

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
TELECOMUNICACIONES - CITEL - FICA  
Radio Definida por Software  
Laboratorio N°5  
Análisis de conectores y cables con VNA

Meneses Pozo Edin Alberto, Quelal Guadir Cristian Iván

Docente: MsC. Edgar Maya. Ing  
Docente - Laboratorio: MsC. Alejandra Pinto Ing

15 de noviembre de 2023

## 1. Introducción

La caracterización de antenas es un aspecto fundamental en el diseño y desempeño de sistemas de comunicación. En este informe, se abordarán diversas mediciones de antenas que incluyen la respuesta de ganancia, la directividad y la impedancia, utilizando el Keysight FieldFox N9913A como instrumento principal. Estas mediciones permitirán evaluar la eficiencia de las antenas en condiciones reales y proporcionarán información valiosa para optimizar el rendimiento de los sistemas de comunicación inalámbrica.

Además, se realizará un análisis detallado de cables y antenas para comprender las pérdidas asociadas a la transmisión de señales a través de estos elementos. La evaluación de la atenuación en cables, conectores y atenuadores es esencial para determinar la integridad de la señal y garantizar una transmisión eficiente. En este contexto, se utilizará el analizador de espectros para examinar las características de la señal y detectar posibles interferencias que puedan afectar el rendimiento del sistema.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo General

Evaluar y caracterizar distintos componentes de sistemas de comunicación inalámbrica mediante el uso del analizador de redes y espectros Keysight FieldFox N9913A.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Realizar mediciones precisas de antenas para determinar su respuesta de ganancia, directividad e impedancia, utilizando el Keysight FieldFox N9913A.
- Analizar cables y antenas para identificar y cuantificar las pérdidas asociadas a la transmisión de señales, empleando el analizador de espectros.
- Examinar la potencia de señal transmitida mediante el uso del medidor de potencia, para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de comunicación inalámbrica y proponer mejoras que optimicen el consumo de energía.
- Investigar las pérdidas presentes en conectores y atenuadores, utilizando el analizador de redes y espectros.
- Documentar y presentar los resultados obtenidos en un informe detallado, proporcionando conclusiones y recomendaciones basadas en las mediciones realizadas.

### 3. Marco Teórico

#### 3.1. Keysight FieldFox N9913A

El FieldFox N9913A, un instrumento diseñado específicamente para actividades en entornos exteriores, desempeña funciones cruciales en la evaluación de sistemas de radiofrecuencia (RF), abarcando desde pruebas de cables hasta la evaluación de antenas y el análisis de espectros, entre otras aplicaciones relevantes. Su capacidad de operación se extiende a lo largo de un rango de frecuencias que va desde 30 kHz hasta 4 GHz. ([Technologies, s.f.](#)).

##### 3.1.1. Funciones Principales

- Dispositivo de Análisis de Cables y Antenas (CAT): Facilita la medición de la distancia a la falla, así como la evaluación de la pérdida de retorno y la pérdida de cable.
- Analizador de Redes Vectoriales (VNA): Ofrece mediciones detalladas de los parámetros S (S11, S21, S22, S12) y la fase en el rango de frecuencias de interés.
- Instrumento de Análisis de Espectro: Posibilita la realización de mediciones de espectro en un intervalo de frecuencia que abarca desde 5 kHz hasta 4 GHz, con una precisión de amplitud de  $\pm 0.5$  dB.
- Medidor de Potencia Integrado: Permite la medición precisa de la potencia de señal en un espectro de frecuencia que se extiende desde 5 kHz hasta 4 GHz.
- Voltímetro Vectorial (VVM): Facilita la comparación de la fase y la longitud eléctrica en un rango de frecuencia que va desde 30 kHz hasta 4 GHz. ([Technologies, s.f.](#))

#### 3.2. Antena Monopolio

Es una de las antenas más comúnmente utilizadas en el ámbito de frecuencias de radio (RF), abarcando desde Very High Frequency (VHF) hasta Ultra High Frequency (UHF). Su diseño simple, combinado con características distintivas como una polarización vertical pura y una cobertura omnidireccional horizontal, la convierte en una opción muy extendida en diversas aplicaciones. Debido a su longitud, que es la mitad de la antena dipolo de media onda, y su usual alimentación mediante un cable coaxial conectado a la base, la antena monopolio se presenta como una alternativa atractiva para las comunicaciones de banda ancha. Se presupone que la antena monopolio es perpendicular al plano, generalmente considerado como un conductor infinito y perfecto. ([YADAVA, 2022](#)).

#### 3.3. Antena Dipolo

Se trata de un dispositivo de antena simple que consta de dos elementos metálicos conductores rectos y alineados con la misma longitud. En este diseño, cada elemento se conecta al cable respectivo de recepción. ([Castillo, 2010](#)). Hay dos variantes de la antena dipolo:

- Dipolo de media onda.
- Dipolo plegado de media onda.

En el primer tipo, el conductor se divide en dos partes independientes, mientras que en el segundo, ambos elementos están conectados y forman un circuito cerrado.



Figura 1: Tipos de antena. Fuente: ([Castillo, 2010](#)).

### 3.4. Antena de Parche

Consiste en una placa conductora dispuesta en un circuito impreso, cuyas dimensiones suelen ser típicamente proporcionales a longitudes de onda como  $\lambda$ ,  $\lambda/2$ , o  $\lambda/4$ . La fabricación de estas placas resulta ser un proceso sencillo. Las propiedades y factores asociados están significativamente influenciados por las dimensiones de la placa conductora, el tipo de dieléctrico empleado y la permitividad dieléctrica.( $\epsilon$ ) (Martínez Rueda, 2021).

- Polarización:Puede clasificarse como lineal o circular, dependiendo de la configuración de la instalación.
- Resistencia: Está directamente determinada por el ancho del componente.
- Ancho de banda: Experimenta variaciones en función del espesor de la placa, aunque suele ser generalmente limitado (Martínez Rueda, 2021).

### 3.5. Atenuador

Es un componente esencial en la configuración de sistemas de microondas, caracterizado como un elemento de circuito que induce una reducción en la amplitud de la onda que se propaga a lo largo de la línea. La atenuación, representada por el factor A, se expresa comúnmente en decibelios (dB). Esta medida puede ser definida en relación con la proporción entre la potencia de entrada y salida o en términos de los campos respectivos. Por lo general, un atenuador ocasiona un cambio de fase. La estructura y tipo de atenuador varían según el tipo de línea utilizado para la transmisión de la señal. Aquellos diseñados para niveles de potencia bajos pueden estar fabricados con materiales dieléctricos recubiertos con películas resitivas.(Pantoja, 2002).

## 4. Materiales y Requerimientos

Cuadro 1: Materiales y equipos utilizados

Nombre	Detalles
Analizador RF	Modelo: Keysight FieldFox N9913A
Atenuadores	Valores: 10dB, 20dB, 60dB
Antenas	Modelos: Monopolo, Dipolo, Parche, Omni

## 5. Diagrama de Bloques

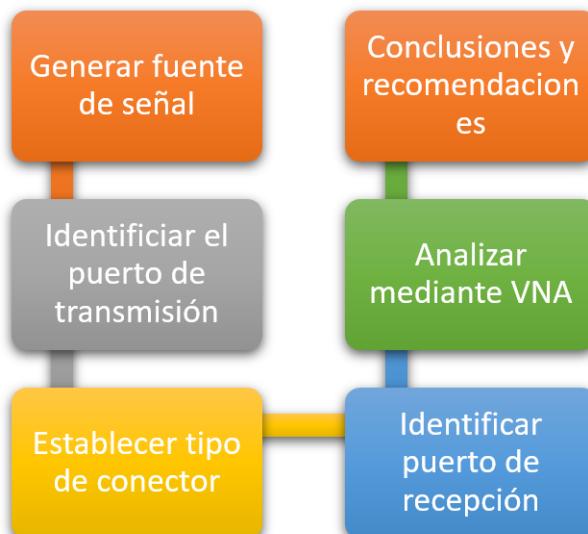


Figura 2: Procedimiento Experimental

## 6. Desarrollo

### 6.1. Análisis de Antenas

#### 6.1.1. Antena Telescópica



Figura 3: Antena Telescópica

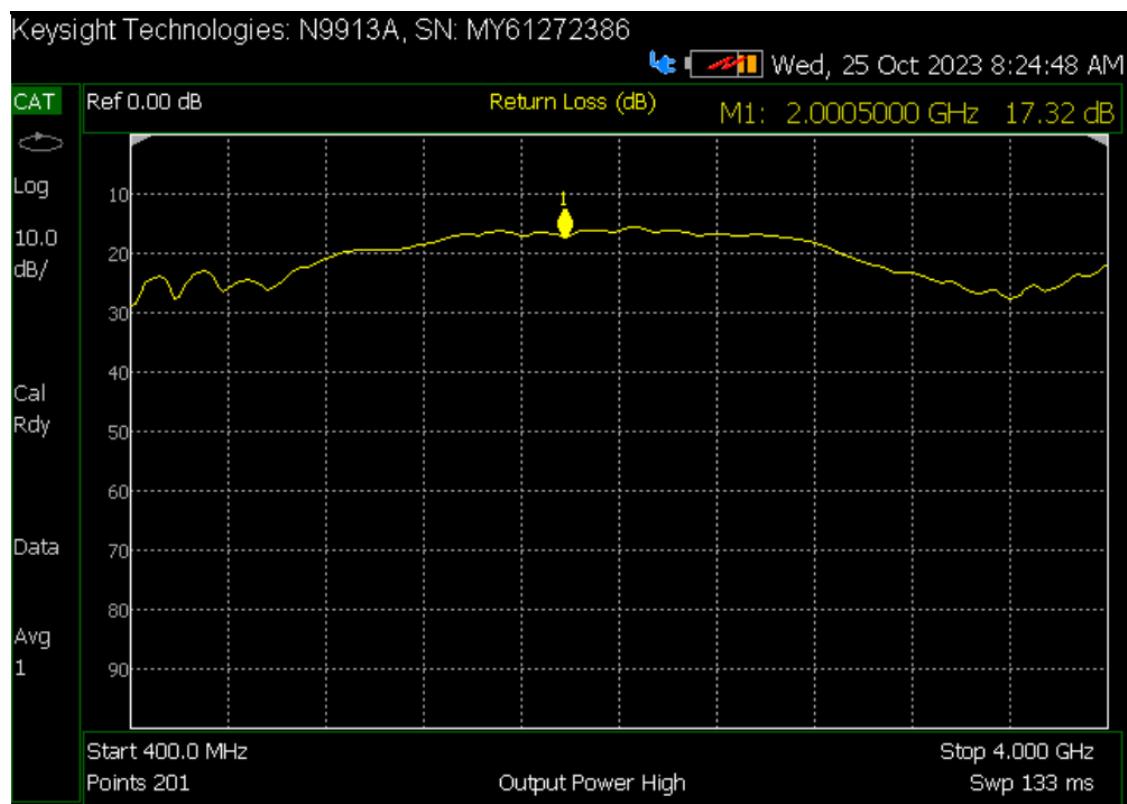


Figura 4: Visualización con parámetro 10dB

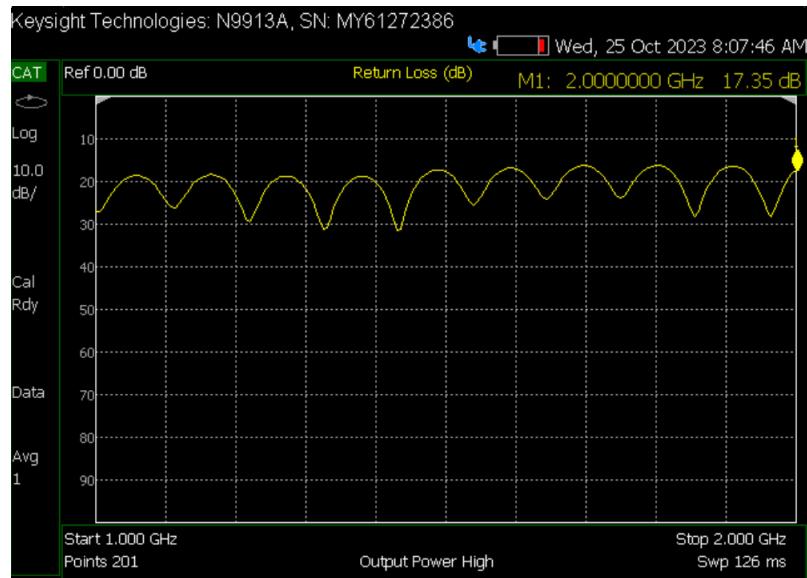


Figura 5: Sin Atenuador

#### 6.1.2. Antena Tipo: Dipolo Frecuencia: 2.4GHz



Figura 6: Tipo: Dipolo Frecuencia: 2.4GHz

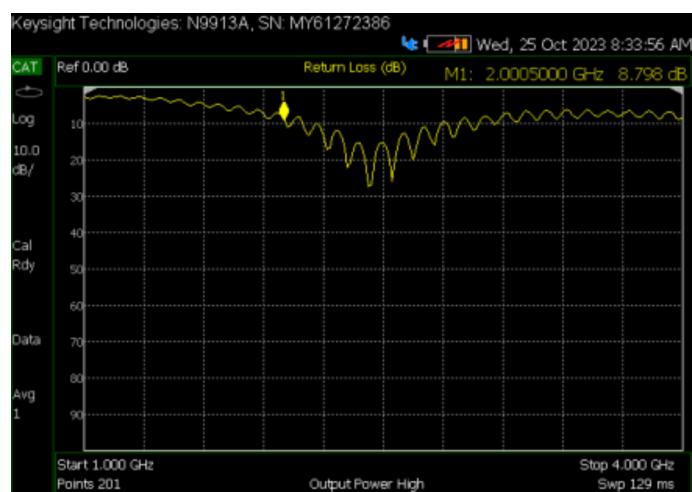


Figura 7: Configuración: Sin Atenuador

#### 6.1.3. Antena Tipo: Dipolo Frecuencia: 433MHz



Figura 8: Dipolo 433MHz

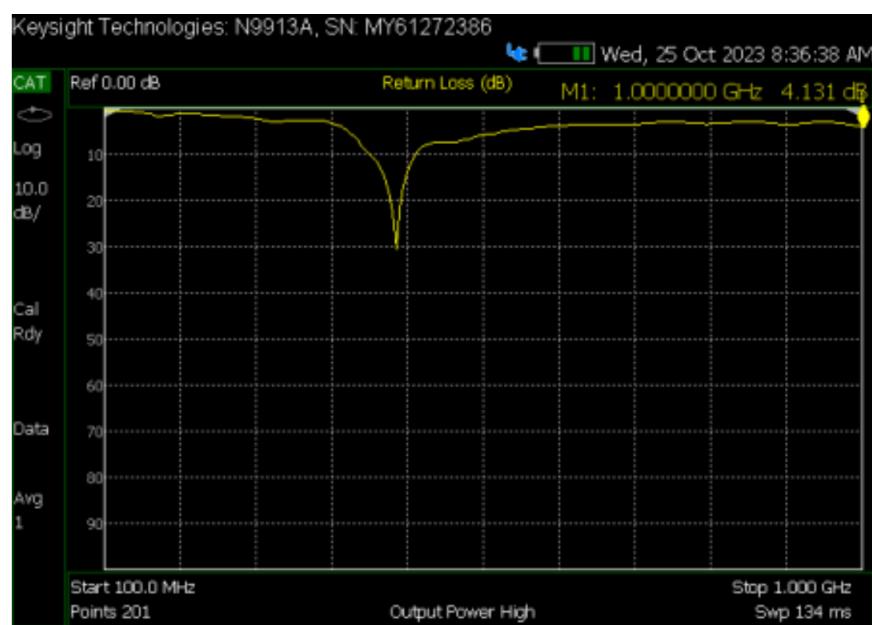


Figura 9: Configuración: Sin Atenuador

#### 6.1.4. Antena Tipo: Dipolo RTL-SDR



Figura 10: Antena Tipo: Dipolo RTL-SDR

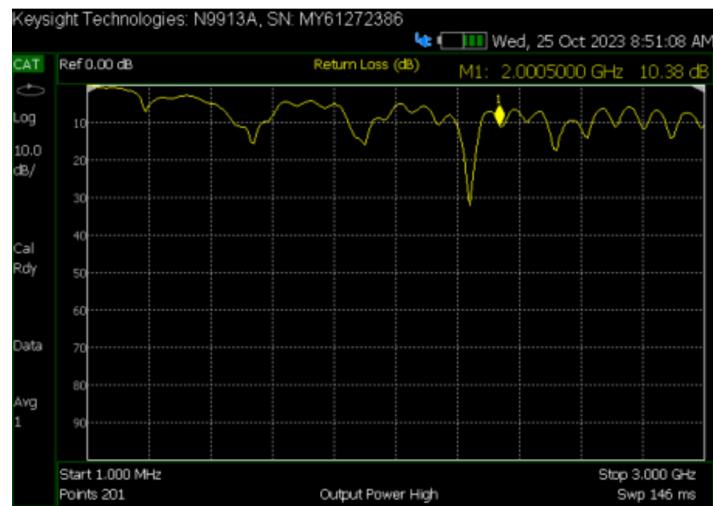


Figura 11: Sin Atenuador

#### 6.1.5. Antena Tipo: Omnidireccional ADALM-PLUTOSDR



Figura 12: Antena Tipo: Omnidireccional ADALM-PLUTOSDR

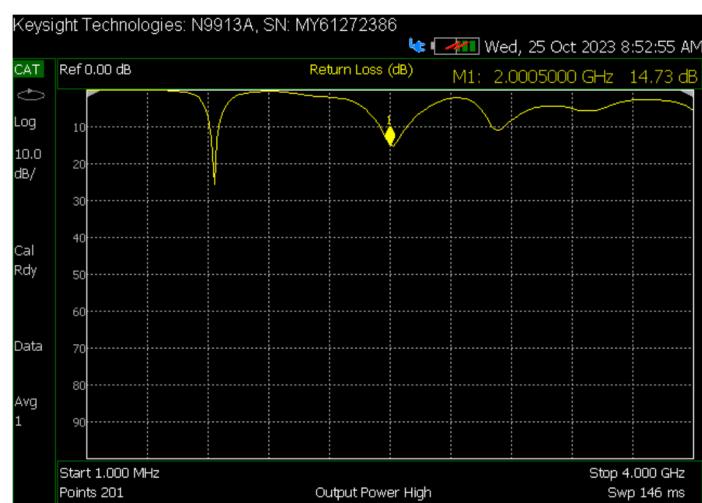


Figura 13: Configuración: Sin atenuador

#### 6.1.6. Antena Tipo: Yagi Frecuencia: 2.4GHz



Figura 14: Antena Tipo: Yagi Frecuencia: 2.4GHz

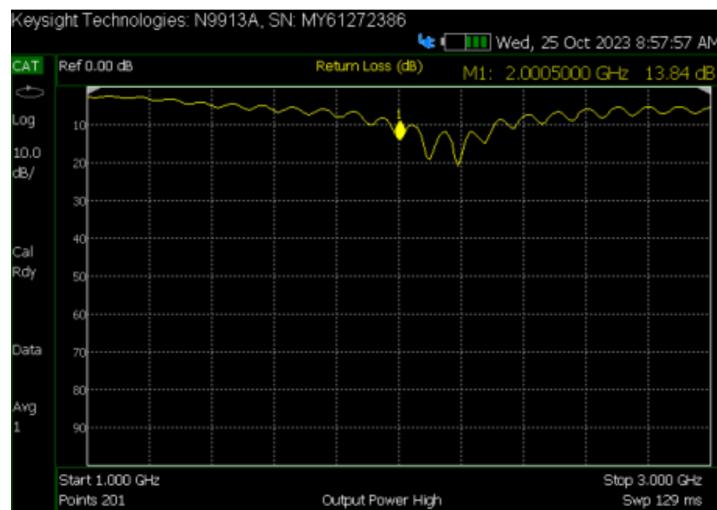


Figura 15: Configuración: Sin Atenuador

#### 6.1.7. Antena Tipo: Patch Dual de Frecuencias: 915 MHz/2400 MHz



Figura 16: Frecuencias: 915 MHz/2400 MHz



Figura 17: Configuración: Sin Atenuador

#### 6.1.8. Antena Tipo: Monopolio Frecuencia: 433 MHz



Figura 18: Antena Tipo: Monopolio Frecuencia: 433 MHz



Figura 19: Configuración: Sin Atenuador

#### 6.1.9. Antena Tipo: Dipolo Frecuencia: 915 MHz



Figura 20: Antena Tipo: Dipolo Frecuencia: 915 MHz



Figura 21: Configuración: Sin Atenuador

#### 6.1.10. Antena Tipo: Monopolio Frecuencia: 915 MHz

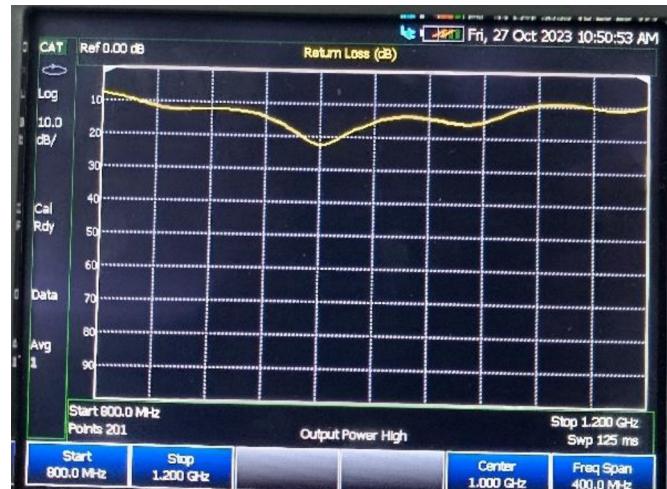


Figura 22: Sin Atenuador

#### 6.1.11. Antena Tipo: Monopolio Frecuencia: 915 MHz



Figura 23: Antena Tipo: Monopolio Frecuencia: 2400 MHz



Figura 24: Configuración: Sin Atenuador

#### 6.1.12. Antena Tipo: Espiral Frecuencia: 915 MHz



Figura 25: Antena Tipo: Espiral Frecuencia: 915 MHz



Figura 26: Configuración: Sin Atenuador

#### 6.1.13. Antena Tipo: Microstrip Frecuencia: 2400 MHz



Figura 27: Antena Tipo: Microstrip Frecuencia: 2400 MHz

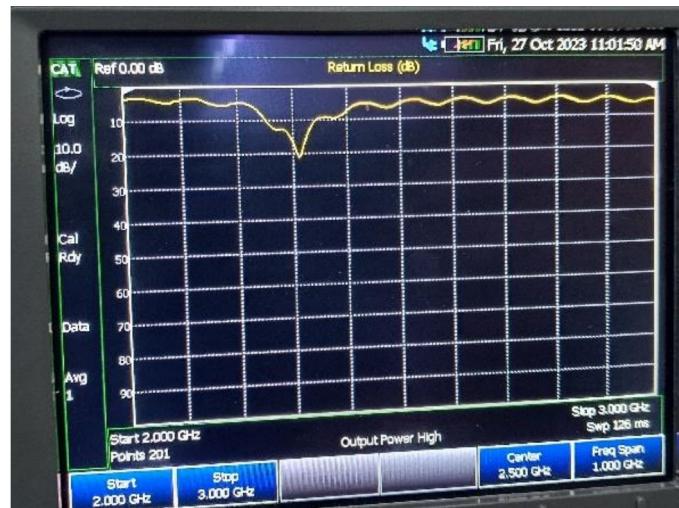


Figura 28: Configuración: Sin Atenuador

## 6.2. Análisis de Cables

### 6.2.1. Cable 1



Figura 29: Longitud: 50 cm



Figura 30: Configuración: atenuador de 10 dB

### 6.2.2. Cable 2



Figura 31: Longitud: 18 cm

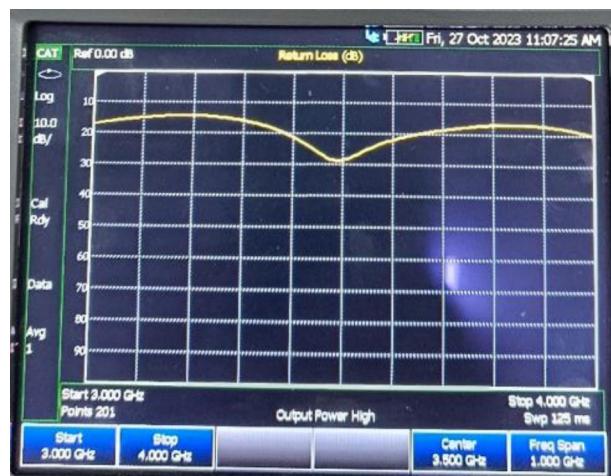


Figura 32: Configuración: Atenuador de 10 dB



Figura 33: Configuración: Atenuador de 20 dB



Figura 34: Configuración: Sin atenuador

#### 6.2.3. Cable 3 (ADALM PlutoSDR)



Figura 35: Longitud: 15 cm



Figura 36: Configuración: Atenuador de 10 dB



Figura 37: Configuración: Atenuador de 20 dB



Figura 38: Sin atenuador

### 6.3. Análisis de Atenuadores

#### 6.3.1. 1 Atenuador 10 dB



Figura 39: 1 Atenuador con 10 dB



Figura 40: Medida con Atenuador de 10 dB

#### 6.3.2. Medida con Atenuador 20 dB



Figura 41: Medida con Atenuador con 20 dB



Figura 42: Medida con Atenuador de 20 dB

### 6.3.3. Medida con Atenuador 60 dB



Figura 43: Medida con Atenuador con 60 dB



Figura 44: Medida con Atenuador de 60 dB

## 7. Análisis de Resultados

### 7.1. Antenas

#### 7.1.1. Antena Telescopica

Como se pudo verificar para este caso con atenuador de 10dB, la pérdida de retorno de la antena telescopica es de 17,32dB. Sin atenuador, la pérdida de retorno es de 17,35dB. La comparación de ambas gráficas muestra que la pérdida de retorno es más constante con el atenuador, mientras que sin atenuador es más variable, con un pico máximo de 30dB.

#### 7.1.2. Antena Dipolo 2.4GHz

En el caso de esta antena tenemos que, la pérdida de retorno es de 8,78dB a una frecuencia de 2,0GHz. A medida que la frecuencia aumenta, la pérdida de retorno también aumenta, alcanzando un máximo de 30dB en una frecuencia cercana a 2,5GHz.

#### 7.1.3. Antena Dipolo 433MHz

Aquí podemos verificar que la gráfica muestra que la pérdida de retorno es constante hasta la frecuencia de operación de la antena, donde alcanza un valor de 30dB.

#### 7.1.4. Antena Dipolo RTL-SDR

Para esta antena se verifica que, en el rango de frecuencia de 1MHz a 3GHz, la pérdida de retorno varía de 5 a 15dB, con un máximo de 30dB en la frecuencia de 2.0GHz.

#### 7.1.5. Antena Omnidireccional ADALM-PLUTOSDR

La gráfica de la antena omnidireccional ADALM-PLUTOSDR muestra una reflexión de energía de alrededor de 26dB en una frecuencia cercana a los 1,4GHz.

#### 7.1.6. Antena Yagi 2.4GHz

En el caso de la antena Yagi de 2,4GHz, la pérdida presenta un pico máximo en una frecuencia cercana a los 2,2GHz. La variación de la pérdida aumenta a medida que se acerca a la frecuencia de operación de la antena.

#### 7.1.7. Antena Patch Dual de 915MHz y 2400MHz

Para esta antena tenemos que, la pérdida de retorno es constante hasta una frecuencia cercana a los 880MHz, donde alcanza un valor máximo de 40dB.

#### 7.1.8. Antena Monopolio 433 MHz

En el caso de la antena monopolo de 433 MHz, la pérdida de retorno es constante en todo el rango de frecuencia. Esto indica que la antena tiene un rendimiento óptimo en todo el rango de frecuencia, lo que se traduce en un alcance máximo de 433 MHz.

#### 7.1.9. Antena Dipolo 915MHz

La antena dipolo de 915MHz presenta un comportamiento adecuado en todo el rango de frecuencia. La pérdida de retorno es constante y cercana a 0dB, lo que indica que la antena puede transmitir y recibir señales de manera eficiente. El patrón de radiación es omnidireccional, lo que significa que la antena puede irradiar energía en todas las direcciones.

#### 7.1.10. Antena Monopolio 915MHz

La antena monopolo de 915MHz presenta un comportamiento similar al de la antena dipolo. La pérdida de retorno es constante y cercana a 0dB, y el patrón de radiación es omnidireccional. Sin embargo, la antena monopolo es más compacta y fácil de fabricar que la antena dipolo.

### **7.1.11. Antena Monopolio 2400MHz**

La antena monopolio de 2400MHz presenta una pérdida de retorno ligeramente mayor que la de las antenas dipolo y monopolio de 915MHz. Esto se debe a que la frecuencia de operación es mayor, lo que requiere una antena más larga. El patrón de radiación es omnidireccional, al igual que en las otras antenas.

### **7.1.12. Antena Espiral 915MHz**

La antena espiral de 915MHz presenta un patrón de radiación direccional. La antena irradia más energía en una dirección específica, lo que la hace ideal para aplicaciones en las que se necesita una mayor ganancia en una dirección determinada. La pérdida de retorno es constante y cercana a 0dB en todo el rango de frecuencia.

### **7.1.13. Antena Microstrip 2400MHz**

La antena microstrip de 2400MHz es una antena plana que se puede integrar fácilmente en dispositivos electrónicos. La pérdida de retorno es constante y cercana a 0dB en todo el rango de frecuencia. El patrón de radiación es omnidireccional, al igual que en las otras antenas.

## **7.2. Cables**

### **7.2.1. Cable de 50cm**

El cable de 50cm presenta una pérdida de retorno constante y cercana a 0dB en todo el rango de frecuencia. Esto indica que el cable es de buena calidad y no introduce pérdidas significativas en la señal.

### **7.2.2. Cable de 18cm**

El cable de 18cm presenta una pérdida de retorno ligeramente mayor que la del cable de 50cm. Esto se debe a que el cable es más corto, lo que aumenta la impedancia característica. La pérdida de retorno es constante y cercana a 1dB en todo el rango de frecuencia.

### **7.2.3. Cable de 15cm (Adalm PlutoSDR)**

El cable de 15cm presenta una pérdida de retorno similar a la del cable de 18cm. La pérdida de retorno es constante y cercana a 1dB en todo el rango de frecuencia.

## **7.3. Atenuadores**

### **■ Atenuador de 10 dB:**

Resultado Esperado: Las mediciones cercanas al valor nominal de 10 dB indican un buen rendimiento del atenuador.

Implicaciones:

El atenuador de 10 dB está funcionando según las especificaciones. La pérdida de retorno es aceptable, lo que sugiere una buena calidad de la señal.

### **■ Atenuador de 20 dB:**

Resultado Esperado: Las mediciones cercanas al valor nominal de 20 dB indican un funcionamiento adecuado del atenuador.

Implicaciones:

La calibración y el ajuste del equipo parecen ser efectivos. La pérdida de inserción está dentro de los límites, lo que es crucial para mantener la integridad de la señal.

### **■ Atenuador de 60 dB:**

Resultado Esperado: Las mediciones cercanas al valor nominal de 60 dB indican un rendimiento adecuado del atenuador.

Implicaciones:

El rango dinámico del FieldFox N9913A es suficiente para medir la atenuación de 60 dB. Se han tenido en cuenta los posibles errores de medición asociados con atenuaciones tan altas.

## 8. Preguntas

- ¿Cuáles son los parámetros de dispersión más importantes para el análisis de conectores y cables?

Respuesta:

Los parámetros de dispersión más importantes para el análisis de conectores y cables son:

- **Pérdida de retorno (RL):** mide la potencia que se refleja en el conector o cable. Una pérdida de retorno baja indica que el conector o cable tiene una buena calidad.
- **Pérdida de inserción (IL):** mide la potencia que se pierde en el conector o cable. Una pérdida de inserción baja indica que el conector o cable tiene una buena calidad.
- **Voltaggio de onda estacionaria (VSWR):** mide la relación entre la amplitud máxima y mínima de la señal que atraviesa el conector o cable. Un VSWR bajo indica que el conector o cable tiene una buena calidad.

- ¿Qué factores afectan a la precisión de las mediciones de conectores y cables con un VNA?

Respuesta:

- **Impedancia característica:** Los cables y conectores deben estar diseñados para mantener una impedancia característica específica (generalmente 50 ohmios) en todo el sistema. Esto asegura mediciones precisas y mínima reflexión de señal en el dispositivo bajo prueba (DUT).
- **Pérdidas por inserción:** Las pérdidas de señal a lo largo del cable y los conectores son críticas en un VNA, ya que pueden afectar la precisión de las mediciones. Los cables coaxiales de alta calidad y los conectores bien diseñados reducen al mínimo estas pérdidas.
- **Atenuación y reflexión:** Los cables y conectores de baja calidad pueden causar atenuación de la señal y reflexiones no deseadas, lo que influye en la precisión de las mediciones. Los conectores y cables deben minimizar estas distorsiones.

- ¿Qué tipos de conectores y cables se utilizaron en la práctica de laboratorio con el analizador de redes vectoriales, explique cada uno?

Respuesta:

- **Conectores:** N, SMA, BNC, TNC, entre otros. La elección del conector debe ser coherente con la frecuencia de operación y las necesidades de medición.
- **Cables:** Coaxiales, de fibra óptica, entre otros. La elección del tipo de cable también es importante. Los cables más largos pueden introducir más pérdidas de señal, mientras que los diferentes tipos de cables tienen diferentes características de atenuación a lo largo del rango de frecuencia.

- ¿Cómo pueden las pérdidas de inserción y la calidad de los conectores afectar la precisión de las mediciones en un Analizador de Redes Vectoriales?

Respuesta: Las pérdidas de inserción representan la disminución de la potencia de la señal a medida que atraviesa los conectores o cables, lo que puede afectar la precisión de las mediciones al introducir errores en las lecturas. La baja calidad de los conectores puede aumentar estas pérdidas, impactando negativamente la exactitud de las mediciones.

## 9. Conclusiones y Recomendaciones

### 9.1. Conclusiones

- El analizador de redes vectoriales y espectros Keysight FieldFox N9913A es una herramienta muy avanzada que permite realizar una amplia gama de mediciones de antenas.
- La pérdida de retorno es un parámetro importante para evaluar el rendimiento de una antena o cable de radiofrecuencia.
- Las antenas con una pérdida de retorno constante y cercana a 0dB son ideales para aplicaciones en las que se necesita una eficiencia de transmisión y recepción óptima.
- Los cables con una pérdida de retorno constante y cercana a 0dB no introducen pérdidas significativas en la señal.
- Los resultados de las mediciones de antenas proporcionan información importante para optimizar el rendimiento de los sistemas de comunicación inalámbrica.

## 9.2. Recomendaciones

- Para realizar mediciones precisas de diferentes antenas como en esta práctica de laboratorio, es importante seguir las instrucciones del fabricante del equipo de medición, para esto podemos buscar manuales, guías, etc.
- Siempre que se seleccione una antena o cable de radiofrecuencia, es importante considerar la pérdida de retorno, con el fin de que en nuestro sistema exista la menor perdida significativa de señal posible.
- Para minimizar las pérdidas de señal, se recomienda utilizar antenas y cables con una pérdida de retorno constante y cercana a 0dB.

## Referencias

- Castillo, J. (2010). *Infraestructuras comunes de telecomunicaciones en viviendas y edificios*. Editorial Editex. Descargado de <https://books.google.com.ec/books?id=Kfln72XLyQgC>
- Martínez Rueda, J. (2021). *Aviónica básica en aeronaves*. Ediciones Paraninfo, S.A. Descargado de <https://books.google.com.ec/books?id=VKl1EAAAQBAJ>
- Pantoja, J. (2002). *Ingeniería de microondas: Técnicas experimentales*. Pearson Educación. Descargado de <https://books.google.com.ec/books?id=RChVaWxDxrUC>
- Technologies, K. (s.f.). Keysight Technologies N9912A FieldFox RF Handheld Analyzer 4/6 GHz. Descargado de <http://www.keysight.com/find/sweula>.
- YADAVA, R. (2022). *Antennas and wave propagation*. PHI Learning Pvt. Ltd. Descargado de <https://books.google.com.ec/books?id=KYp1EAAAQBAJ>