muy útil en las telecomunicaciones y sistemas de microondas en la que permite a los estudiantes aplicar su debida de calibración y medición en las prácticas, mejorando su manera de analizar para identificar y resolver problemas de adaptabilidad y transmisión en circuitos de alta frecuencia.

## **3.2 Necesidad de Medir los Parámetros de Radio Frecuencia y Analizar la Adaptación de Impedancia en Antena.**

### **3.2.1 Introducción**

En el área de las tecnologías radio frecuencia es fundamental donde se tiene en cuenta el análisis detallado de las señales exactas y su interacción con los dispositivos de mediciones de altas frecuencia, en el campo laboral como es de las telecomunicaciones y la electrónica garantiza la calidad y estabilidad de las señales. La habilidades para medir en los equipos y obtener el análisis de redes en su calidad, ofrece la capacidad de medir parámetros con su respectiva antenas y filtros donde se puedan emplear para que pueda salir los resultados para que reflejen y transmiten las señales dando así una optimización del rendimiento y eficiencia en sus altas frecuencias.

### **3.2.2 Contexto y Justificación**

#### **3.2.2.1 Importancia de las Mediciones de RF en Telecomunicaciones**

Los sistemas de Radio Frecuencia son el núcleo de tecnologías de comunicación moderna y su desempeño depende de la adaptación precisa entre las fuentes de señal y los dispositivos bajo prueba, en telecomunicaciones, por ejemplo, las mediciones de RF permiten garantizar que los sistemas cumplan con estándares internacionales, evitando interferencias y maximizando la calidad en la transmisión de voz y datos. Además de telecomunicaciones, otras aplicaciones de RF incluyen los sistemas de radar y la electrónica de consumo, donde la estabilidad de las señales de alta frecuencia asegura el correcto funcionamiento de estos sistemas en entornos operativos variables.

La medición de parámetros como la reflexión y la transmisión es fundamental para evaluar cómo los dispositivos reaccionan con las señales en su respectivo rango de frecuencias. Donde se realiza los parámetros de dispersión (S) en la cual proporcionan datos sobre la adaptación de impedancia y la pérdida de retorno mediante sus factores y dando así su respectiva optimización de eficiencia de transmisión. Aquí los dispositivos como el Keysight N9918A FieldFox realizan mediciones con exactitud e incluso en ubicaciones remotas con el equipo una herramienta para el análisis de sistemas de RF en diversas aplicaciones.

#### **Rol del Analizador Portátil que Keysight N9918A FieldFox en Mediciones de RF.**

El Keysight N9918A FieldFox es especialmente valioso en dispositivos de radio frecuencia, en la cual permite medir los parámetros S como S<sub>11</sub> y S<sub>21</sub>, que son importante al analizar la reflexión y transmisión de señales en antenas. Gracias a su portabilidad y a la capacidad de realizar calibraciones detalladas como la calibración de ECal, el FieldFox es fundamental para evaluaciones tanto en laboratorio como en campo laboral. Esto facilita el análisis y mantenimiento de sistemas de microondas donde asegura que los dispositivos bajo prueba cumplan con los requisitos específicos de cada aplicación.

**Objetivos de la Práctica:** Esta práctica tiene como objetivos instruir sobre la configuración y calibración del N9918A FieldFox para obtener mediciones exactas de parámetros S, guiar en el proceso de mediciones de dispositivos de radio frecuencia y de esa manera evaluando eficiencia y adaptación de impedancia y proporcionar una metodología para analizar e interpretar los resultados

obtenidos, obtenidos en la adaptación de impedancia y eficacia de transmisión de los dispositivos en su rango operativo del equipo.

### **3.2.3 Definición y Aplicaciones de los Parámetros S**

Los parámetros de dispersión son principales para identificar los dispositivos de alta frecuencia, ya que esto describen como las diversas señales son afectadas por la atenuación en cuestión a mediciones. Estos parámetros muestran la relación entre la señal incidente, la reflejada o como también la señal transmitida, dando una información principal para la debida optimización del rendimiento del dispositivo.

- S11 y S22 (coeficientes de reflexión): Estos parámetros miden la cantidad de señal reflejada en el puerto de entrada y salida del DUT, respectivamente un valor bajo en ese 11 indica una buena adaptación de impedancia en el puerto de entrada minimizando las pérdidas de señal y mejorando la transmisión.
- S21 y S12 (coeficientes de transmisión): Estos parámetros se evalúan la ganancia o pérdida de señal al pasar a través del DUT, lo cual es crítico para analizar la eficiencia de transmisión en un rango de frecuencias determinado. Ambas conexiones del DUT deben estar unidas al FieldFox, lo que permite que la señal viaje desde el puerto de salida hasta el puerto opuesto y se registra en las mediciones correspondientes el FieldFox.

El FieldFox facilita el proceso de medición al automatizar el cambio entre fuente y los receptores lo que permite a realizar mediciones en ambas direcciones (directa e inversa), facilitando la obtención de los cuatro parámetros S en una sola conexión. Cuando la señal proviene del puerto 1, la medición es directa cuando la fuente es el puerto 2, la medición es inversa.

### **3.2.4 Configuración del Modo NA**

#### **Descripción del Modo NA**

El modo NA (Analizador de redes) es una herramienta fundamental para los dispositivos de radio frecuencia y microondas, como antenas y filtros, donde permite medir el parámetro S11 para determinar la reflexión en el puerto de entrada. Este análisis es principal para comprender el rendimiento y la adaptabilidad de los dispositivos en sistemas de alta frecuencia

La configuración del Modo Analizador de Redes donde incluye calibraciones para eliminar errores sistemáticos en las mediciones, donde los resultados son confiables en entornos de prueba. Este modo es particularmente se destaca en su evaluación de pérdidas de retorno en dispositivos de radio frecuencia, en la que mide la cantidad de señal reflejada con la falta de adaptación de impedancia, donde se identifica los problemas de adaptabilidad.

### **3.2.5 Especificaciones del Equipo: Keysight N9918A FieldFox**

#### **3.2.5.1 Características Técnicas**

Rango de Frecuencia: El FieldFox cubre frecuencias desde 30 kHz hasta 26.5 GHz lo cual es adecuado para el sistema de microondas en un amplio espectro de aplicaciones de Radio Frecuencia.

Modos de Medición:

- Modo NA (analizador de redes): Permite medir parámetros S como S11, que son principal para analizar la reflexión y a su vez transmisión en dispositivos de radio frecuencia.
- Modo CAT (Prueba de Cable y Antena): Este modo se presenta para evaluar el rendimiento de cables y antenas para asegurar en buen funcionamiento.
- Modo VVM (Medición de Voltaje Vectorial): Se utiliza para medir las fases y amplitudes de la señal.

#### **3.2.5.2 Historia y Evolución de los Analizadores de Redes: El Analizador Portátil Keysight N9918A FieldFox**

Los analizadores de redes han evolucionado significativamente desde sus inicios convirtiéndose en herramientas clave para la caracterización de dispositivos de RF y microondas, originalmente estos instrumentos se desarrollaron en la década de 1950 para satisfacer las necesidades de la industria de comunicaciones, radar y en sus primeras versiones eran dispositivos grandes costosos y complejos que utilizaban tecnología de tubos de vacío y solo abarcaban un rango de frecuencias limitado.

Con la llegada de los transistores en los años 60 y el desarrollo de circuitos de estado sólido, los analizadores de redes empezaron a reducir su tamaño y aumentar su capacidad de medición, durante las décadas de 1970 y 1980, los avances en la electrónica y la incorporación de circuitos

digitales permitieron la creación de analizadores de redes más compactos y con mayores capacidades incluyendo la estandarización de los parámetros de dispersión (S) como una métrica fundamental para evaluar la transmisión y reflexión en dispositivos de RF.

En el año del 1990 por primera vez se dio a la luz la digitalización avanzada en las tecnologías y el crecimiento en el campo de telecomunicaciones se puede indicar que los analizadores de redes entran a una etapa de innovación en tecnologías. Estos dispositivos tienen la capacidades de almacenamiento y a su vez de tener la oportunidad de procesar lo datos donde pueden realizar mediciones en tiempo real y almacenar. El analizador de redes es versatilidad y necesaria para realizar mediciones tanto en laboratorio como el campo laboral en un rango de frecuencias que va desde los 30 kHz hasta los 26.5 GHz en el dispositivo.

### **3.2.5.3 Comparación entre Analizadores Comerciales y Analizadores Libres: El Analizador Portátil Keysight N9918A FieldFox.**

En el marcador existen dos tipos principales de analizadores de redes en el mercado los analizadores comerciales y los analizadores libres, en la cual a continuación, se presenta una comparación de sus características con sus especificaciones en las capacidades del Keysight N9918A FieldFox como ejemplo de un analizador comercial de alta precisión.

#### **3.2.5.3.1 Analizadores Comerciales: El Caso del Keysight N9918A FieldFox**

##### **1. Ventajas:**

- Alta precisión y confiabilidad: Los analizadores de esta marca nos proporciona mediciones de alta precisión y posteriormente la debida calibración donde las aplicaciones requieren una medición exacta con sus actividades.
- Funciones avanzadas y facilidad de Uso: Este dispositivo incluye características, como el modo del Analizador de Redes para la medición de parámetros S, el modo de prueba de cable y antena para verificar la señal y el modo de Medición de Voltaje Vectorial.

##### **2. Desventajas**

- Costo elevado: Por lo general los analizadore como es el FieldFox son de un precio alto ya que presenta una tecnología avanzada en el campo tecnológico y su accesibilidad del equipo.

- **Mantenimiento especializado:** En la precisión de estos equipos requieren calibraciones periódicas y mantenimiento que generalmente deben ser realizados por personal técnico especializado, lo que incrementa el costo de operación

### **3.2.5.3.2 Analizadores Libres**

#### **1. ventajas:**

- **Accesibilidad económica** de los analizadores libres como el NanoVNA, son significativamente más económicos que los comerciales lo cual los hace accesibles para usuarios de bajo presupuesto estudiantes y aficionados.
- **Portabilidad y personalización** son analizadores libres portátiles que permiten el código abierto, lo que pone en disposición a los usuarios adaptarlos y modificarlos según sus necesidades específicas.

#### **2. Desventajas:**

- **Precisión y rango de frecuencia limitados:** Su estudio refleja que el analizador solo tiene un rango de frecuencia donde es menos adecuado ya que tiene un límite donde se puede medir por ende las aplicaciones que se vallan a utilizar con el equipo es con solo frecuencias específicas del equipo.
- **Falta de soporte técnico y calibración trazable:** Los analizadores libres no ofrecen el mismo nivel de soporte técnico ya que su calibración generalmente no es certificada lo que limita su aplicación general.

### **3.2.5.3.3 Ventajas y Limitaciones del Analizador Portátil Keysight N9918A FieldFox**

#### **Ventajas**

- **Portabilidad y Durabilidad:** En esta parte se y resistente a condiciones de campo el Keysight N9918A FieldFox es portátil y adecuado para entornos de trabajo exigentes, facilitando las mediciones en ubicaciones remotas.
- **Versatilidad en Modos de Medición:** Ofrece modos de análisis (NA, CAT, VVM y análisis de espectro) donde permite tener mediciones exactas.
- **Integración de antena GPS:** Cuenta con cierto rango de alcance donde da sus respectivos resultados por el área donde se valla a desplegar del equipo.

## Limitaciones

- **Costos Altos:** Los valores de estos analizadores son muy altos al tener tecnologías avanzadas.
- **Limitaciones en Velocidad de Barrido:** Cuenta con múltiples modos de calibración, los barridos con anchos de banda más estrechos requieren tiempos de medición más largos del equipo.
- **Limitada Capacidad de Análisis Avanzado:** Los analizadores de redes de laboratorio de mayor tamaño, puede tener limitaciones en ciertas funciones avanzadas de procesamiento de señal.

### 3.2.6 Procedimiento para la Medición de Parámetros S con el que Keysight N9918A

#### FieldFox

##### Cómo medir los parámetros S

1. Pulse **MODE**
2. Luego **NA**
3. Pulse **PRESENT** y luego **MODE PRESET**
4. Presione **MEASURE 1** y luego elija una de las opciones:
  - **S11** medición de reflexión en el puerto 1.
  - **S21** medición de transmisión de 2 puertos hacia adelante.
  - **S12** medición de transmisión inversa de 2 puertos.
  - **S22** medición de reflexión en el puerto 2.
5. Pulse **FREQ/DIST** luego seleccione **START** y **STOP** o **CENTER** y **SPAN** para establecer el rango de frecuencia de la medición.

Esto se puede hacer de dos maneras:

  - Presione **Freq/Dist**
  - Luego elija una de las siguientes opciones:
    - Frecuencias de **START** y **STOP**: Especifique el comienzo y el final del barrido.
    - Frecuencias de **CENTER** y **SPAN**: Especifique la frecuencia central y el ancho de frecuencias (la mitad a cada lado del centro).
  - Ingrese un valor usando el teclado numérico las flechas o el mando giratorio.

6. Después, presione **BW** y luego **IFBW** para ajustar el ancho de banda IF de la medición. Anchos de banda más estrechos aumentan el tiempo de barrido, pero disminuyen el ruido en la traza.
7. Pulse **SWEEP** y luego en **RESOLUTION** para ajustar la cantidad de puntos de datos en la medición, un mayor número de puntos incrementa el tiempo de barrido.
8. Pulse **CAL 5** para calibrar la medición.
9. Todos los ajustes adicionales pueden efectuarse DESPUÉS de la calibración sin afectar la precisión de la medición.
10. Configurar la escala.
11. Pulse **SCALE/AMPTD**
  - Línea de referencia = flecha roja
  - Nivel de referencia = -40 decibelios.
  - Posición de referencia = 1.
  - Escala = 2 decibelios por división

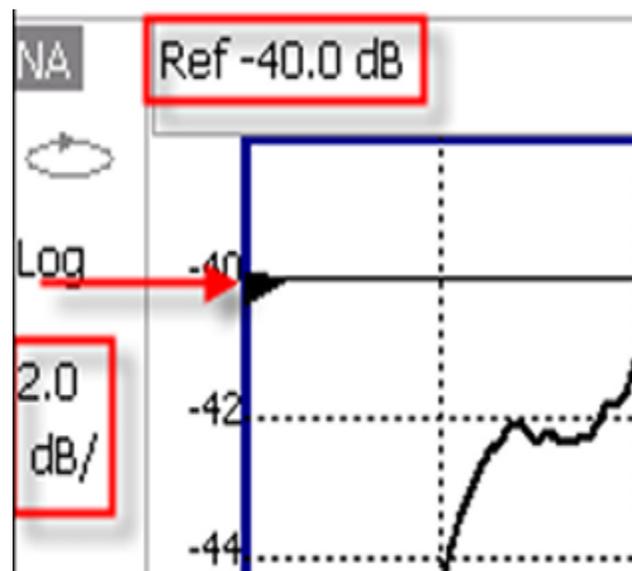


Ilustración 12. Pantalla para Seleccionar el Modo de Calibración [12]

### 3.2.7 Conclusión de la Práctica

Esta práctica permitió a los estudiantes adquirir habilidades en el uso del Keysight N9918A FieldFox para medir y analizar parámetros s en dispositivos de RF, como antenas y filtros como a

largo del ejercicio, se destacó la importancia de la adaptación de impedancia para maximizarla eficiencia en la transmisión de señales, así como la capacidad del equipo para realizar mediciones precisas de reflexión y transmisión, lo que contribuye a la optimización del rendimiento de los dispositivos en sus frecuencias de operación.

Los estudiantes aprendieron a configurar el analizador en modo NA, a calibrarlo adecuadamente y a realizar ajustes en la escala y ancho de banda de la medición. También comprendieron el proceso de interpretación de los resultados obtenidos lo que facilita la identificación de posibles mejoras en la adaptación de los dispositivos para aplicaciones de telecomunicaciones y otros sistemas de alta frecuencia.

La práctica realizada destacó la importancia del FieldFox como una herramienta multifuncional donde es capaz de llevar a cabo mediciones tanto en el laboratorio como en campo en la que está brindando un enfoque práctico para el diagnóstico y optimización de sistemas de microondas. Gracias a esta herramienta los estudiantes pueden evaluar la eficacia de los dispositivos en sus condiciones operativas y también pueden garantizar su calidad en aplicaciones de radio frecuencia

### **3.3 Desarrollo de la Práctica de Análisis de Señales Wi-Fi y Bluetooth en la banda de 2.4 GHz**

#### **3.3.1 Introducción**

La tercera práctica se enfoca en el análisis de señales Wi-Fi y Bluetooth dentro de la banda de 2.4 GHz utilizando el analizador portátil que Keysight N9918A FieldFox en los modos de Analizador de Espectro (SA) y Analizador de Espectro en Tiempo Real (Real Time SA). Esta configuración permite a los estudiantes observar transmisiones breves y detectar posibles interferencias en las redes inalámbricas.

#### **3.3.2 Contexto y Justificación**

Al poder hacer un análisis de redes inalámbricas debemos contar con equipos que permitan identificar y analizar señales de corta duración del área. El analizador FieldFox permite tener mediciones como es en el modo Analizador de Espectro y Analizador de Espectro en Tiempo Real junto con una antena GPS y posteriormente el amplificador EDUP EP-AB019 donde nos refleja un valor en el área de baja cobertura.

**Objetivos de la Práctica:** Esta práctica tiene como objetivos instruir a los estudiantes el análisis de señales Wi fi y Bluetooth en la banda de 2.4 GHz mediante el uso del Keysight N9918A FieldFox en los modos de Analizador de Espectro (SA) y Analizador de Espectro en Tiempo Real (Real Time SA), además se busca enseñarles a configurar el equipo a 2.45 GHz con un ancho de banda de 100 MHz. También busca pretende desarrollar habilidades en la identificación de interferencias y el diagnóstico de redes inalámbricas empleando una antena GPS y un amplificador de señal EDUP EP-AB019 para mejorar la sensibilidad en entornos de baja cobertura.

### **3.3.3 Equipos y Componentes Utilizados**

- antena GPS: utilizada como receptor para captar señales de 2.4 GHz, mejorando la precisión en la recepción de señales Wi-Fi y Bluetooth.
- Amplificador de la señal EDUP EP-AB019: Este dispositivo cuenta con Wi-Fi de 5.8 GHz del sistema para poder detectar transmisiones débiles en la banda de 2.4 GHz y poder generar resultados del área.

### **3.3.4. Procedimiento de la Práctica**

Conexión de equipos: La antena GPS se conectó al puerto de 3 5 mm del FieldFox y el amplificador EDUP se integró para aumentar la sensibilidad-

Configuración del Analizador: El FieldFox se configuró en los modos de Analizador de Espectro (SA) y Analizador de Espectro en Tiempo Real (Real Time SA), a centrándose en 2.45 GHz y utilizando un ancho de banda de 100 MHz para optimizar la visualización del espectro en tiempo real.

### **3.3.5. Procedimiento para la Medición de Modo del Analizador de Espectro en Tiempo Real (RTSA)**

Para configurar el modo del analizador de espectro en tiempo real RSTA, deben seguirlos siguientes pasos:

1. Seleccionar el Modo RSTA: Es necesario seleccionar el modo RSTA antes de ajustar cualquier configuración adicional. Para activarlo:
  - Presionar el botón de Mode en el equipo
  - Seleccionar la opción Real Time SA (Analizador de Espectro en Tiempo Real)

2. Ajuste Automático de Ecuación de Canal: Al seleccionar el Analizador I/Q, el Analizador de Espectro en Tiempo Real o algunas otras configuraciones de espectro (como la frecuencia central) el equipo aplica automáticamente una medición de ecuación de canal de fábrica. Durante este proceso, el FieldFox muestra el mensaje “Start channel Equalization” (Iniciar Ecuación de Canal), no es posible detener este proceso de ecuación mientras está en curso, este ajuste permite que el equipo esté preparado para medir señales de manera precisa en tiempo real y garantiza la calidad de la señal medida en el espectro.

### **3.6 Rango de Frecuencia**

El rango de frecuencia en el eje x determina las frecuencias que se miden en cada barrido la frecuencia de inicio predeterminada es 995 MHz, sin embargo, esta puede ajustarse hasta un mínimo de -100 MHz, el oscilador local interno del FieldFox es visible en 0 Hz, lo que puede enmascarar señales presentes en esa frecuencia.

El rango de frecuencia de la medición se puede ajustar mediante los siguientes métodos:

- Establecer Frecuencia Central y Banda de Frecuencia: La banda se puede ajustarse entre 280 Hz y 10 MHz de frecuencia.
- Configurar Frecuencias de Inicio y Parada: Realiza el rango específico de frecuencias.
- Alternar entre Cero y la Última Banda Seleccionada: Se cambia al último rango seleccionado o a cero.

#### **3.3.6.1 Rango de Frecuencia en Modo RTSA**

Para colocar un rango en el dispositivo se debe tener la referencia en que frecuencia se va a trabajar en el RTSA donde se tiene que seguir los siguientes pasos:

1. Seleccione el botón Freq/Dist: en esta parte permite acceder al menú de distancia y frecuencia en la que se puede colocar la frecuencia en la que va a trabajar.
2. Elegir una de las siguientes opciones:
  - Frecuencia Central y Banda de Frecuencia: Es la forma más común de configurar el rango de frecuencia se ingresa la frecuencia deseada, que se ubica en el centro del eje X, y la banda de frecuencias se distribuye equitativamente a ambos lados de

esta, cuando se ingresan estos valores, la pantalla muestra las frecuencias centrales y la banda.

- Frecuencia de Inicio y Parada: Define el punto de inicio y el de finalización del eje x, al ingresar estos valores el equipo muestra las frecuencias de inicio y parada

### 3. Opciones adicionales (More):

- CF Step: Ingresar un valor de tamaño de paso mediante el teclado numérico y seleccionar una tecla multiplicadora.
- Freq Annotation: seleccionar entre:
  - AutoSelect (predeterminado): El equipo selecciona automáticamente la configuración de anotación de frecuencia (CenterSpan oStarStop).
  - CenterSpan: Muestra la frecuencia central y la banda.
  - StartStop: Muestra las frecuencias de inicio y de parada
- Full Span: Cambia la banda de frecuencia a 10 MHz.

### 4. Ingresar Valores: Usar el teclado numérico, las flechas o el dial giratorio, al utilizarlas flechas presionar Enter para confirmar. El incremento de las flechas depende de la banda actual y puede ajustarse en el modo RTSA.

## 3.3.7 Escala y las Unidades en el Modo RTSA

Para ajustar la escala y las unidades en el modo RTSA, se siguen estos pasos:

1. Ajustar la Escala del Eje Y: La escala del eje Y , se puede observar las secciones de la señal, el eje que está dividido en 10 retículas con la adquisición se muestra en la pantalla como una barra horizontal.
2. Escala Logarítmica: El modo RTSA utiliza siempre una escala logarítmica, la línea de referencia en el eje Y representa el nivel absoluto de adquisición en dBm y las retículas del eje Y muestra en decibelios por encima o por debajo de esta línea de referencia.
3. Atenuación Automática de RF: Cuando la atenuación RF está configurada en auto, se marcó traumáticamente a la adquisición.
4. Configuración de la escala:
  - Presionar Scale/ Amptd y seleccionar entre las siguientes opciones:

- Scale: Ajustar manualmente la escala en dB por división para visualizar áreas específicas de la señal, ingresar al valor usando el teclado numérico, las flechas o el dial giratorio y luego presionar Enter.
- Ref Level: Ajustar manualmente el valor de la línea de referencia, para ingresar un valor negativo presionar Run/Hold (+/-) antes o después de ingresar el valor, esto también puede modificar la configuración de atenuación de RF.
- Ref Pos: Configurar manualmente la posición de la línea de referencia en el eje Y, los valores deben estar entre 0 (líneas superiores) y 10 (línea inferior) con la posición predeterminada en cero (arriba)

Estos ajustes permiten visualizar adecuadamente los datos de adquisición en el Modo de espectro en tiempo real.

### **3.3.8 Ganancia Externa en el Modo RTSA**

Para configurar la ganancia externa en el modo RTSA, se deben realizar los siguientes pasos al usar un amplificador o atenuador externo:

1. Compensación de Ganancia Externa: Al utilizar un dispositivo externo como un amplificador o atenuador, los valores de amplitud en la traza del modo RTSA pueden ajustarse para compensar el efecto de dicho dispositivo esto ajusta el plano de referencia del puerto de medición del RTSA para incluir el efecto del dispositivo externo, por ejemplo, si se utiliza un pre amplificador externo con una ganancia de + 10 decibelios, se ingresa este valor en la configuración de External Gain, y la traza de datos se ajusta automáticamente reduciendo la amplitud en 10 decibelios en toda la banda de frecuencias mostrada.
2. Ajuste Automático de Atenuación RF: Cuando la atenuación radio frecuencia está configurada en auto, el valor de atenuación puede ajustarse automáticamente, esto permite medir la señal en la parte superior de la pantalla (adquisición) sin sobrecargar el primer mezclador del RTSA.
3. Configuración de la Ganancia Externa:
  - Presionar Scale/Amptd.

- Seleccionar External Gain.
- Ingresar el valor de ganancia o pérdida utilizando el teclado numérico, las flechas o el dial giratorio (positivo para ganancia; negativo para pérdida) para valores menores a 5 dB, es necesario usar el teclado numérico. Luego presionar Enter, en la parte superior de la pantalla aparecerá el valor configurado como ExtGain.

### **3 3.9 Atenuación en el Modo RTSA.**

Para controlar la atenuación en el modo RTSA, se considera lo siguiente:

1. Control de Atenuación RF y Preamplificador; Tanto la atenuación de RF como el preamplificador regulan el nivel de potencia que ingresa al RTSA, si el puerto de entrada RF recibe demasiada potencia aparecerá la advertencia “ADC Over Range” en la pantalla del FieldFox. Esto no indica necesariamente daño, pero sugiere que la medición puede estar comprimida.
2. Activación de la Atenuación Interna: Si los niveles de potencia son altos, se puede activar la atenuación interna para evitar la compresión en el receptor del FieldFox, ante niveles de potencia extremadamente altos, es recomendable usar atenuación externa para protegerlos circuitos internos del equipo.
3. Ajuste Automático del Nivel de Potencia: El nivel de potencia mostrado en la pantalla se ajusta automáticamente en función de la atenuación RF. sin que esto afecte el valor de potencia en pantalla.
4. Configuración de la Atenuación
  - Presionar Scale/Amptd y seleccionar RF Atten Man Auto.
  - En modo auto la atenuación se ajusta automáticamente en pasos de 5 decibelios según el nivel de adquisición, permitiendo observar señales de bajo nivel cuando la adquisición disminuye, por ejemplo, de -10 dBm a -30 dBm.
  - En modo Manual el valor de atenuación se ajusta entre 0 y 30 decibelios en incrementos de 5 dB usando el teclado numérico, las flechas o el dial giratorio. Una vez seleccionado el valor, presionar Enter, el valor de atenuación configurado aparecerá en la parte superior de la pantalla indicando que se trata de una configuración manual.

### 3.3.10. Preamplificador en el modo RTSA

Para el control del preamplificador en el modo RTSA, se siguen los siguientes pasos:

1. Uso del Preamplificador: Para analizar señales de muy bajo nivel el preamplificador interno puede activarse para aumentar el nivel de señal en aproximadamente 15 a 20 decibelios, dependiendo del modelo. La ganancia del preamplificador no es ajustable y el nivel de señal en pantalla se ajusta automáticamente para reflejar este incremento de ganancia, por lo tanto, al activar el preamplificador no debería producirse ningún cambio en la señal mostrada.
2. Control del preamplificador:
  - De manera predeterminada, el preamplificador está en modo OFF.
  - Para activarlo presionar Scale/Amptd y luego seleccionar Preamp ON. Cuando está encendido aparece “PA” a la izquierda de las retículas en la pantalla-
  - En modo Auto, la configuración del preamplificador se acopla a la atenuación RF y a la adquisición, al alcanzar un cierto valor de adquisición el preamplificador se activa automáticamente y “PA” se muestra a la izquierda de las retículas-
3. Comprobación de Compresión de la Señal: La compresión ocurre cuando una señal de alta potencia entra en un amplificador haciéndolo no lineal, si demasiada potencia ingresa al conector RF del FieldFox los amplificadores del receptor RTSA, pueden comprimirse lo que afecta a la precisión de la medición. Esto puede ocurrir incluso si no se muestra la advertencia de “ADC Over Range”, ya que otros componentes como el mezclador pueden comprimirse. Para evitarlo se debe aumentar el valor de la atenuación RF.
4. Verificación de Compresión en la Medición:
  - Colocar un marcador en el pico de la señal y anotar el nivel de potencia.
  - Aumentar la atenuación RF en 5 decibelios.
  - Si el nivel de señal no cambia no existe compresión lo cual indica que la señal está dentro de la región lineal del receptor del FieldFox.
  - Si el nivel de señal aumenta el receptor estaba comprimido, ajustar la atenuación RF hasta que un incremento adicional no cambie el nivel de potencia mostrado.
5. Selección del Tipo de Espectro:

- Density Spectrum: Muestra la señal en un espectro en tiempo real con un histograma.
- Spectrograma: Determina la señal en tiempo real con un espectrograma.
- Real Time Spectrum: Muestra el espectro en tiempo real.

Cada uno de estos tipos de espectro permite observar la señal en tiempo real en cuatro trazas disponibles para un análisis detallado.

El Density Spectrum muestra una señal FM con una frecuencia de 1 MHz mediante una tasa de modulación de 400 Hz en forma de histograma, esto permite observarla en su distribución de la señal en el espectro de manera gráfica.

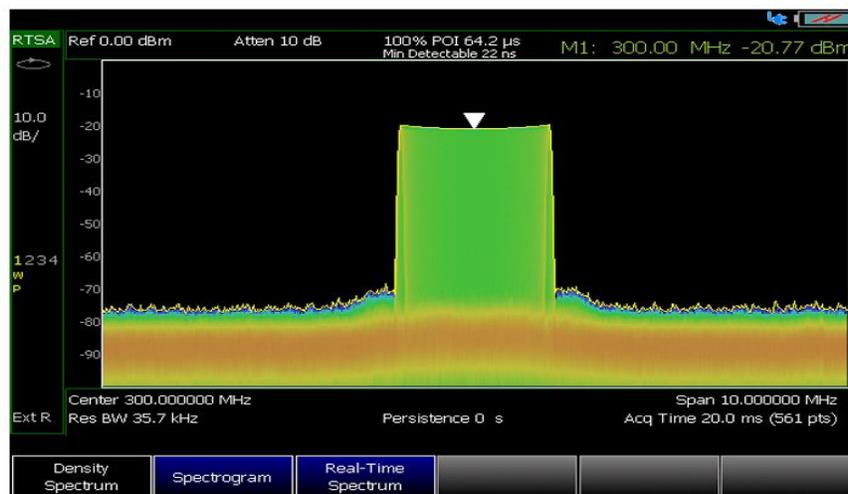


Ilustración 13. Densidad del Espectro de una Señal FM. [12]

El Density Spectrum muestra un histograma con dos pulsos donde el color azul indica el pulso que ocurre con menor frecuencia, esta visualización permite identificar visualmente la frecuencia relativa de cada pulso en el espectro destacando diferencias en las ocurrencias de los eventos.

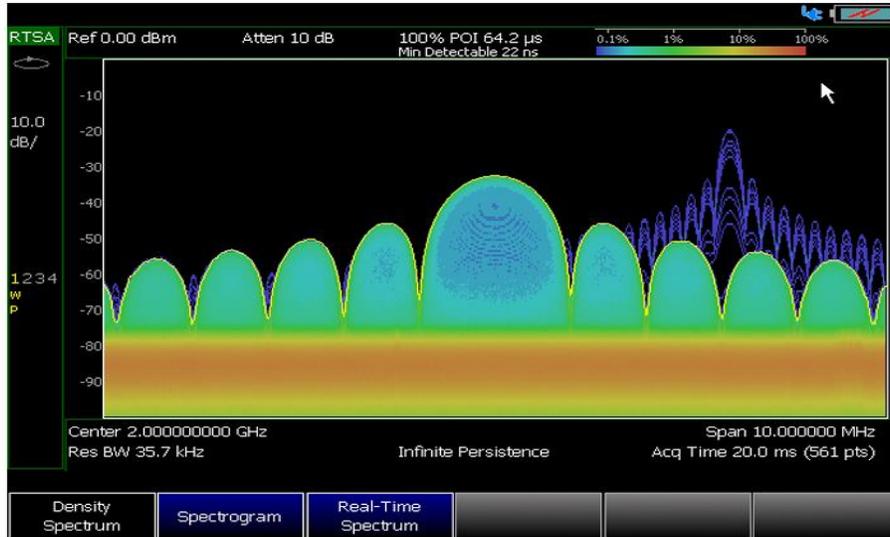


Ilustración 14. Densidad del Espectro en Histograma [12]

El Real-time Spectrum permite visualizar el espectro de una señal en tiempo real mostrando cualquier cambio o variación instantánea en el espectro. Este modo es útil para observar eventos rápidos y transitorios en la señal facilitando la identificación de fluctuaciones y características dinámicas de la señal a medida que ocurren.



Ilustración 15. Espectro en Tiempo Real [12]

### 3.3.1.1. GPS en el FieldFox

Al colocar la antena GPS en el analizador FieldFox nos permite obtener las respectivas ubicaciones para cada traza de datos que se requiera obtener de las respectivas mediciones que se emplea en dicha actividad, aquí se puede indicar que nos refleja la posición física exacta en formato de latitud longitud y elevación del campo donde se a realizar la actividad donde es necesario estar cerca de las torres de comunicación para poder establecer una medición exacta del área u otras antenas en ubicaciones donde refleje sus valores.

Si el dispositivo muestra el mensaje “Ant OPEN” aunque haya una antena GPS conectada, puede deberse a que la antena está alimentada por otra fuente de energía y posee un capacitor de bloqueo de corriente continua en el punto de conexión al FieldFox, esto evita que el FieldFox detecte la antena ya que la corriente mínima necesaria para dicha detección es de aproximadamente 1.6 miliamperios.

El GPS puede usarse con el receptor incorporado del FieldFox, accesible a través del conector SMA en el panel superior, este conector proporciona un voltaje de polarización de 3.3 V, cuando el GPS está configurado como interno y está diseñado para su uso con una antena activa, como la que Keysight N9910X-825.

Alternativamente, el GPS también puede emplearse mediante un receptor GPS externo conectado al FieldFox a través de un dongle USB compatible con el software “streets and trips” o “AutoRoute” de Microsoft.

Para configurar el GPS en el fieldFox se deben seguir estos pasos:

1. Presionar **System 7 >system configuration >GPS.**
2. Seleccionar entre las opciones:
  - **Display ON/OFF:** Habilitar o deshabilitar la visualización del GPS en la pantalla principal del FieldFox
  - **GPS:** Elegir entre:
    - **OFF:** Deshabilita el GPS (ajuste predeterminado)
    - **External:** Activa el GPS mediante un receptor GPS externo conectado a través de un dónde USB.

- **Internal:** Activa el GPS interno y requiere conectar una antena GPS al conector superior este ajuste se activa automáticamente si la fuente de referencia de frecuencia está configurada en GPS.

Cuando se selecciona Internal o Extenal, el sistema inicia una búsqueda de satélites, la cual es más efectiva en exteriores y con una vista despejada del cielo, cuando se detectan varios satélites la pantalla muestra barras de señal que se actualizan constantemente. Si el conteo de barras supera las 9 la indicación “dB” se omite y la unidad de C/No se presenta en dBHz.

### **3.3.12 Conclusión de la Práctica**

La práctica proporcionó a los estudiantes una experiencia en la configuración y análisis de señales inalámbricas utilizando el analizador FieldFox, Durante esta actividad aprendieron a observar transmisiones de Wi-Fi y Bluetooth en tiempo real, lo que se refleja del modo de espectro. La incorporación de la antena GPS y el amplificador EDUP EP-AB019 fue fundamental para mejorar la sensibilidad del sistema y obtener datos exactos. Esta experiencia se refleja en los diversos desafíos de monitoreo y diagnóstico en redes inalámbricas.

## **4. Guías Prácticas**

### **4.1 Práctica 1: Desarrollo de Prácticas de Calibración para la Caracterización de Sistemas de Microondas en Modo NA**

#### **1. Objetivo General**

Desarrollar la calibración de un sistema de microondas en el modo Network analyzer utilizando el analizador portátil Keysight N9918A FieldFox, esta parte busca que los estudiantes comprendan el proceso de calibración y reconozcan la importancia de obtener datos del área en la que reflejas los resultados.

#### **2. Objetivo Específicos**

Familiarizar a los estudiantes con los pasos esenciales en la configuración y calibración de él analizador FieldFox en el modo NA.

Proporcionar habilidades en la aplicación de métodos de calibración estándar en la cuales son SOLT (Short, Open, Load, Thru).

Desarrollar la capacidad de interpretar los resultados de la calibración y evaluar la fiabilidad de las mediciones en dispositivos de RF.

### **3. Materiales**

- Hardware: Analizador portátil Keysight N9918A FieldFox, cables de alta calidad, adaptadores y estándares de calibración (Short, Open, Load, Thru)
- Software: Aplicación de gestión de datos compatible con el FieldFox (por ejemplo: FieldFox data enlace para análisis y almacenamiento de resultados).

### **4. Marco Teórico**

La calibración en el análisis de sistemas de microondas es fundamental para asegurar la precisión en la medición de parámetros como impedancia y reflexión, en el modo NA del FieldFox, se emplean métodos de calibración como el SOLT, donde cada estándar representa una condición de referencia, la práctica de calibración permite corregir errores propios de la instrumentación especialmente en conexiones y adaptaciones de los componentes mejorando así la exactitud en la caracterización de sistemas de microondas.

### **5. Paso a Paso de la Práctica**

1. Preparación del analizador FieldFox y conectar correctamente los conectores del dispositivo.
2. Selección del Modo de Operación Encender el FieldFox y seleccionar el modo Network analiza (NA) en el menú principal.
3. Configuración de los Parámetros Iniciales para proceder ajustar el rango en la cual se va a trabajar en frecuencia.
4. Proceso de Calibración:
  - Conectar el Estándar de Circuito Abierto (Open): Conectar el estándar en el puerto correspondiente del FieldFox y registrar la medición.
  - Conectar el Estándar de Circuito Corto (Short): Cambiar al estándar de circuito corto y capturar la referencia.
  - Conectar el Estándar de Carga (Load): Conectar el estándar de carga para establecer el punto de referencia.

- Conectar el Estándar de Paso Directo (Thru); Unir los puertos de entrada y salida para el estándar Thru configurando la referencia de transmisión.

## **6. Preguntas Teóricas**

¿Cuál es la importancia de realizar una calibración en sistemas de microondas?

¿Qué representa cada estándar en el método de calibración SOLT?

¿Cómo influye la correcta selección del modo NA en la precisión de los resultados?

¿Cuáles son los posibles errores que se pueden minimizar mediante el proceso de calibración?

Explica cómo los resultados de una calibración impactan en el análisis de dispositivos de RF.

## **4.2 Práctica 2: Análisis de Adaptación de Impedancias y Mediciones de parámetros S en Redes de un Puerto: Antena**

### **1 objetivo General**

Realizar la medición de los parámetros ROE y S11 en una antena parche de doble banda con geometría fractal en el rango de 3 GHz a 6 GHz, utilizando el analizador portátil que Keysight N9918A FieldFox. Esta práctica tiene como finalidad de evaluar la adaptación de impedancia de la antena y Su respuesta en frecuencia identificando puntos de resonancia y reflejo mínimo.

### **2. Objetivos Específicos**

- Configurar el analizador FieldFox para la medición de los parámetros ROE y S11 en la antena.
- Identificar las frecuencias de resonancia y evaluar la adaptación de impedancia mediante los valores de ROE y S11.

### **3. Materiales**

- Hardware: Analizador portátil Keysight N9918A FieldFox, FieldFox antena parche de doble banda con geometría fractal (3 GHz a 6 GHz), conectores y cables de alta frecuencia
- Software: Aplicación de análisis y almacenamiento de datos compatible con el FieldFox (por ejemplo: FieldFox data enlace).

#### 4. Marco Teórico

El análisis de los parámetros de dispersión como S11 y del ROE (relación de onda estacionaria) es principal para determinar la eficiencia de una antena en cuanto a la adaptación de impedancia una antena correctamente adaptada minimiza las pérdidas de señal reflejada y optimiza su rendimiento en transmisión y recepción. En particular la antena de doble banda con geometría fractal permite una operación en dos bandas de frecuencia lo que es ventajoso en términos de espacio y rendimiento. Medir el ROE y el S11 en el rango de 3 GHz a 6 GHz proporciona una evaluación clara de la calidad de la adaptación de la antena y de los puntos de resonancia, lo cual es esencial para su eficiencia en aplicaciones de alta frecuencia

#### 5. Paso a Paso de la Práctica

##### 1. Encendido y Configuración Inicial del Equipo

- Encender el analizador que Keysight N9918A FieldFox y esperar a que se complete el arranque.
- Seleccionar el modo Network analyzer (NA) en el menú principal, que habilita la función de medición de parámetros de dispersión incluyendo S11.

##### 2. Configuración del Rango de Frecuencia:

- Configurar el rango de frecuencia de medición en el FieldFox de 3 GHz a 6 GHz.
- Acceder al menú Freq/Dist.
- Establecer la “Frecuencia de Inicio” en 3 GHz y la “Frecuencia de Fin” en 6 GHz lo que asegura que el equipo está enfocado en el rango relevante para la antena.

##### 3. Calibración del Equipo

- Presionar el botón Cal y elegir la siguiente opción de “Calibración de un Puerto”.
- Conectar los estándares de calibración en el siguiente orden:
  - Open; Conectar el estándar de circuito abierto y confirmar la calibración.
  - Short: Cambiar al estándar de circuito corto y confirmar la calibración.
  - Load: Conectar el estándar de carga para finalizar la calibración.
- Verificar que el mensaje “Cal ON U” aparezca en la pantalla indicando que la calibración se ha realizado exitosamente y el equipo está listo para medir.

##### 4. Conexión de la antena

- Conectar la antena de parche de doble banda con geometría fractal puerto de medición del FieldFox.
  - Asegurarse de que todas las conexiones estén firmes y sin interferencias para evitar errores en la medición.
5. Medición del ROE (relación de onda estacionaria)
- En el menú del FieldFox seleccionar la opción para visualizar el ROE(VSWR)
  - Observar la curva de ROE en el rango de 3 GHz a 6 GHz.
  - Colocar un marcador en la frecuencia de interés aproximadamente 4.82 GHz, donde el ROE es 1.18 lo que indica una excelente adaptación de la antena en ese punto.
  - Anotar los valores de ROE en las frecuencias de resonancia identificadas para análisis posterior.
6. Medición del parámetro S11
- Cambiar la visualización del analizador FieldFox para mostrar el parámetro S11.
  - Observar la gráfica de S11 en el rango de 3 GHz a 6 GHz.
  - Colocar un marcador en las frecuencias de interés para verificar los puntos de resonancia en el marcador de 4.82 GHz anotar el valor de -21.65 decibelios que representa una excelente adaptación de la antena con una mínima reflexión de señal.
7. Interpretación de Resultados
- Los resultados muestran que a 4.82 GHz la antena tiene una excelente adaptación con un ROE de 1.18 y un S11 de -21.65 decibelios, indicando a un nivel óptimo de transmisión y una mínima pérdida por reflexión lo cual es esencial para el rendimiento de la antena.
8. Guardar y Exportar Resultados
- Guardar los resultados de la medición en la memoria del FieldFox o en una unidad USB conectada al equipo.
  - Si es necesario transferir los datos al software FieldFox data enlace para un análisis detallado en una computadora.

## 5. Resultados de la Práctica

- Parámetro ROE: A 4.82 GHz se obtuvo un valor de ROE de 1.18 lo que indica una excelente adaptación de la antena a esta frecuencia y una eficiencia máxima en su desempeño.
- Parámetro S11: A 4.82 GHz, el valor de S11 fue de -21.65 decibelios, la que representa una mínima reflexión de señal.

## 6. Preguntas Teóricas

¿Por qué es relevante medir el ROE en una antena?

¿Qué significa un valor bajo de S11 en termino de adaptación de impedancia?

¿Cuál es el vínculo parámetro S11 y el ROE en la evaluación de la eficiencia de una antena?

¿Por qué es importante calibrar el equipo antes de realizar mediciones en sistemas de alta frecuencia?

### 4.3 Práctica 3: Análisis de Adaptación de Impedancias y Mediciones de parámetros S en Redes de Dos Puerto

#### 1 objetivo general

Medir los parámetros S11 en una antena de dos puertos en la que utiliza un amplificador para analizar su adaptación de impedancia. El proceso de utilizar el amplificador permite observar las características de la antena al conectarse al puerto de entrada como al de salida proporcionando una visión en el rango de frecuencias.

#### 2. Objetivos Específicos

- Configurar el analizador FieldFox para realizar una medición de 2 puertos en la antena.
- Utilizar un amplificador y una antena acoplada para potenciar la señal y observar los resultados en el rango de frecuencias establecido.
- Evaluar la adaptación de impedancia y la respuesta de la antena en el rango de 2 GHz a 5 GHz.

### 3. Materiales

- Hardware: Analizador portátil Keysight N9918A FieldFox, FieldFox antena 2 puertos amplificadores de UP con antena acoplada conectores y cables de alta frecuencia
- Software: Aplicación de análisis y almacenamiento de datos (FieldFox data enlace).

### 4. Marco Teórico

Los parámetros de dispersión como el S11, permiten evaluar la cantidad de señal reflejada en el puerto de entrada de la antena. La medición de S11 indica la eficiencia de adaptación de la antena es decir cómo esta refleja o transmite la energía de la señal en su puerto de entrada. El uso de un amplificador en el sistema añade la capacidad de observar la respuesta de la antena bajo condiciones de señal amplificada facilitando la evaluación de la adaptación de impedancia en ambos puertos esta práctica permite analizar la capacidad de la antena para operar en un rango de frecuencia de 2 GHz a 5 GHz y la influencia del amplificador en su desempeño.

### 5. Paso a Paso de la Práctica

#### 1. Encendido y configuración del equipo.

- Encender el analizador que Keysight N9918A FieldFox y esperar que complete su arranque.
- En el menú principal seleccionar el modo “Network analyzer” (NA) para habilitar las funciones de medición de parámetros de dispersión como el S11.

#### 2. Configuración de la frecuencia.

- configurar el rango de frecuencia de 2 GHz a 5 GHz
  - Acceder al menú “Freq/Dist”.
  - Establecer “Inicio” en 2 GHz y “Fin” en 5 GHz.
  - Confirmar en pantalla que el rango de frecuencia esté ajustado, lo cual debe reflejarse en la visualización de los ejes de frecuencia.

#### 3. Calibración de dos puertos:

- Seleccionar el botón “Cal” en el FieldFox y elegir “Calibración de Dos Puertos”.
- Conectar los estándares de calibración en el siguiente orden:

- **Open:** Conectar el estándar de circuito abierto en ambos puertos y confirmarla calibración en pantalla.
  - **Short:** Cambiar al estándar de circuito corto para ambos puertos y confirmar.
  - **Load:** Colocar el estándar de carga en ambos puertos para finalizar el proceso.
  - **Thru:** Conectar ambos puertos directamente para el ajuste de transmisión finalizando el procedimiento.
- Hay que confirmar que el mensaje “Cal ON U” aparezca en pantalla para indicar la calibración en ambos puertos.

#### 4. **Conexión del Amplificador y la Antena:**

- Conectar el amplificador EDUP a 1 de los puertos del FieldFox asegurarse de conectar la antena adicional al amplificador utilizando su entrada y salida correctamente
- Conectar la antena de dos puertos al segundo puerto del FieldFox, permitiendo que el equipo realice mediciones en ambas conexiones.
- Asegurarse de que todas las conexiones estén ajustadas para evitar pérdidas de señal interferencias.

#### 5. **Medición del parámetro S11:**

- Se configurar el FieldFox para el parámetro S11, que indica la cantidad de señal reflejada de la antena.
- Colocar un marcador en el rango de frecuencias de interés (2 GHz a 5 GHz) permitiendo que el equipo identifique los puntos específicos de medición.
- Observar la respuesta del S11 en pantalla, en la imagen proporcionada el valor en 3.78 GHz es de -24.55 decibelios, lo cual representa una excelente adaptación en esa frecuencia indicando una baja reflexión.

#### 6. **Interpretación de resultados**

- Analizar los valores de S11 en las frecuencias de interés, un valor bajo de S11, como 24.55 decibelios en 3.78 GHz, en la cual se sugiere una buena adaptación y mínima reflexión lo cual indica que la antena está operando eficientemente en esa frecuencia.
- Evaluar como el uso del amplificador y la configuración de 2 puertos influye en la respuesta de la antena proporcionando un análisis completo de su adaptación de impedancia en el rango de frecuencia.

## 7. Guardar y Exportar Resultados:

- Almacenar los datos obtenidos en la memoria del FieldFox o en una unidad USB.
- Si se requiere un análisis más detallado transferir los datos al software FieldFox data enlace para examinarlos en una computadora.

## 5. Resultados de la Práctica.

Parámetro S11: Está en 3.78 GHz el valor de S11 es -24.55 decibelios, lo cual indica una excelente adaptación de la antena a esa frecuencia hay una mínima reflexión.

## 6. Preguntas Teóricas

¿Qué indica un valor bajo de S11 en una antena de dos puertos?

¿Cómo afecta el uso de un amplificador en la medición de los parámetros de dispersión?

¿Cuál es la ventaja de realizar una calibración de dos puertos en el FieldFox?

¿Por qué es importante analizar la adaptación de impedancia en cada puerto de una antena?

¿Qué diferencias podrían observarse si se realiza la medición sin el amplificador conectado?

## 4.4 Práctica 4: Configuración y Medición en Tiempo Real de Señales con el Keysight FieldFox.

### 1. Objetivo.

Configurar el analizador portátil que Keysight FieldFox en modo de análisis en tiempo real para capturar y observar señales en el rango de 2.45 GHz, esta práctica permite evaluar la actividad en el espectro y visualizar los niveles de potencia de las señales presentes en registrar la ubicación mediante la antena GPS acoplada al equipo.

### 3. Objetivos Específicos

- Configurar el equipo para operar en modo de análisis en tiempo real.
- Establecer el rango de frecuencia y ajustar los niveles de referencia y escala en pantalla.

### 3. Materiales

- Hardware: Analizador portátil Keysight N9918A FieldFox, FieldFox con antena acoplada para análisis de espectro y una antena GPS para localización.

- Software: Interfaz de usuario en el FieldFox para la visualización y análisis de espectro en tiempo real, junto con las configuraciones de GNSS (Global Navigation Satellite System) para la ubicación.

#### **4. Paso a Paso de la Práctica**

##### **4.1 Encendido del Equipo y Selección del Modo de Análisis en Tiempo Real (RTSA)**

- Encender el analizador que Keysight FieldFox y esperar a que complete el inicio del sistema.
- Presionar el botón Mode en el panel de control del equipo.
- En el menú de selección de modos elegir Real Time Spectrum Analyzer (RTSA), este modo permite visualizar el espectro en tiempo real detectando variaciones rápidas en la señal de frecuencia y proporcionando una visión detallada de la actividad espectral en él en torno.

##### **4.2 Configuración del Rango de Frecuencia.**

- Acceder al menú Freq/Dist en la pantalla del FieldFox para definir el rango de frecuencia.
- Se define la frecuencia de inicio en 2.45 GHz y en la parte final de la frecuencia es de 2.46 GHz donde el ancho de banda es de 10 MHz para poder obtener la graficas de mejor alcance y determinar un dato exacto, con estos valor tenemos un resultado eficiente donde muestra en la gráfica del analizador y a la vez se puede captar la frecuencia exacta con sus dichos valores.
- Hay que confirmar que los valores de frecuencia seleccionados aparezcan en la pantalla lo que asegura que el equipo esté configurado para capturar las señales en el rango deseado.

##### **4.3 Ajuste del Nivel de Referencia y Escala**

- Acceder al menú Scale/Amptd para ajustar el nivel de referencia y la escala de amplitud.
- Seleccionar nivel de referencia y configurarlo en -20 dBm, permitiendo que el equipo muestre adecuadamente la intensidad de las señales detectadas en el rango de 2.45 GHz.

##### **4.4. Activación del Preamplificador**

- En el menú de configuración de ganancia, seleccionar la opción preamplificador y activarla para mejorar la sensibilidad del equipo lo cual es importante para la detección de señales de baja potencia en el rango seleccionado.

#### **4.5 Configuración del Módulo GPS.**

- Conectar la antena GPS al FieldFox para habilitar la función de geolocalización.
- En el menú GNS Settings del equipo configurar el receptor GPS y seleccionar la opción demostrar satélites visibles y la intensidad de señal de cada uno en dBHz.
- Hay que confirmar que el equipo muestra las coordenadas de latitud longitud y altitud en la pantalla junto con la visibilidad de los satélites y el estado de conexión GPS.
- Verificar la información satelital como se muestra en la imagen que incluye la distribución de los satélites en pantalla y sus respectivos niveles de señal.

#### **4.6 Observación y Análisis en Tiempo Real del Espectro**

- Observar el espectro en tiempo real en la pantalla principal del modo RSTA, donde las señales se muestran como picos de diferentes intensidades y colores representando la potencia y frecuencia de las señales captadas.
- En el ejemplo visualizado la pantalla muestra una actividad considerable en torno a los 2.45 GHz con variaciones en los niveles de potencia reflejados en la gráfica de color lo cual sugiere la presencia de múltiples emisiones de señal en el entorno.

#### **4.7 Interpretación de Resultados**

- Los resultados que nos brindó el analizador en cuestión del espectro en tiempo real nos permiten a tener unos datos importantes como es el rango de 2.45GHz en la que se logra obtener sus frecuencias activas con sus niveles de potencia relativa en el rango.
- Al establecer el nivel de referencia en la cual es de -20 dBm el preamplificador se establece activo para poder detectar señales débil de área y poder tener más detallado el espectro de su entorno en la que se logra hacer su respectivo análisis de la señal emitida en el área de telecomunicaciones.
- La visualización satelital en el módulo GPS permite además correlacionar los datos de ubicación geográfica con la captura espectral, ofreciendo un contexto espacial para el análisis de señal en tiempo real.

#### **4.7. Resultados de la Práctica**

- Nivel de Referencia: Configurado en -20.00 dBm, optimizando la visualización de señales en el rango de 2 45 GHz.

- Rango de Frecuencia: Ajustado de 2.45 GHz a 2.46 GHz, con un ancho de análisis de 10 MHz.
- Datos de Ubicación GPS: La Latitud longitud y altitud es capturadas junto con visibilidad de intensidad de señal de los satélites en el entorno.

## **6. Preguntas Teóricas**

¿por qué es importante utilizar el modo de análisis en tiempo real para capturar señales en el espectro?

¿Qué indica la variación de colores en la visualización del espectro en tiempo real?

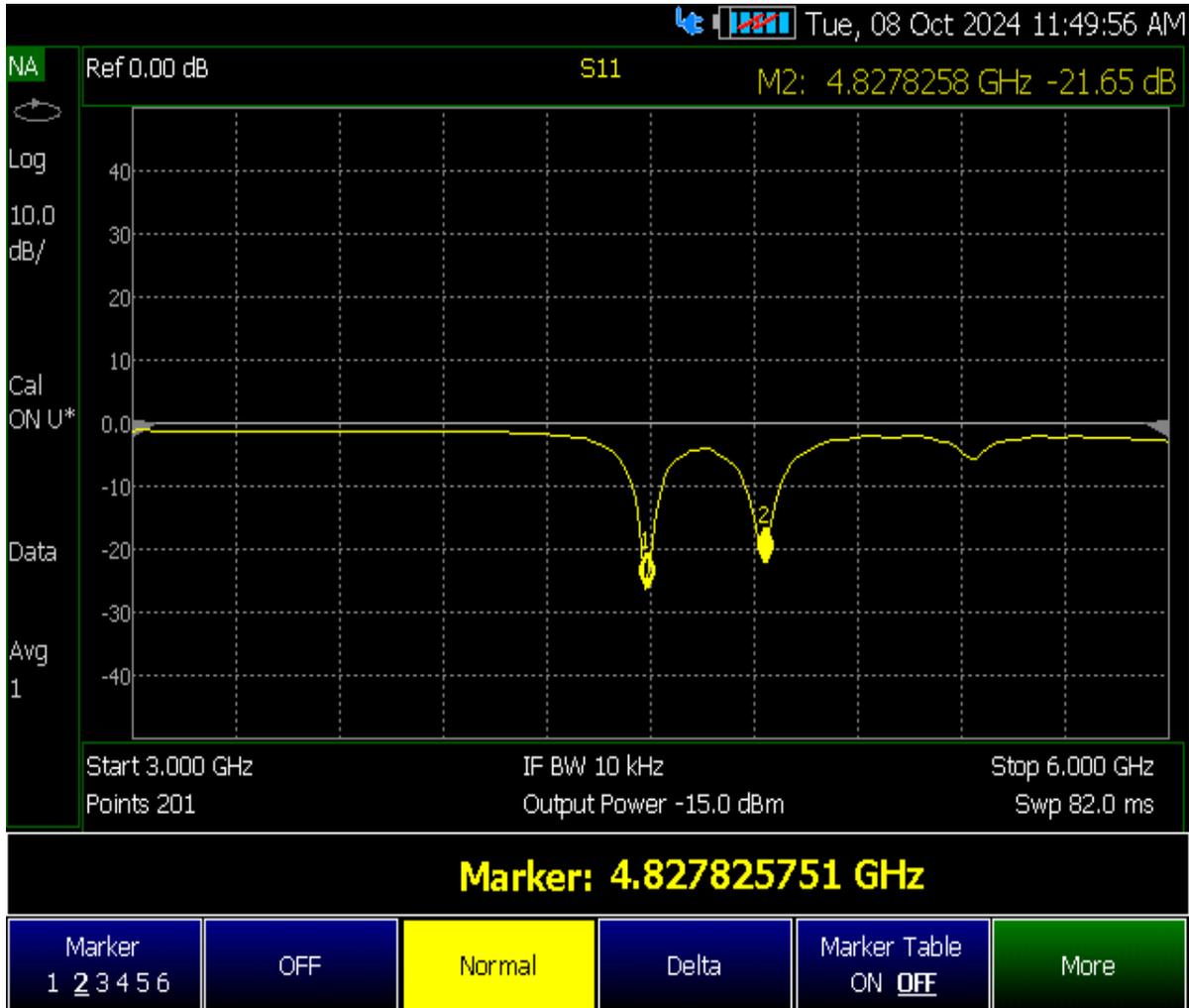
¿Cuál es la función de ajustar el nivel de referencia en el analizador de espectro?

¿Qué podría indicar la presencia de múltiples picos de señal en un rango de frecuencia estrecho?

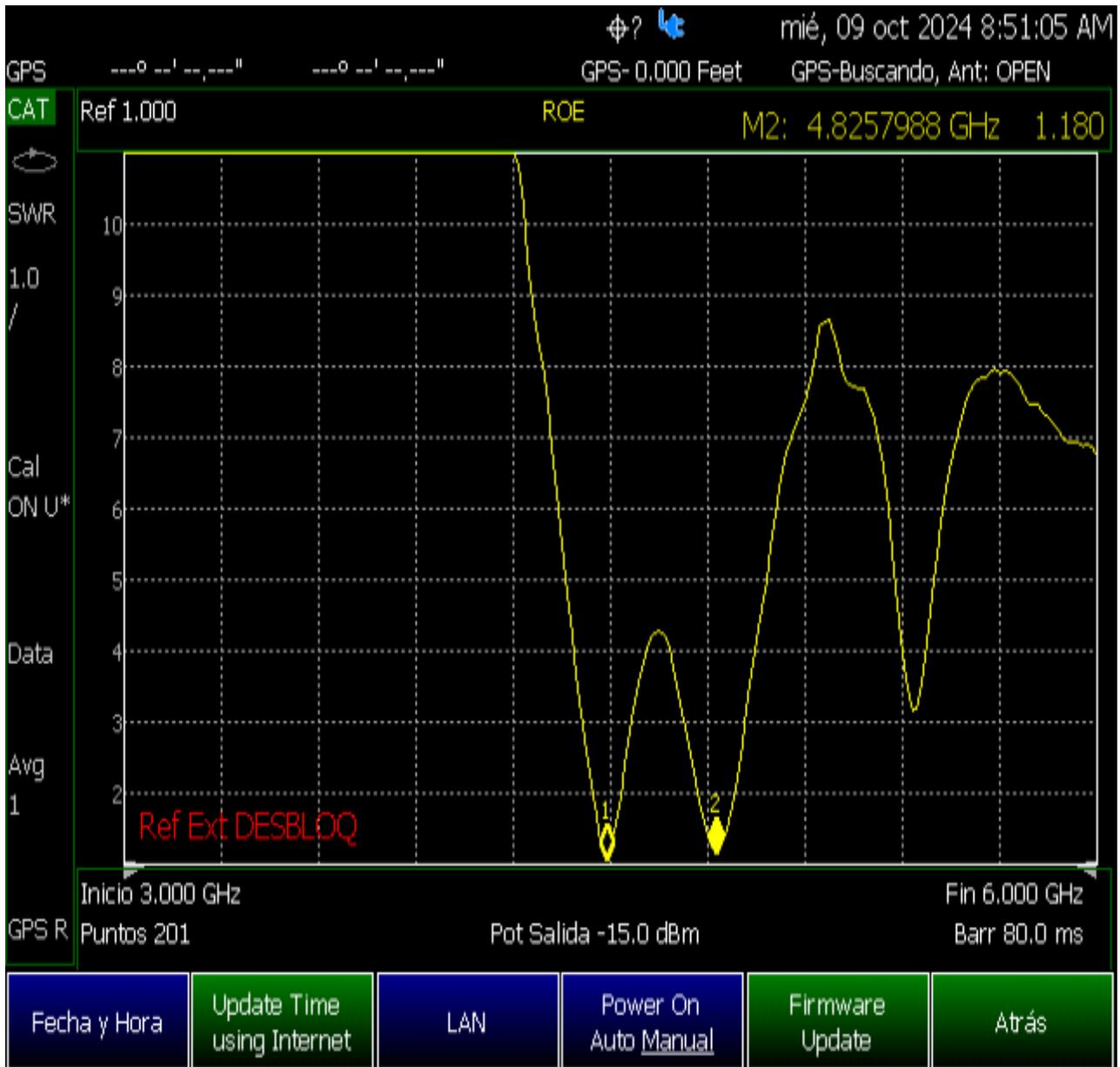
## ANEXOS

Medición de Parámetros RF y Análisis de Adaptación de Impedancia en Antena Parche con Geometría Fractal

**ANEXO 1.** La imagen muestra la medición del parámetro  $S_{11}$  en el analizador que Keysight FieldFox destacando un valor de menos 21.65 decibelios a 4.82 GHz indicando una buena adaptación en esa frecuencia.



**ANEXO 2.** La imagen muestra una medición del raw en el analizador que Keysight FieldFox entre 3 GHz y 6 GHz, destacando una buena adaptación en 4.82 GHz con un valor de 1.18.



**ANEXO 3** Muestra los resultados de S11.

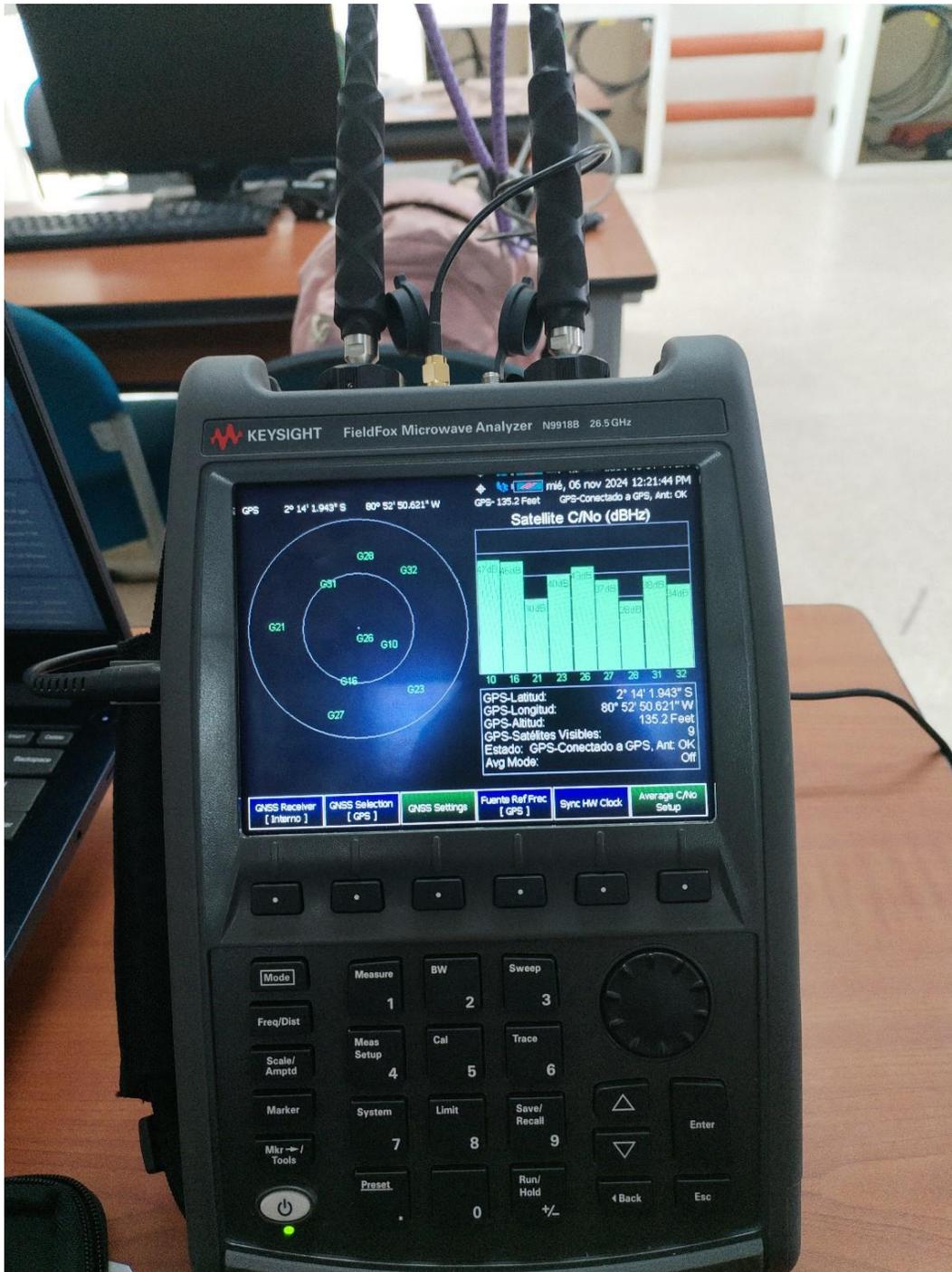


## CONFIGURACIÓN Y MEDICIÓN EN TIEMPO REAL DE SEÑALES CON EL KEYSIGHT FIELDFOX

**ANEXO 4.** La imagen muestra el analizador keysight fieldfox en modo despectivo en tiempo real centrado en 2.45 GHz con un ancho de banda de 10 MHz, el nivel de referencia está en -20.00 dBm y el preamplificador activado optimizando la detección de señales débiles en él en torno.



**ANEXO 5.** La imagen muestra el analizador que Keysight FieldFox en modo GPS, visualizando satélites y sus intensidades de señal junto con las coordenadas de ubicación



## BIBLIOGRAFÍAS

- [1] S. K. R. & K. A. Goyal, *Advanced RF Measurement Techniques*. London, RC Press., 2020.
- [2] A. & O. R. Brown, "Introduction to Microwave Systems," in *Fundamentals and Applications*, New York: McGraw-Hill., 2019.
- [3] M. G. L. & P. D. Hernández, "Caracterización de Sistemas de Microondas usando FieldFox," *Revista de Telecomunicaciones Aplicadas*, 2021, pp. 34(2), 34-45.
- [4] Y. Kimura, "Impacto de la Caracterización de Microondas en Redes Modernas," *Journal of Microwave Engineering*, 2021, pp. 29(1), 78-90.
- [5] M. & S. P. Oliveira, "Evaluación de Cobertura y Potencia LTE usando GPS y FieldFox," *Estudios en Telecomunicaciones*, 2020, pp. 5. 45(4), 210-223.
- [6] T. W. H. & K. J. Zhou, "Uso de FieldFox en Prácticas Educativas para Microondas," *International Journal of Telecommunication Education*, pp. 10(3), 158-167.
- [7] D. e. a. Santos, "Análisis de espectro en tiempo real en la banda de 2.4 GHz para redes Wi-Fi y Bluetooth.," in *Journal of Wireless Communication Studies.*, 2021.
- [8] C. e. a. Hernández, "Evaluación y optimización de redes inalámbricas usando el FieldFox en modo Real-Time SA.," in *Universidad Politécnica de Valencia*, 2020.
- [9] M. & O. F. Da Silva, "Optimización de redes Wi-Fi mediante análisis de señal con georreferenciación," in *Universidad de São Paulo.*, Brazil, 2021.
- [10] R. & R. A. Gómez, "Prácticas de laboratorio en análisis de señales Wi-Fi y Bluetooth con FieldFox.," in *Universidad Politécnica de Valencia.*, 2022.
- [11] T. e. a. Johnson, "Análisis de interferencias en redes Wi-Fi y Bluetooth con analizador portátil," in *Universidad de Texas.*, Estados Unidos, 2021.
- [12] I. Keysight Technologies, "Guía del usuario de Keysight FieldFox N9927-90020," in *Edición 1*, 2024.