



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

– **TELECOM** ESCUELA
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Telecomunicación

Sistema de medida de exposición electromagnética

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de
Telecomunicación

AUTOR/A: Brazález Gabaldón, María

Tutor/a: Rodrigo Peñarrocha, Vicent Miquel

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Resumen

Este trabajo se centra en el estudio de los niveles de las señales procedentes de diferentes tipos de servicios como radiodifusión o telefonía móvil para comprobar si dichos valores se encuentran por debajo de los niveles de referencia que dicta la normativa existente.

Se ha desarrollado por lo tanto una aplicación que trabajará conectada a un analizador de espectros modelo N9917A de Keysight Technologies, el cual medirá a través de una antena para poder llevar a cabo una campaña de medidas y contrastar dichos resultados con los de la normativa.

La aplicación se ha creado con el entorno de desarrollo App Designer de Matrix Laboratory (MATLAB). Su objetivo es automatizar el proceso de medida y la obtención de datos para posteriormente trabajar con ellos y así obtener los resultados bajo estudio. Para ello, consta de diferentes funciones que sirven para la configuración del analizador de espectros.

Se han considerado diferentes parámetros (frecuencia, ancho de banda del filtro de resolución, número de puntos, velocidad de barrido, entre otros) para la configuración del aparato. Así, los datos medidos son valores de potencia para cada frecuencia con los que obtenemos los parámetros de campo eléctrico y densidad de potencia, los dos necesarios para comprobar que se cumple la normativa.

Resum

Aquest treball es centra en l'estudi dels nivells dels senyals procedents de diferents tipus de serveis com a radiodifusió o telefonia mòbil per a comprovar si aquests valors es troben per davall dels nivells de referència que dicta la normativa existent.

S'ha desenvolupat per tant una aplicació que treballarà connectada a un analitzador d'espectres model N9917A de Keysight Technologies, el qual mesurarà a través d'una antena per a poder dur a terme una campanya de mesures i contrastar aquests resultats amb els de la normativa.

L'aplicació s'ha creat amb l'entorn de desenvolupament App Designer de Matrix Laboratory (MATLAB). El seu objectiu és automatitzar el procés de mesura i l'obtenció de dades per a posteriorment treballar amb ells i així obtenir els resultats sota estudi. Per a això, consta de diferents funcions que serveixen per a la configuració de l'analitzador d'espectres.

S'han considerat diferents paràmetres (freqüència, amplada de banda del filtre de resolució, nombre de punts, velocitat d'escombratge, entre altres) per a la configuració de l'aparell. Així, les dades mesurades són valors de potència per a cada freqüència amb els quals obtenim els paràmetres de camp elèctric i densitat de potència, els dos necessaris per a comprovar que es compleix la normativa.

Abstract

This work focused on the study of signal levels from different types of services such as broadcasting or mobile phone to check whether these values are below the reference levels dictated by existing regulations.

Therefore, an application has been developed that will work connected to a Keysight Technologies N9917A model spectrum analyzer, which will measure through an antenna in order to carry out a measurement campaign and compare the results with those of the regulations.

The application has been created with Matrix Laboratory's App Designer development environment (MATLAB). Its objective is to automate the measurement process and the collection of data to later work with them in order to obtain the results under study. For this purpose, it consists of different functions that are used to configure the spectrum analyzer.

Different parameters (frequency, resolution filter bandwidth, number of points, scanning speed, among others) have been considered for the configuration of the device. Thus, the measured data are power values for each frequency with which we obtain the electric field and power density parameters, both of which are necessary to verify compliance with regulations.



Índice

Capítulo 1. Introducción y objetivos.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Organización trabajo fin de grado.....	1
Capítulo 2. Metodología	3
2.1 Realización del proyecto	3
2.2 Distribución de tareas.....	3
2.3 Diagrama temporal.....	4
Capítulo 3. Normativa de exposición a los campos electromagnéticos	5
3.1 Magnitudes físicas.....	5
3.1.1 Intensidad de campo eléctrico	5
3.1.2 Densidad de potencia	5
3.1.3 Índice de absorción específica de energía	5
3.2 Restricciones básicas.....	5
3.3 Niveles de referencia.....	6
3.4 Exposición a fuentes con múltiples frecuencias.....	6
3.5 Métodos de medida y referencias	7
Capítulo 4. Definiciones	8
4.1 Definición de los parámetros medibles	8
4.1.1 Densidad de potencia	8
4.1.2 Intensidad de campo eléctrico	8
4.2 Definición del equipamiento de medida.....	9
4.2.1 Analizador de espectros	9
4.2.2 Antena	9
4.2.3 Interfaz controladora	10
Capítulo 5. App Designer de MATLAB	11
5.1 Introducción	11
5.2 Vista Código (View Code).....	12
5.2.1 Barra de herramientas.....	13
5.2.2 Navegador de código.....	14
5.2.3 Diseño Aplicación	14
5.2.4 Navegador de componentes.....	15
5.3 Vista Diseño (Desing View)	15
5.3.1 Barra de herramientas.....	16



5.3.2	Librería de componentes	16
5.3.3	Navegador de componentes.....	22
Capítulo 6.	Desarrollo del trabajo	23
6.1	Introducción	23
6.2	Conexión con el analizador de espectros	24
6.3	Diseño de la interfaz de usuario	29
6.3.1	Función StartUp	29
6.3.2	Componentes de la interfaz	30
Capítulo 7.	Campaña de medida con el programa	41
Capítulo 8.	Conclusiones y propuesta de trabajo futuro	43
8.1	Conclusiones	43
8.2	Propuesta de trabajo futuro	43
Capítulo 9.	Bibliografía.....	44



Índice de figuras

Figura 1. Analizador de RF portátil FieldFox N9917A FieldFox.....	9
Figura 2. Polarización antena.....	9
Figura 3. Directividad de la antena.....	10
Figura 4. Esquema de conexión.....	10
Figura 5. Primera forma de abrir App Designer.....	11
Figura 6. Segunda forma de abrir App Designer.....	11
Figura 7. Página de inicio App Designer.....	12
Figura 8. Entorno Vista Código.....	12
Figura 9. Pestaña Diseñador del entorno Vista Código.....	13
Figura 10. Pestaña Editor del entorno Vista Código.....	13
Figura 11. Pestaña Vista del entorno Vista Código.....	14
Figura 12. Panel Navegador de código.....	14
Figura 13. Panel Diseño Aplicación.....	14
Figura 14. Panel Navegador de componentes.....	15
Figura 15. Entorno Vista Diseño.....	15
Figura 16. Pestaña Lienzo del entorno Vista Diseño.....	16
Figura 17. Pestaña Vista del entorno Vista Diseño.....	16
Figura 18. Panel Librería de componentes.....	16
Figura 19. Flujo de trabajo.....	23
Figura 20. Centro de redes y recursos compartidos.....	24
Figura 21. Estado red Ethernet.....	25
Figura 22. Propiedades TCP/IPv4 de la red Ethernet.....	25
Figura 23. Configuración del analizador de espectros.....	26
Figura 24. Sección entorno.....	26
Figura 25. Paquete para control del instrumento.....	27
Figura 26. Herramienta Test&Measurement.....	27
Figura 27. Conectarse al instrumento.....	28
Figura 28. Código para la conexión con el instrumento.....	28
Figura 29. Código para conexión con el analizador.....	29
Figura 30. Error de conexión entre instrumento y ordenador.....	29
Figura 31. Botón de información.....	30
Figura 32. Información de uso.....	30
Figura 33. Botón para guardar medidas.....	30
Figura 34. Cuadro error guardar medida.....	30



Figura 35. Opciones del desplegable del panel de frecuencias.	31
Figura 36. Panel frecuencia opción 1.	31
Figura 37. Panel frecuencia opción 2.	31
Figura 38. Cuadros de error y advertencia panel de frecuencia.	32
Figura 39. Panel nivel de referencia y escala.	32
Figura 40. Cuadro pregunta escalado automático.	33
Figura 41. Ancho de banda del filtro de resolución.	33
Figura 42. Cuadros de advertencia ancho de banda del filtro de resolución.	33
Figura 43. Número de puntos.	34
Figura 44. Cuadros de advertencia número de puntos.	34
Figura 45. Velocidad de barrido.	34
Figura 46. Cuadro ayuda velocidad de barrido.	35
Figura 47. Cuadros de advertencia velocidad de barrido.	35
Figura 48. Botón configurar.	35
Figura 49. Cuadro espera para calculo tiempo de barrido.	35
Figura 50. Botón preset.	36
Figura 51. Cuadro pregunta preset.	36
Figura 52. Panel tiempo de barrido.	36
Figura 53. Panel de promediado.	36
Figura 54. Panel de medida.	37
Figura 55. Cuadro ayuda tiempo de medida.	37
Figura 56. Botón para ganancia de la antena.	37
Figura 57. Cuadro error al leer archivo de ganancia de la antena.	37
Figura 58. Cuadro de error por no cargar archivo de ganancia de la antena.	38
Figura 59. Botón para directividad de la antena.	38
Figura 60. Cuadro error al leer archivo de directividad de la antena.	38
Figura 61. Cuadro error por no cargar archivo de directividad de la antena.	38
Figura 62. Interruptor y botón para pérdidas del cable.	39
Figura 63. Cuadro de error al leer archivo de pérdidas del cable.	39
Figura 64. Cuadro error por no cargar archivo perdidas de cable.	39
Figura 65. Botón medir.	39
Figura 66. Cuadro espera para medición.	40
Figura 67. Resultados primera medida.	41
Figura 68. Resultados segunda medida.	42
Figura 69. Resultados tercera medida.	42



Índice de tablas

Tabla 1. Diagrama temporal.....	4
Tabla 2. Componentes comunes de App Designer.....	19
Tabla 3. Contenedores de App Designer.....	20
Tabla 4. Herramientas de figuras de App Designer.	20
Tabla 5. Componentes de instrumentación de App Designer.	22
Tabla 6. Tabla de resultados primera medida.....	41
Tabla 7. Tabla de resultados segunda medida.....	41
Tabla 8. Tabla de resultados tercera medida.	42



Acrónimos

B

BOE	
Boletín Oficial del Estado	5

C

CAT	
Cable and Antenna Test o Prueba de Cable y antena	9

E

ETSIT	
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación	41

F

FFT	
Fast Fourier Transform o Transformada Rápida de Fourier	9

I

IO	
Entrada/Salida	26

IP	
Protocolo de internet o Internet Protocol	10, 24, 25, 26, 28

M

MATLAB	
Matrix Laboratory	1, 10, 11, 24, 26, 27

N

NA	
Network Analyzer o Analizador de red	9

S

SA	
Spectrum Analyzer o Analizador de espectros	9

SAR	
tasa de absorción de energía específica o Specific energy Absorption Rate	5, 6

T

TCP/IPv4	
Protocolo de internet versión 4 o Internet Protocol version 4	25

TFG	
Trabajo de Fin de Grado	1, 41, 43



tntool

Prueba y Herramienta de medición o Test and Measurement Tool 10, 24, 26, 27

V

VISA

Arquitectura estándar de instrumentos virtuales o Virtual Instrument Standard Architecture .. 10, 26, 27,
28

Capítulo 1. Introducción y objetivos

1.1 Introducción

El número de dispositivos que hoy en día usan los diferentes servicios de telecomunicaciones se ha incrementado de manera exponencial y con ello también ha tenido que aumentar las instalaciones radioeléctricas. Surge así la necesidad de saber si la exposición a los campos electromagnéticos que estos originan pueden ser un riesgo para la salud de la población, por lo que fue aprobado un Real Decreto que establece los límites de exposición que deben respetar todas las instalaciones a las que les afecte dicho reglamento.

Por todo lo anterior, se considera importante el cumplimiento de estos límites de exposición del público en general a los campos electromagnéticos. Mediante una antena podremos captar las señales de dichos campos. Con un analizador de espectros mediremos los parámetros necesarios para la comprobación de dichas normas.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) es diseñar y ejecutar un sistema de medida de campos electromagnéticos, es decir, un programa que nos permita evaluar el comportamiento de la señal a medir para diferentes frecuencias y así estudiar la exposición a los campos electromagnéticos y evaluar si pueden ser o no un riesgo para la salud de los ciudadanos.

Para ello, se medirán a través del programa, el cual controla a un analizador de espectros conectado a una antena, diferentes servicios que emiten campos electromagnéticos y se compararán con los valores recogidos en el Real Decreto vigente para así comprobar si estas instalaciones cumplen la normativa.

Se realizará una campaña de pruebas para determinar el correcto funcionamiento de dicho programa, y los correspondientes resultados serán la muestra de si se cumple o no el reglamento.

1.3 Organización trabajo fin de grado

Dicha memoria esta seccionada en diferentes capítulos y la organización de los mismos respecto al contenido que incluyen es el siguiente:

- El Capítulo 2 incorpora la metodología para el desarrollo de este proyecto junto con un apartado donde se especifica la distribución de tareas.
- En el Capítulo 3 se abordan aspectos teóricos acerca de la normativa vigente sobre los campos electromagnéticos.
- En el capítulo 4 encontramos diferentes definiciones entre las que encontramos los parámetros medibles y aspectos referidos al equipo utilizado.
- En el capítulo 5 se explica el tipo de lenguaje elegido para el desarrollo del programa, así como exponer el funcionamiento del entorno de trabajo que en este caso es App Designer de MATLAB.
- En el Capítulo 6 se muestra el desarrollo del trabajo, desde las primeras tareas como puede ser la conexión con el analizador de espectros hasta la programación y diseño de la interfaz.



- En el Capítulo 7 hallamos los resultados de la campaña de pruebas llevada a cabo para comprobar el correcto funcionamiento de nuestro proyecto y el cumplimiento de los límites marcados.
- En el Capítulo 8, por último, ubicamos las conclusiones que podemos obtener tras el desarrollo de nuestro trabajo de fin de grado y las propuestas para un supuesto futuro trabajo.



Capítulo 2. Metodología

2.1 Realización del proyecto

El progreso de esta memoria puede dividirse en tres partes fundamentales.

La primera, se basa en el estudio de la normativa que establece los límites para la exposición a los campos electromagnéticos, así como de los parámetros fundamentales para poder realizar las medidas necesarias.

Seguidamente, comenzamos con el desarrollo de la aplicación junto con el estudio del funcionamiento del analizador de espectros y los comandos necesarios para la correcta comunicación.

Finalmente, se examinará el sistema medidor de campos electromagnéticos con una campaña de medidas y se obtendrán las pertinentes conclusiones.

2.2 Distribución de tareas

Para poder cumplir los objetivos fijados hemos llevado a cabo la siguiente estrategia de trabajo:

- Tarea 1. Buscar información sobre campos electromagnéticos y la normativa.
- Tarea 2. Ubicar los instrumentos que vamos a necesitar para hacer las medidas.
- Tarea 3. Plantear en que lenguaje programar y hacer pruebas para comunicarnos con el analizador.
- Tarea 4. Plantear el funcionamiento básico del programa y que pasos seguir para llevarlo a cabo.
- Tarea 5. Establecer todos los parámetros necesarios para la configuración del analizador.
- Tarea 6. Realizar medidas de prueba.
- Tarea 7. Calcular los parámetros de medida (campo eléctrico y densidad de potencia).
- Tarea 8. Comprobación de la normativa.
- Tarea 9. Comprobar el correcto funcionamiento con una campaña de medida.
- Tarea 10. Desarrollo y redacción de la memoria del trabajo.



2.3 Diagrama temporal

TAREA	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
1	X						
2	X						
3		X					
4		X					
5		X	X	X	X	X	X
6						X	X
7							X
8							X
9							X
10					X	X	X

Tabla 1. Diagrama temporal.

Capítulo 3. Normativa de exposición a los campos electromagnéticos

Desde hace ya varios años, la población convive con diferentes servicios de radiodifusión y con la exposición a los campos electromagnéticos que estos conllevan. Si a ello le sumamos el despliegue de las instalaciones de los servicios de telefonía móvil, llevado a cabo de manera acelerada en el último tiempo, para poder cubrir las necesidades tanto de calidad como de cobertura de los demandantes de dicho servicio, observamos que la exposición a la que están sometidos los ciudadanos es mucho mayor.

Por ello, en el año 2001 se aprueba un Real Decreto 1066/2001 [1] que tiene como objetivo limitar la exposición como medida de protección para la salud de las personas.

La última modificación de dicho documento en el Boletín Oficial del Estado (BOE) fue en 2017 [2]. En él se especifican los límites establecidos para los campos electromagnéticos a través del cumplimiento de la restricciones básicas y niveles de referencia descritos en el mismo.

Los siguientes puntos de este capítulo se basan en este último.

3.1 Magnitudes físicas

3.1.1 Intensidad de campo eléctrico

“La intensidad de campo eléctrico es una magnitud vectorial (E) que corresponde a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada independientemente de su movimiento en el espacio. Se expresa en voltios por metro (V/m).”

3.1.2 Densidad de potencia

“La densidad de potencia (S) es la magnitud utilizada para frecuencias muy altas, donde la profundidad de penetración en el cuerpo es baja. Es la potencia radiante que incide perpendicular a una superficie, dividida por el área de la superficie, y se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m^2).”

3.1.3 Índice de absorción específica de energía

“El índice de absorción específica de energía (SAR, «specific energy absorption rate»), se define como potencia absorbida por unidad de masa de tejido corporal, cuyo promedio se calcula en la totalidad del cuerpo o en partes de éste, y se expresa en vatios por kilogramo (W/kg).”

3.2 Restricciones básicas

Las restricciones básicas son las restricciones a campos tanto eléctricos como magnéticos o electromagnéticos fundadas en los efectos sobre la salud. Dependiendo de la frecuencia de trabajo se utilizan diferentes cantidades físicas para proporcionar dichas restricciones, en nuestro caso (700 MHz - 5 GHz) nos encontramos entre dos rangos especificados. El primero desde 100 kHz hasta los 10 GHz las restricciones básicas provienen del índice de absorción específica de energía (SAR) con motivo de evitar el calentamiento excesivo de los tejidos. Sin embargo, entre 10 GHz y 300 GHz vienen dadas por la densidad de potencia para prevenir también el calentamiento, pero en la piel o cerca de la misma.

Así las restricciones básicas para frecuencias entre 10 MHz y 10 GHz son cumplir:

- SAR medio de cuerpo entero de 0.08 W/kg.
- SAR localizado en cabeza y tronco de 2 W/kg.
- SAR localizado en miembros de 4 W/kg.
- Densidad de Potencia de 10 W/m².

Hay que tener en cuenta a la hora de medir el índice de absorción específica de energía que sus valores tienen que estar promediados durante un periodo mínimo de seis minutos.

3.3 Niveles de referencia

Los niveles de referencia son aquellos valores límites, que vienen dados por la intensidad de campo eléctrico o magnético y por la densidad de potencia y son utilizados para llevar a cabo las medidas que confirman el correcto cumplimiento de las restricciones básicas. Los niveles de referencias también dependen de la banda de frecuencia en la que nos encontremos:

- Entre 400 y 2000 MHz se define por la intensidad del campo eléctrico existente siendo este dependiente de la frecuencia de trabajo y siguiendo la expresión:

$$E = 1,375 \cdot \sqrt{f} \quad \text{V/m} \quad (1)$$

Y por la densidad de potencia equivalente de onda plana (S_{eq}) que también toma un valor diferente dependiendo de la frecuencia ya que sigue la expresión:

$$S_{eq} = f/200 \quad \text{W/m}^2 \quad (2)$$

- Entre 2 y 300 GHz el valor de la densidad de potencia equivalente de onda plana tiene un valor fijo e igual a 10 W/m² y la intensidad de campo eléctrico en este intervalo tiene un valor constante de 61 V/m.

De la misma manera para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz el valor de la densidad de potencia mencionada debe ser medida en un periodo mínimo de seis minutos y para frecuencias mayores de 10 MHz su media no puede ser mayor de 1000 veces los niveles de referencia.

Así como para los valores de pico de intensidad de campo eléctrico entre 10 MHz y 300 GHz serán los valores rms por 32 y dichas intensidades no podrán sobrepasar 32 veces dichos niveles de referencia.

También hay que recalcar que si se cumplen dichos niveles de referencia estamos seguros de que las restricciones básicas son respetadas.

Resaltar también que el Real Decreto diferencia las situaciones especiales donde la exposición es localizada, como sucede en los teléfonos móviles con la cabeza, e indica que no es apropiado en estos casos utilizar niveles de referencia, sino que hay que centrarse en cumplir las restricciones básicas para la zona en cuestión.

3.4 Exposición a fuentes con múltiples frecuencias

En el Real Decreto hay un apartado específico para aquellas situaciones en las que estemos expuestos a campos en diferentes frecuencias, como es nuestro caso, ya que dentro del rango de frecuencias de trabajo podemos encontrar tanto servicios de radiodifusión como televisión y radio como servicios de telefonía, por ello debemos tener en cuenta que las exposiciones a cada uno de los campos se sumen.

Si nos centramos en las restricciones básicas, para el caso que nos concierne, frecuencias superiores a 100 kHz, los valores de SAR y de las densidades de potencias deben cumplir la siguiente condición:

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{10 \text{ GHz}} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{S_i}{S_L} \leq 1 \quad (3)$$

donde los parámetros con el subíndice i son los obtenidos en esa frecuencia de trabajo para la que se está calculando y los parámetros con el subíndice L hacen referencia a los valores de restricción básica aportados en el apartado 2.1 Restricciones básicas de este documento.

Por otro lado, en referencia a los niveles de referencia también nos centraremos en las imposiciones a frecuencias mayores de 100 kHz:

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}}\right)^2 \leq 1 \quad (4)$$

De la misma manera los parámetros con subíndice i indican la medida realizada a esa frecuencia y el parámetro $E_{L,i}$ hace referencia al valor que toma el campo eléctrico en este rango de frecuencias para los niveles de referencia. Además, c depende de la frecuencia (en MHz) utilizada y se define por la expresión:

$$c = \frac{87}{\sqrt{f}} \text{ V/m} \quad (5)$$

3.5 Métodos de medida y referencias

En relación con los métodos de medida, el Real Decreto alude a que se deben seguir las indicaciones descritas en el artículo 11 sobre equipos y aparatos de dicho documento, artículo que fue derogado, en el que se recoge que todos los equipos deberán tener el certificado de aceptación ya que es necesario para la fabricación de estos, así como que podrán someterse a una valoración voluntaria para fijar las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos. Dichas especificaciones técnicas son determinadas por diferentes organismos como pueden ser El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación o la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Capítulo 4. Definiciones

4.1 Definición de los parámetros medibles

4.1.1 Densidad de potencia

“Cantidad de potencia por unidad de superficie en una microonda radiada o en otro campo electromagnético; generalmente se expresa en vatios por centímetro cuadrado.” [3]

Para calcularla necesitamos la potencia recibida y el área efectiva relacionándose de la siguiente manera:

$$S = \frac{P_{rec}}{A_{ef}} \quad (\text{W/m}^2) \quad (6)$$

$$A_{ef} = \frac{\lambda^2 D}{4\pi} \quad (\text{m}^2) \quad (7)$$

Siendo:

- P_{rec} : potencia recibida en la antena.
- A_{ef} : área efectiva.
- λ : longitud de onda.
- D : Directividad máxima de la antena.

4.1.2 Intensidad de campo eléctrico

“La carga eléctrica de los cuerpos altera el espacio que los rodea. La magnitud que mide esta alteración en un punto determinado es la intensidad del campo eléctrico en dicho punto. Se define como la fuerza ejercida sobre la unidad de carga positiva situada en ese punto.” [4]

Podemos calcularla conociendo la densidad de potencia y la impedancia, en este caso del espacio libre.

$$E = \sqrt{S \cdot \eta} \quad (\text{V/m}) \quad (8)$$

Así la impedancia del espacio libre se puede calcular como:

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (\Omega) \quad (9)$$

Siendo:

- μ_0 : permeabilidad del aire con un valor igual a $4\pi 10^{-7}$ H/m.
- ϵ_0 : permitividad del aire con un valor igual a $8,85410^{-12}$ F/m.

4.2 Definición del equipamiento de medida

4.2.1 Analizador de espectros

Un analizador de espectros es un equipo utilizado para hacer mediciones de una señal, principalmente para medir potencia dentro del rango de frecuencias con el que el instrumento este configurado.[5]

Existen dos tipos de analizadores de espectros que se diferencian por el modo de obtener el espectro de la señal medida. En primer lugar, podemos encontrar analizadores de espectro sintonizados por barrido que utilizan un receptor superheterodino de manera que disminuyen a la frecuencia central del filtro paso banda la señal de entrada. Gracias a este receptor se puede tener en cuenta el rango de frecuencias del instrumento de manera completa. Por otro lado, existe los analizadores de transformada rápida de Fourier (FFT) que calculan dicha transformada discreta de manera que descompone la señal en las componentes espectrales para proporcionar información sobre la composición de esta.

El analizador de espectros del que disponemos y con el que hemos desarrollado dicho proyecto es el modelo N9917A de Keysigth Technologies [6] de dos puertos. Se trata de un analizador de radio frecuencia portátil que dispone de varios modos de trabajo como prueba de cable y antena (CAT), analizador de redes (NA) y el que nosotros utilizaremos, analizador de espectros (SA), entre otros. Su rango de frecuencias en este modo oscila hasta los 18 GHz. En la siguiente imagen podemos ver el modelo de analizador utilizado.



Figura 1. Analizador de RF portátil FieldFox N9917A FieldFox.

4.2.2 Antena

Hemos trabajado con una antena hélice, formada por un alambre enrollado en forma de espiral. Es una antena de onda progresiva que tiene dos bandas de trabajo, la primera desde 1,82 GHz hasta 2,93 GHz y la segunda desde 3,515 GHz hasta 5,11 GHz. Además, tiene polarización circular como podemos observar en la figura 2.

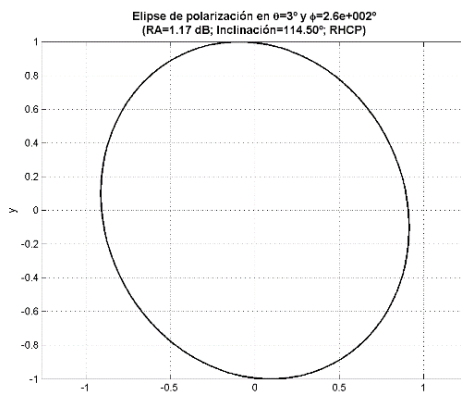


Figura 2. Polarización antena.

Respecto a la directividad de dicha antena, su máximo son 12,04 dB. Se adjuntan dos gráficas referidas a la directividad de la antena, una en 3D y otra del corte del plano YZ.

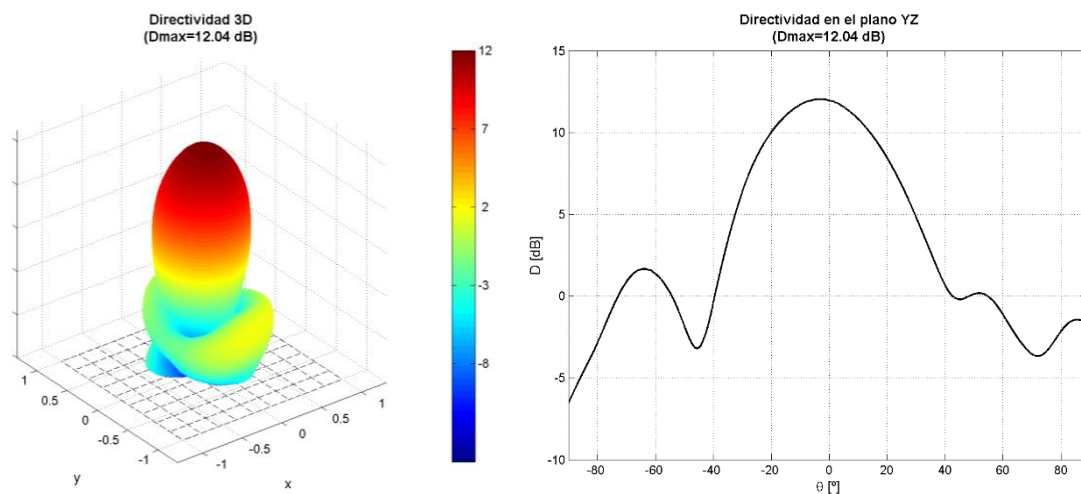


Figura 3. Directividad de la antena.

4.2.3 Interfaz controladora

En este proyecto, el dispositivo que controla el analizador de redes se trata de un ordenador portátil. Desde la plataforma App Designer de MATLAB se comunica a través del código enviado al instrumento para poder configurarlo.

Para ello, utilizaremos la herramienta Prueba y Herramienta de medición (tntool) [7] de MATLAB. Creamos un objeto VISA (Virtual Instrument Standard Architecture) que es un estándar para comunicarse con aparatos sin tener en cuenta la interfaz. En nuestro caso utilizamos la interfaz TCP/IP para VXI-11.

Para poder utilizar VISA debemos instalarnos el paquete de soporte. Su instalación se explicará posteriormente en el Apartado 6.2. Conexión con el analizador de espectros.

De esa manera, el ordenador estará conectado al analizador a través de un cable Ethernet y el analizador a la antena receptora por un cable hasta el puerto 2. Como ejemplo de esquema se presenta el de la figura 4.



Figura 4. Esquema de conexión.

Capítulo 5. App Designer de MATLAB

5.1 Introducción

Se ha elegido App Designer como entorno para el desarrollo del programa de este proyecto debido a la familiaridad con esta plataforma. Es una aplicación que se ha utilizado a lo largo de los cuatro años del grado. Además, App Designer permite crear de una manera muy sencilla la interfaz gráfica, así como tener un lenguaje de programación muy intuitivo y fácil de manejar.

MATLAB es una plataforma destinada a programación y calculo, así como para analizar datos, desarrollar algoritmos, creación de interfaces de usuario (GUI), etc. [8]

App Designer permite como ya hemos dicho desplegar aplicaciones sin tener grandes conocimientos como desarrollador de software. Así podemos llevar a cabo creaciones de aplicaciones utilizando un entorno integrado (Vista Diseño o View Design) para diseñar la interfaz de usuario y el entorno destinado a escribir código (Vista Código o View Code) para decretar el comportamiento de esta. [9]

Para acceder a App Designer de MATLAB podemos hacerlo de dos maneras. La primera bastará con abrir la aplicación de MATLAB. En la barra de herramientas situado en la parte superior de la ventana, dentro de la pestaña Casa (HOME), en el subapartado Nuevo (New) desplegamos las opciones y clicamos sobre App.

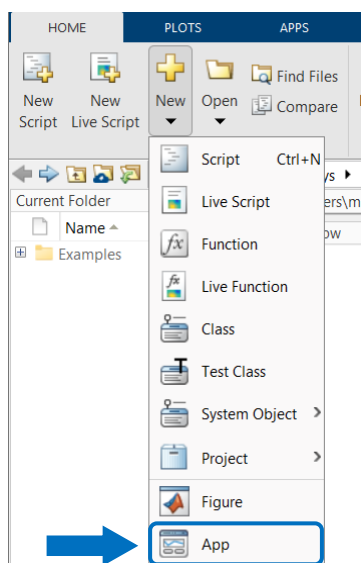


Figura 5. Primera forma de abrir App Designer

La segunda forma, desde la aplicación de MATLAB, también en la barra de herramientas encontramos la pestaña aplicaciones (APPS). Clicando sobre Diseñar Aplicación (Design App).

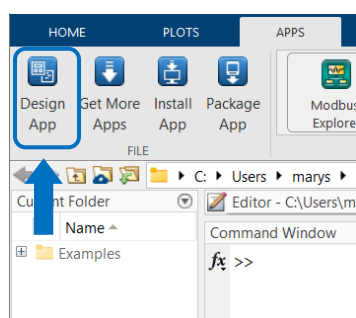


Figura 6. Segunda forma de abrir App Designer.

Cuando ya lo tenemos abierto, aparece una pantalla de inicio donde podemos elegir entre crear una nueva aplicación o un componente de interfaz de usuario personalizado. También podemos ver una lista de las aplicaciones usadas recientemente, explorar ejemplos para ayudarnos a comenzar, realizar tutoriales guiados, etc.

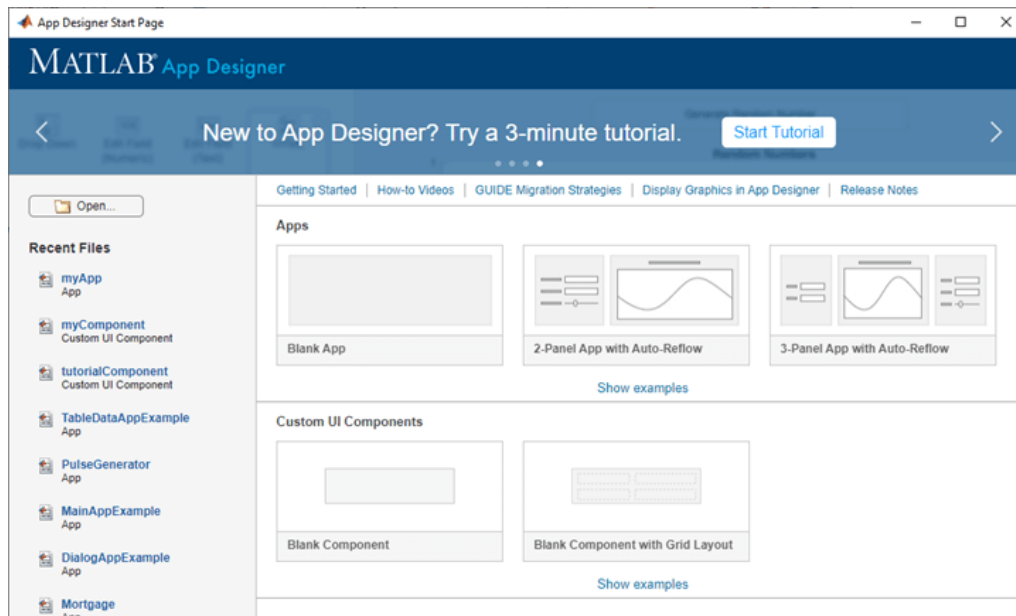


Figura 7. Página de inicio App Designer.

Una vez abierta una plantilla en blanco encontraremos los dos entornos antes descritos donde podemos diseñar la interfaz de usuario y dotar de comportamiento a nuestra aplicación. Comenzando así a desarrollar nuestra aplicación.

5.2 Vista Código (View Code)

Este entorno se utiliza para definir el comportamiento de la aplicación de manera que se comprueba la existencia de problemas de codificación. Se puede ver advertencias sobre errores en el código. Está formado por cuatro paneles.

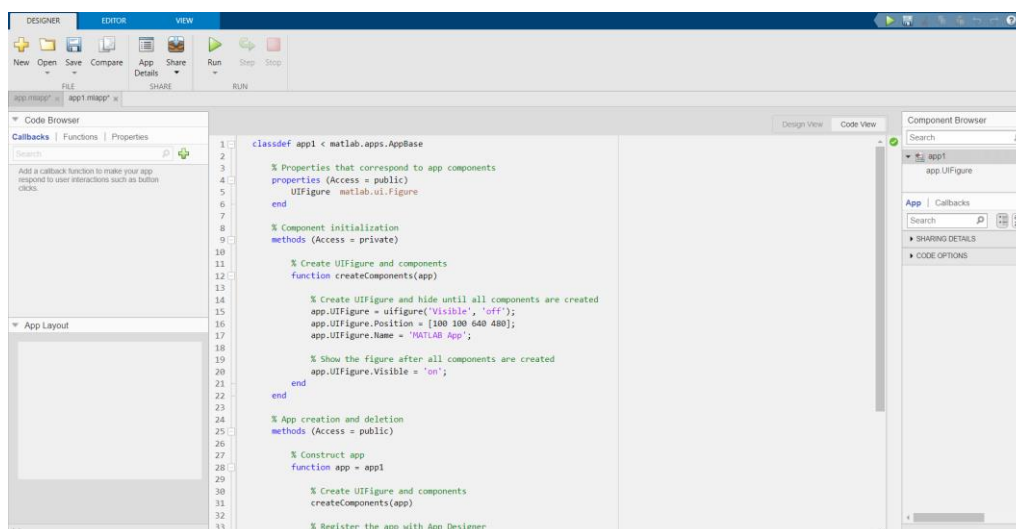


Figura 8. Entorno Vista Código.

5.2.1 Barra de herramientas

Está situado en la parte superior y está formada por tres pestañas. La primera es denominada como “Diseñador” en la que tenemos la posibilidad de crear, abrir o guardar un archivo. También encontramos el acceso a los detalles de la aplicación en caso de que queramos editarlos junto a la opción de compilarla para crear una aplicación de escritorio o lanzarla.

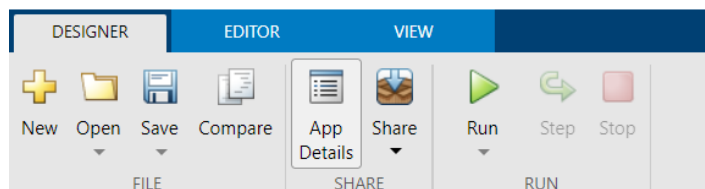


Figura 9. Pestaña Diseñador del entorno Vista Código.

La segunda, llamada “Editor” consta de subsecciones donde podemos guardar los cambios o buscar dentro del archivo, así como para ejecutar la aplicación. También encontramos las herramientas de código que podemos insertar:

- **Funciones de retorno (callbacks):** permite añadir una función de devolución de llamada para que la aplicación responda a las interacciones del usuario como hacer clic en un botón.

Existen funciones de retorno predefinidas, así al añadir una nueva podemos elegir a que elemento vamos a asignarla, que tipo de callback vamos a crear y que nombre le queremos proporcionar.

- **Función:** permite añadir funciones para organizar el código en funciones auxiliares o de utilidad. Pueden ser funciones privadas que solo permiten ser llamadas desde dentro de la aplicación o funciones públicas que pueden ser llamadas tanto desde dentro como desde fuera de la aplicación.
- **Propiedad:** permite añadir una propiedad para crear una variable que almacene y comparta datos entre funciones de retorno y funciones. Existen dos tipos, las primeras son propiedades privadas que almacenan datos para compartirlos solo dentro de la aplicación y las segundas son propiedades públicas que permiten almacenar los datos para compartirlos fuera y dentro de la aplicación.
- **Argumentos de entrada de la aplicación:** permite a la aplicación aceptar argumentos de entrada.
- **Texto de ayuda de la aplicación:** añade texto de ayuda a la aplicación.

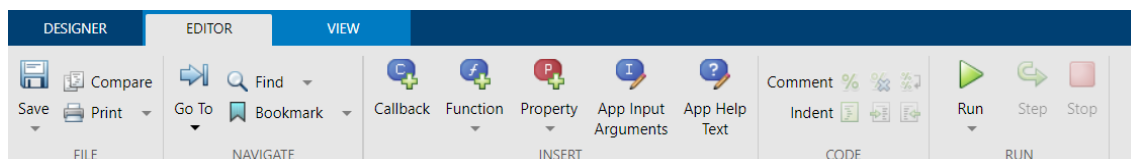


Figura 10. Pestaña Editor del entorno Vista Código.

Por último, encontramos la pestaña “Vista” que nos permite editar la forma de ver el código y el monitor pudiendo separar la pantalla en diferentes configuraciones, añadir al monitor los números de cada línea de código, expandir o contraer el mismo o hacer zoom.

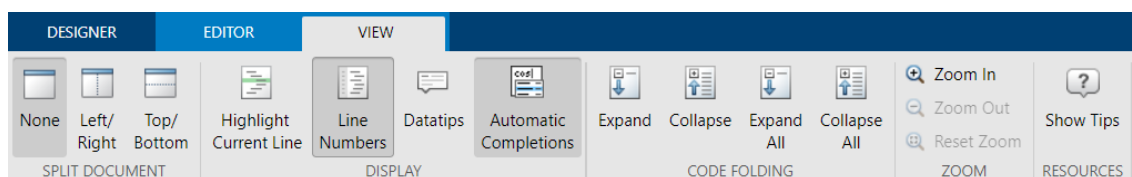


Figura 11. Pestaña Vista del entorno Vista Código.

5.2.2 Navegador de código

Dicho panel está situado en la parte izquierda de la ventana y permite visualizar y crear tres de las herramientas antes mencionadas: funciones de retorno (callbacks), funciones y propiedades.

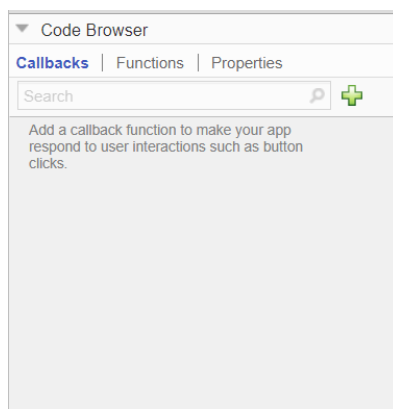


Figura 12. Panel Navegador de código.

Tras crear cada una de ellas (pulsando sobre el símbolo + verde que aparece en la figura 12) se crea manera automática el código que después nosotros podemos editar añadiéndole argumentos.

5.2.3 Diseño Aplicación

También es un panel situado en la parte izquierda de la ventana bajo el navegador de código y muestra una miniatura del diseño de interfaz que hemos creado pudiendo seleccionar cada componente para poder editarlo de manera rápida.

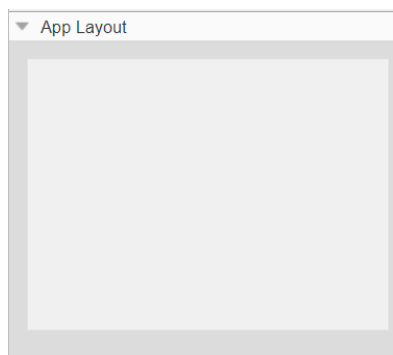


Figura 13. Panel Diseño Aplicación.

5.2.4 Navegador de componentes

Panel situado a la derecha de la ventana en el que podemos visualizar en primer lugar un listado de las diferentes componentes que hemos creado para la aplicación. También, teniendo seleccionado alguno de los componentes desde el panel de diseño de la aplicación podemos ver sus atributos pudiendo cambiarlo manualmente. Por último, tenemos la opción de asignarle una función de retorno (callback) a ese componente específico.

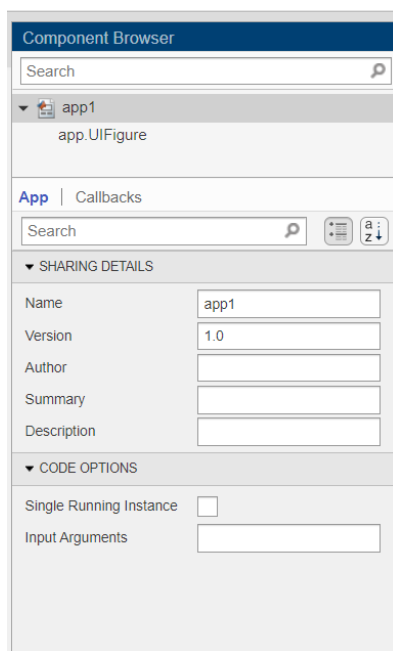


Figura 14. Panel Navegador de componentes.

5.3 Vista Diseño (Design View)

Este entorno nos permite diseñar la interfaz de usuario de nuestra aplicación de forma sencilla arrastrando (desde la librería de componentes situada a la izquierda) y colocando sobre el panel en blanco (en el centro de la pantalla) los diferentes componentes que queremos que formen nuestra interfaz que pueden ser modificados desde el navegador de componentes. Así este entorno este compuesto por dos paneles diferentes.

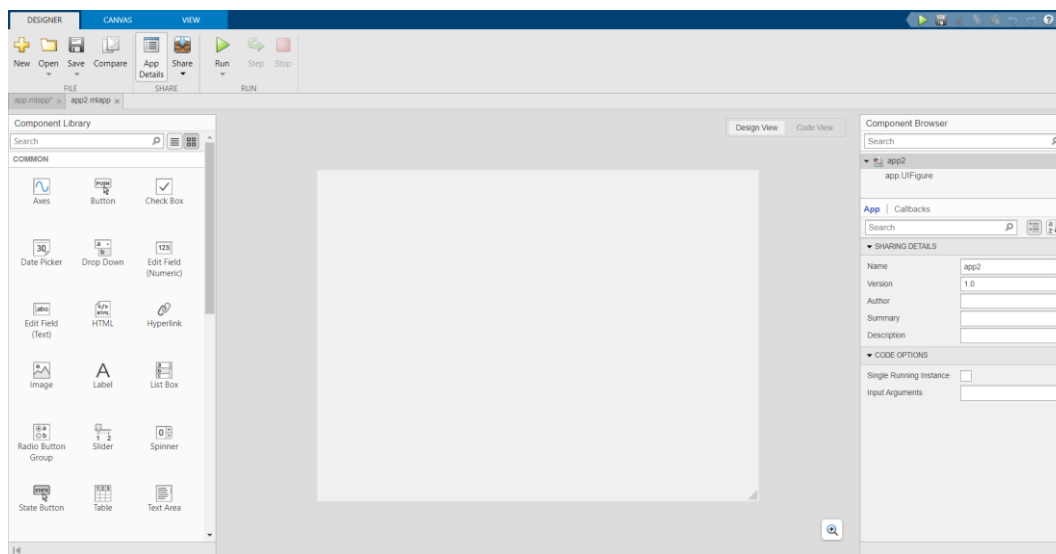


Figura 15. Entorno Vista Diseño.

5.3.1 Barra de herramientas

Situado en la parte superior de la ventana y compuesto por tres pestañas diferentes. La primera es la pestaña “Diseñadora” que es común a la descrita en el entorno de Vista de código.

La segunda es la pestaña “Lienzo” localizamos las herramientas necesarias para el diseño de la aplicación como alinear objetos, ajustar sus tamaños, etc.

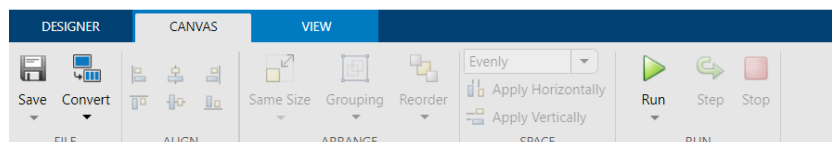


Figura 16. Pestaña Lienzo del entorno Vista Diseño.

Por último, también disponemos de la pestaña “Vista” donde encontramos diferentes ayudas para el correcto diseño de la aplicación pudiendo añadir cuadrículas a la hoja de diseño, guías para alinear los componentes o pudiendo seleccionar diferentes tipos de zoom.

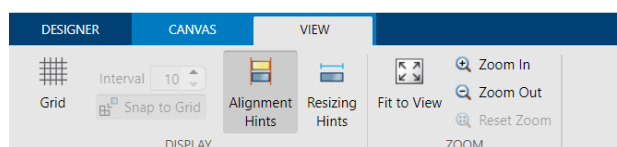


Figura 17. Pestaña Vista del entorno Vista Diseño.

5.3.2 Librería de componentes

Panel situado en la parte izquierda de la ventana desde la que podemos añadir los diferentes componentes de manera automática y sin crear ningún tipo de código ya que cuando arrastremos y coloquemos dicho elemento se definirá instantáneamente. Disponemos de componentes comunes, contenedores, herramientas de figuras e instrumentación. [10]

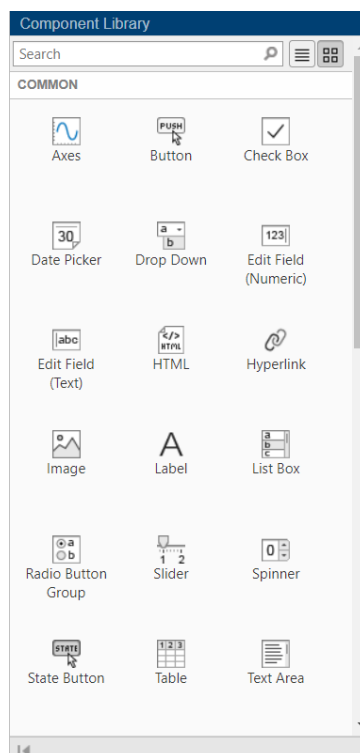
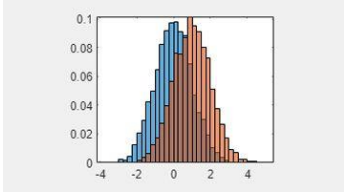
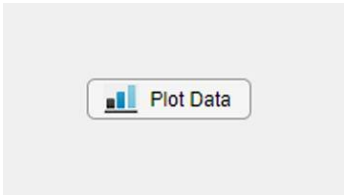
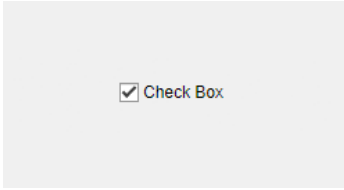
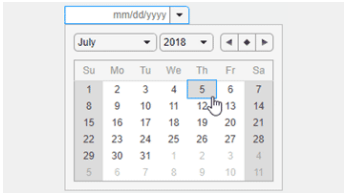
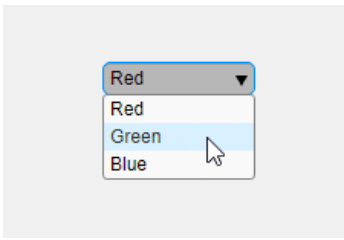
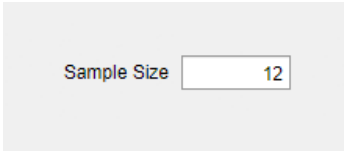

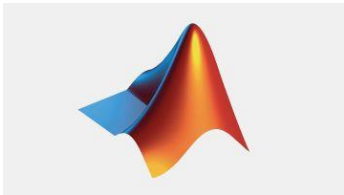
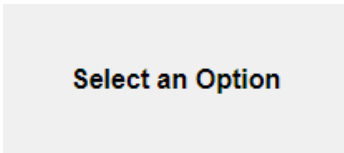


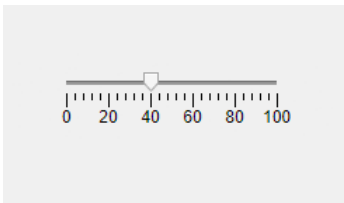




Figura 18. Panel Librería de componentes.

5.3.2.1 Componentes comunes

<p>Ejes</p> <p>Componente que permite añadir un monitor gráfico para visualización de datos.</p>	
<p>Botón</p> <p>Componente que permite ejecutar una orden cuando es presionado. Puede ser diseñado con texto junto con una imagen además de poder añadir un mensaje aclaratorio cuando el ratón se sitúa sobre él.</p>	
<p>Casilla de verificación</p> <p>Componente que permite indicar el estado de una preferencia.</p>	
<p>Selector de fechas</p> <p>Componente que permite seleccionar fechas y mostrarlas en un formato específico.</p>	
<p>Desplegable</p> <p>Componente que permite seleccionar una opción de una lista.</p>	
<p>Campos de edición numéricos</p> <p>Componente que permite introducir datos en formato numérico.</p>	
<p>Campos de edición</p> <p>Componente que permite introducir datos en formado texto.</p>	

<p>Imagen</p> <p>Componente que permite mostrar una imagen, como un ícono o un logotipo en su aplicación.</p>	
<p>Etiqueta</p> <p>Componente que permite mostrar texto para describir otro componente.</p>	
<p>Lista</p> <p>Componente que permite seleccionar uno o más elementos de la lista.</p>	
<p>Grupo de botones circulares</p> <p>Componente que permite seleccionar solo una opción de la lista de botones circulares.</p>	
<p>Deslizador</p> <p>Componente que permite ajustar un valor dentro del rango especificado.</p>	
<p>Ruleta</p> <p>Componente que permite escribir un dato y ajustar los valores con los botones de incremento o decremento.</p>	
<p>Botón de estado</p> <p>Componente que permite alternar entre dos estados.</p>	


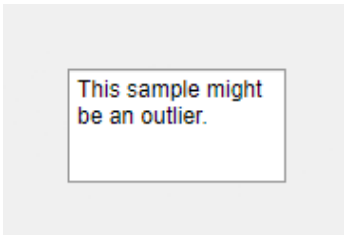
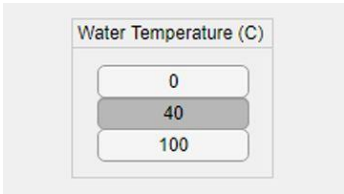
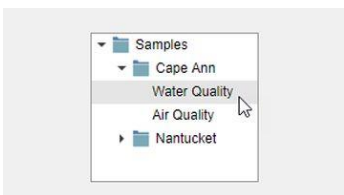

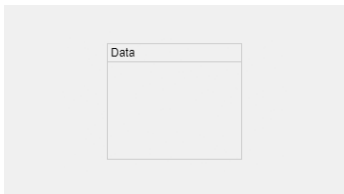
<p>Tabla</p> <p>Componente que permite visualizar los datos en forma de tabla.</p>	
<p>Área de texto</p> <p>Componente que permite introducir datos de texto en varias líneas.</p>	
<p>Grupo de botones alargados</p> <p>Componente que permite seleccionar una opción entre las disponibles del grupo de botones largos.</p>	
<p>Árbol</p> <p>Componente que permite mostrar una lista jerárquica de los elementos.</p>	

Tabla 2. Componentes comunes de App Designer.

5.3.2.2 Contenedores

<p>Diseño de cuadrícula</p> <p>Componente que permite organizar los componentes en cuadrículas con un comportamiento de cambio de tamaño especificado.</p>	
<p>Panel</p> <p>Componente que permite crear un área de diseño para agrupar varios componentes.</p>	


<p>Grupo de pestañas</p> <p>Componente que permite agrupar y administrar componentes en diferentes pestañas.</p>	
---	--

Tabla 3. Contenedores de App Designer.

5.3.2.3 Herramientas de figuras

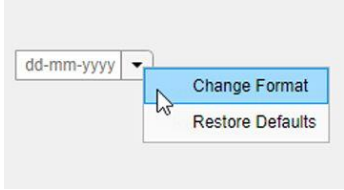
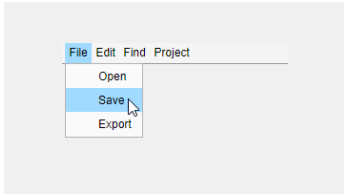
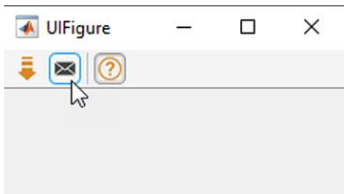
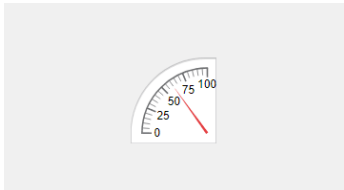
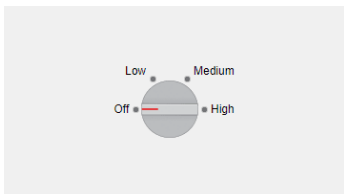
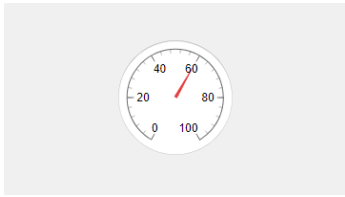
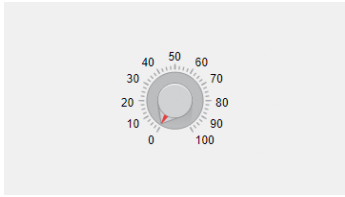
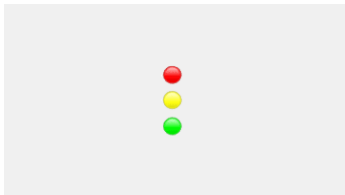
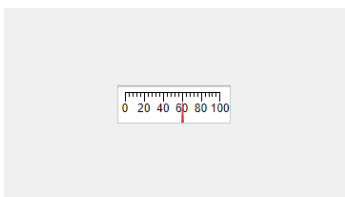

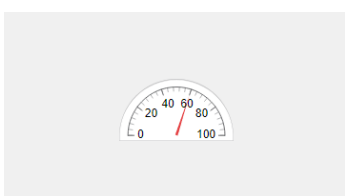
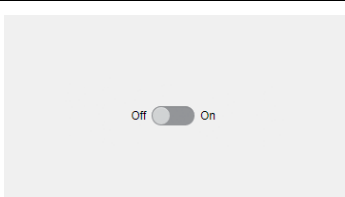
<p>Menú contextual</p> <p>Componente que permite mostrar el menú contextual cuando se hace clic con el botón derecho en el componente asociado.</p>	
<p>Barra de menús</p> <p>Componente que permite agrupar y mostrar los comandos y opciones de aplicaciones por funcionalidad.</p>	
<p>Barra de herramientas</p> <p>Componente que permite agrupar y mostrar las herramientas en la parte superior de la aplicación.</p>	

Tabla 4. Herramientas de figuras de App Designer.

5.3.2.4 Instrumentación

<p>Calibre de 90 grados</p> <p>Componente que permite mostrar un valor en escala de 90 grados.</p>	
<p>Perilla discreta</p> <p>Componente que permite ajustar a uno de varios estados distintos.</p>	

<p>Medidor</p> <p>Componente que permite mostrar los valores en escala radial</p>	
<p>Mando</p> <p>Componente que permite ajustar un valor dentro del rango especificado.</p>	
<p>Lampara</p> <p>Componente que se ilumina para indicar un estado.</p>	
<p>Indicador lineal</p> <p>Componente que permite mostrar un valor en escala lineal</p>	
<p>Interruptor bascular</p> <p>Componente que permite alternar entre dos estados exclusivos.</p>	
<p>Medidor semicircular</p> <p>Componente que permite mostrar un valor en escala radial de 180 grados.</p>	
<p>Interruptor</p> <p>Componente que permite alternar entre dos estados exclusivos.</p>	

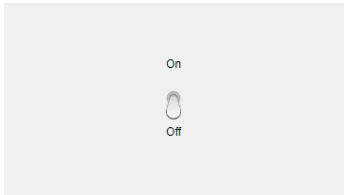
<p>Interruptor de palanca</p> <p>Componente que permite alternar entre dos estados exclusivos.</p>	
---	--

Tabla 5. Componentes de instrumentación de App Designer.

5.3.3 *Navegador de componentes*

Panel situado a la derecha y es común al de la vista de código.

Capítulo 6. Desarrollo del trabajo

6.1 Introducción

Este capítulo hace referencia a todo lo relativo de la aplicación y su interacción con el analizador de espectros, desde como ambos se conectan hasta el funcionamiento del programa describiendo las diferentes funciones que lo componen.

De manera introductoria, se ofrece una breve explicación del funcionamiento de programa acompañado de un flujo de trabajo.

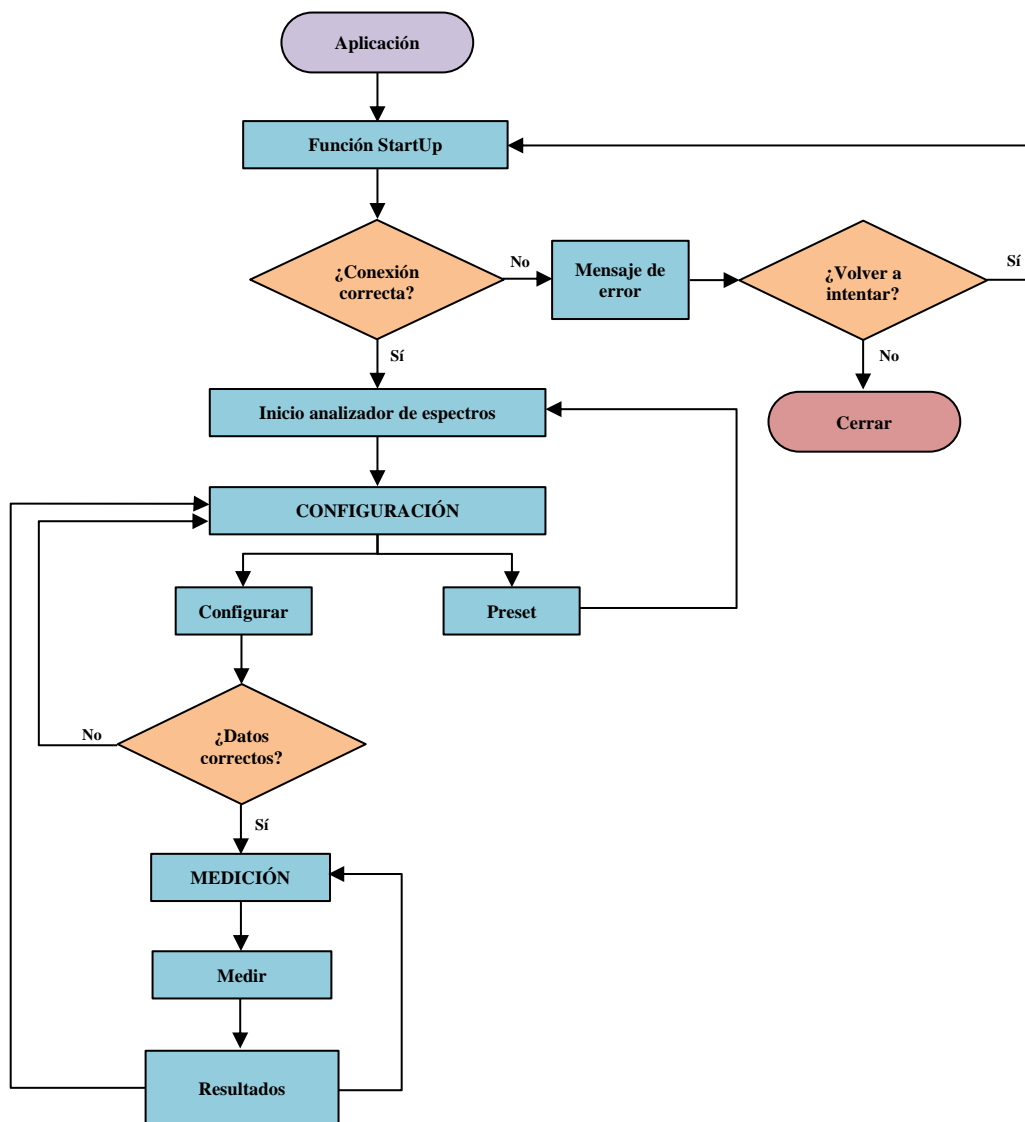


Figura 19. Flujo de trabajo.

Al iniciarse la aplicación ejecuta la función de retorno denominada StartUp, la cual comprueba la conexión con el instrumento y en caso de que dicha comunicación no sea correcta aparece un cuadro de dialogo donde podemos volver a intentar la conexión o cerrar el programa (no se podrá acceder a este si el analizador de espectros no está conectado).

Una vez realizada la comunicación correctamente con el analizador de espectros podremos acceder a la pantalla del programa donde configuraremos el instrumento a través de los diferentes parámetros que encontramos.

En el panel de configuración aparecen, en un principio, los valores con los que por defecto el analizador está configurado. Entre estos parámetros podemos elegir el rango de frecuencias en las que medir, ajustar el nivel de referencia, así como la escala y en caso de que queramos introducir el resto de los parámetros de manera manual podremos configurar el ancho de banda del filtro de resolución, el número de puntos y la velocidad de barrido. También, encontramos dos botones, uno para enviar la configuración al analizador de espectros y otro para volver a los datos por defecto del analizador.

Por otra parte, tenemos el panel de medición en el que podemos visualizar parámetros como el tiempo de barrido o el factor de promedios para la configuración establecida. Se muestra además el tiempo empleado para cada una de las medidas, que como la normativa exige, se debe medir durante un tiempo cualquiera de 6 minutos como mínimo. Además, el usuario dispone de cuatro botones esta vez. Tres para cargar, si se considera necesario, archivos .csv de la ganancia y directividad de la antena y de las pérdidas del cable que se puede poner entre la misma y el analizador. El cuarto botón es para medir, al pulsarlo aparece una ventana donde se va indicando el tiempo que llevamos medido. Cuando esta ventana se cierra aparece una gráfica con los resultados. Se puede visualizar los datos medidos en comparación con los valores que dicta la normativa y además guardar, si queremos, los datos medidos en nuestro ordenador.

6.2 Conexión con el analizador de espectros

Para la conexión con el analizador de espectros hemos utilizado tntool de MATLAB, mencionada en capítulos anteriores, para controlar y configurar el instrumento.

Antes de todo, lo que debemos hacer es la configuración de las direcciones del protocolo de internet (IP) de la conexión Ethernet que conecta ambos aparatos. Debemos seguir los siguientes pasos:

1. Conexión vía Ethernet entre el analizador de espectro y nuestro ordenador.
2. Configuración del ordenador (en este caso utilizamos un ordenador con sistema operativo Windows 11):
 - 2.1. Accederemos a Panel de Control. Una vez dentro clicaremos en Redes e Internet > Centro de redes y recursos compartidos. Cuando estemos en esa pestaña podremos ver las redes activas que tenemos en esos momento. Buscamos la que haga referencia a la conexión con el analizador y pincharemos sobre Ethernet como se indica en la figura 20.

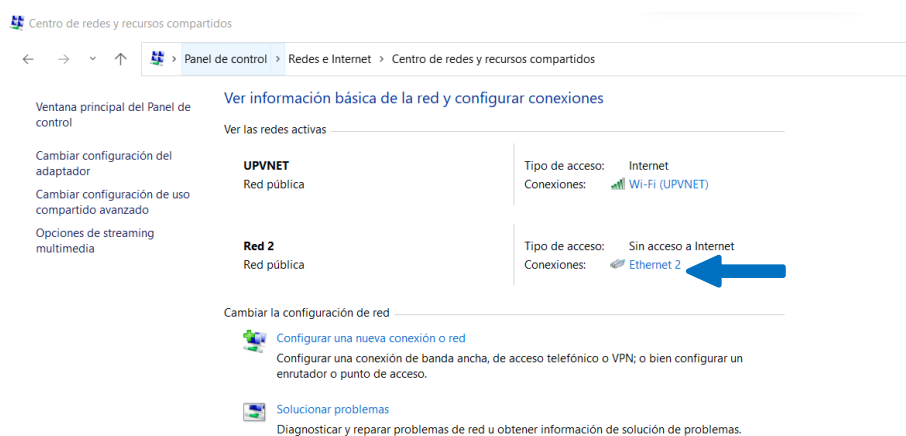


Figura 20. Centro de redes y recursos compartidos.

- 2.2. Se abrirá una nueva pestaña donde aparece el estado de la conexión Ethernet. Seleccionamos “Propiedades” situado en la parte inferior izquierda tal y como se muestra en la figura 21.

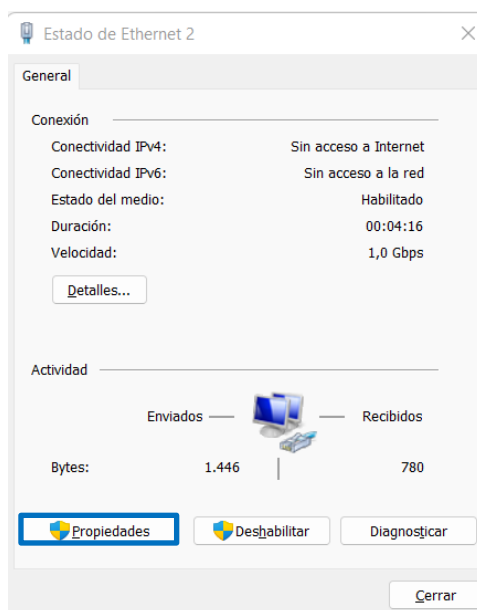


Figura 21. Estado red Ethernet.

- 2.3. Dentro de Propiedades buscamos Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4). Para acceder podemos pulsar dos veces sobre la opción o sobre Propiedades nuevamente, situado bajo el cuadro donde se indican los elementos de la conexión.
- 2.4. Aparece una nueva ventana donde ya podemos configurar la dirección IP manualmente. Para ello elegimos la opción “Usar la siguiente dirección IP:” habilitándose los campos necesarios. En este caso, las direcciones elegidas son las mostradas en la figura 22.

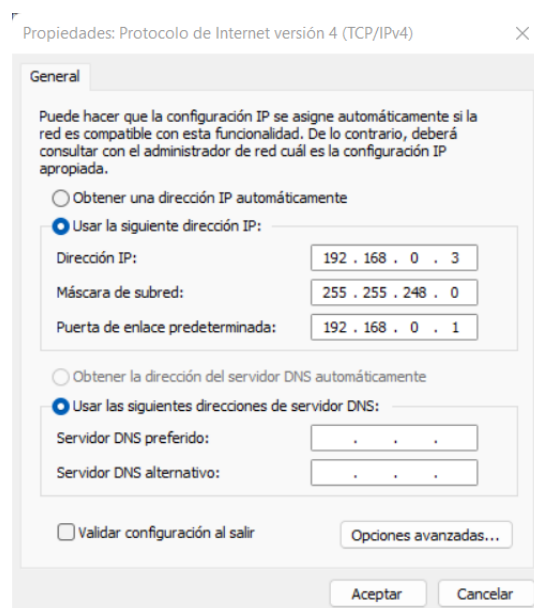


Figura 22. Propiedades TCP/IPv4 de la red Ethernet.

3. Configuración del analizador:

- 3.1. Accedemos al sistema de configuración. En este modelo, para definir una dirección IP debemos presionar la tecla 7 “System”. Después Configuración del sistema > Más > LAN.
- 3.2. Dentro podemos movernos con los botones de dirección que están en la parte inferior derecha del analizador o con la ruleta que hay sobre ellos. Nos situamos sobre el campo “Dirección de IP Est” para designar la dirección IP, en “Másc de Subred Est” para marcar la máscara de red y sobre “Gateway Estático” para la puerta predefinida. Para acceder a la edición de cada uno de esto parámetros simplemente pulsamos sobre la opción Editar que aparece en la esquina inferior izquierda de la pantalla y para guardar el cambio pulsaremos la opción que aparecerá posteriormente de Edición Lista, esta vez en la esquina inferior derecha. La configuración para este proyecto es la mostrada en la figura 23.

Setting	Value
Hardware ID	00:08:ee:0a:d3:4f
Dirección IP Actual	192.168.0.1
Másc de Subred Act	255.255.248.0
Pasarela Actual	0.0.0.0
N. Equipo	K-N9917A-71109
Obtener IP	Static
Dirección de IP Est	192.168.0.1
Másc de Subred Est	255.255.248.0
Gateway Estático	192.168.0.1
Static DNS	0.0.0.0
Aplicar Config	PowerUp

Figura 23. Configuración del analizador de espectros.

- 3.3. Una vez teniendo todos los datos configurados bastará con presionar la opción Listo en la esquina inferior derecha, que nos llevará de nuevo a la pantalla principal del analizador.

Antes de comenzar a utilizar tmtool, para poder utilizar la interfaz VISA debemos instalar el paquete de soporte de “Instrument Control Toolbox” para las bibliotecas IO (Entrada/Salida) Keysight y la interfaz VISA [11]. Seguimos los siguientes pasos:

- En la pestaña de Inicio (HOME) de MATLAB, en la sección de Entorno (ENVIRONMENT) pulsamos sobre el desplegable Complementos (add-ons) y elegimos obtener paquetes de soporte de hardware (Get Hardware Support Packages).

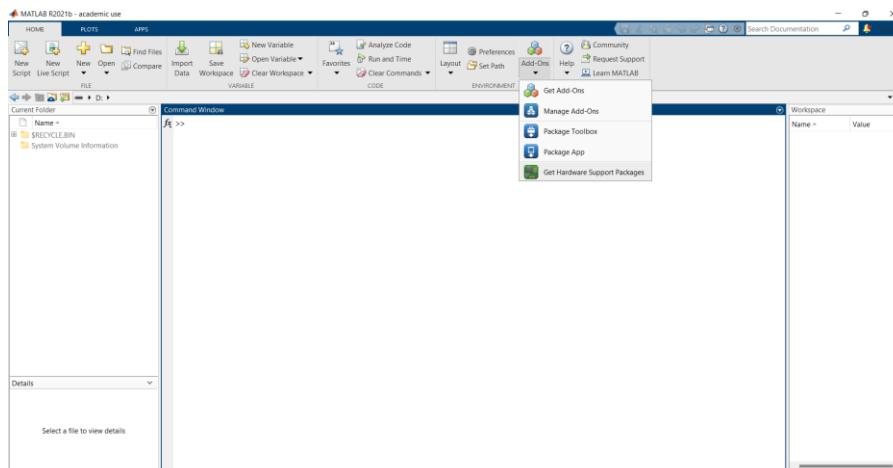


Figura 24. Sección entorno.

- En el explorador de complementos introducimos el paquete en el buscador situado en la parte superior izquierda y lo instalamos.

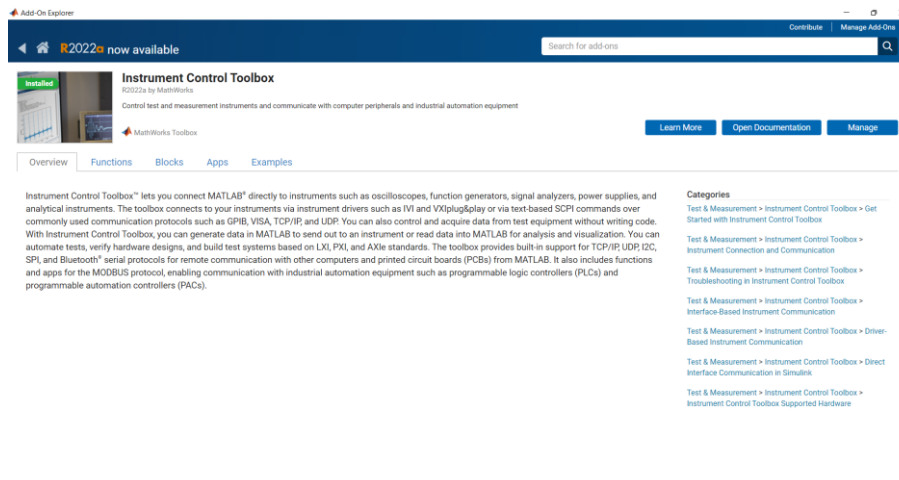


Figura 25. Paquete para control del instrumento.

Ahora ya podemos abrir la herramienta tntool. En el menú de la izquierda podemos ver las diferentes opciones. Nosotros accedemos a Hardware > VISA > TCPIP(VXI-11) (donde se encuentra el número 1 de la imagen posterior). Asegurándonos de tener el analizador conectado. Pulsamos sobre el botón “Scan” situado en la parte inferior (junto al número 2 de la figura 26) para que MATLAB encuentre el instrumento. Si la conexión está bien realizada debe aparecernos en el panel central (número 3 de la figura 26) y se habrá creado en TCPIP (VXI-11) un desplegable con el aparato (en el menú izquierdo junto al número 4).

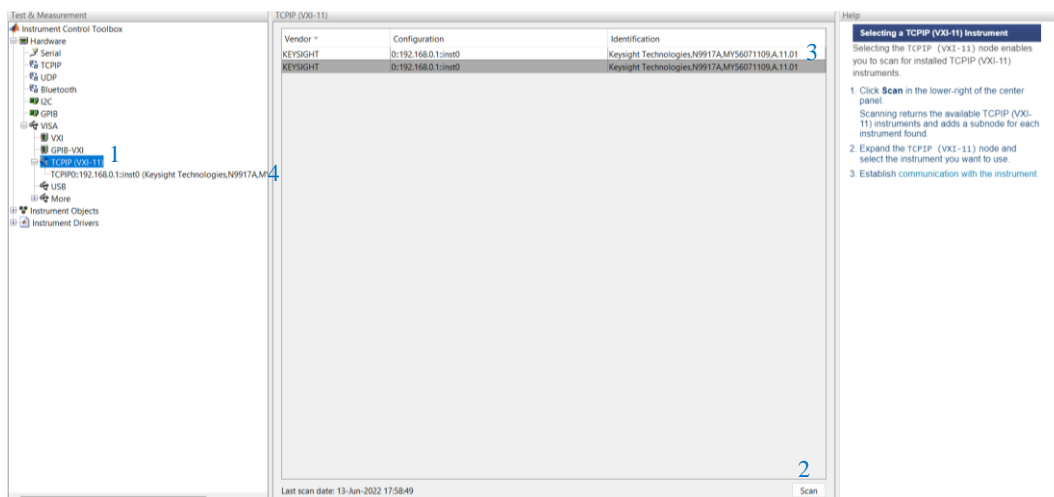


Figura 26. Herramienta Test&Measurement.

Lo seleccionamos en el desplegable que ha aparecido en el menú de la izquierda.

Pulsamos Conectar.

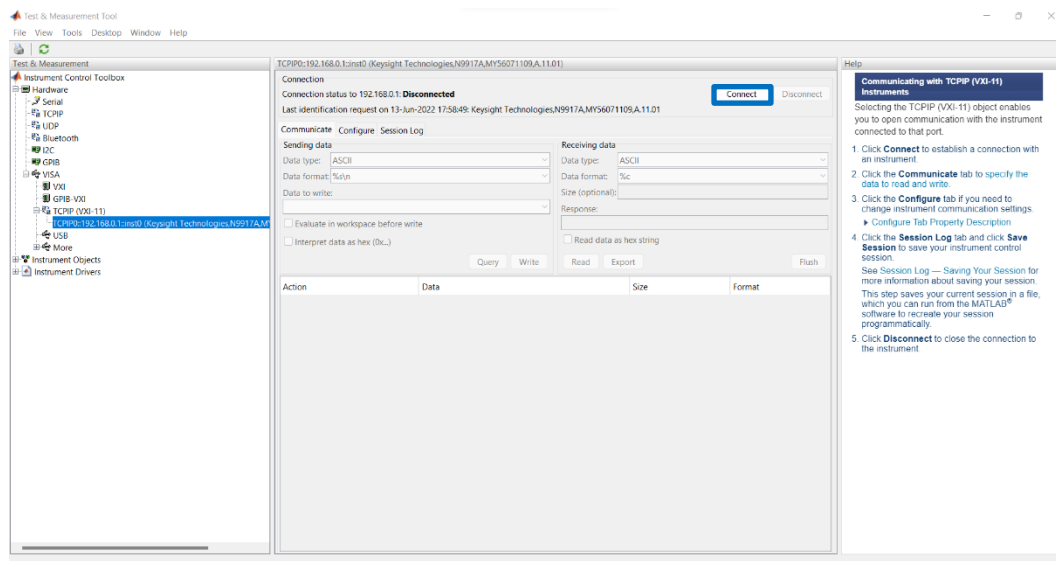


Figura 27. Conectarse al instrumento.

Con el paso anterior se ha creado el objeto que hace que la interfaz tenga conexión con el instrumento. Podemos ver el código si accedemos a la pestaña “Session Log” bajo la sección “Connection” (donde se indica el estado y última petición de identificación de la conexión).

El código puede diferenciarse en tres partes principales:

1. Con la instrucción “instrfind” se busca el instrumento. En el ejemplo que se puede ver en la figura 28, que en este caso es de tipo VISA TCP/IP cuyo nombre de recurso es 'TCPIP0::192.168.0.1::inst0::INSTR'.
2. Si el objeto encontrado está vacío se crea uno nuevo, pero si por el contrario este ya estaba creado previamente se utiliza el anterior.
3. Se realiza la conexión con el instrumento.

```

1 %% Instrument Connection
2
3 % Find a VISA-TCP/IP object.
4 obj1 = instrfind('Type', 'visa-tcpip', 'RsrcName', 'TCPIP0::192.168.0.1::inst0::INSTR', 'Tag', '');
5
6 % Create the VISA-TCP/IP object if it does not exist
7 % otherwise use the object that was found.
8 if isempty(obj1)
9     obj1 = visa('KEYSIGHT', 'TCPIP0::192.168.0.1::inst0::INSTR');
10 else
11     fclose(obj1);
12     obj1 = obj1(1);
13 end
14
15 % Connect to instrument object, obj1.
16 fopen(obj1);
17

```

Figura 28. Código para la conexión con el instrumento.

6.3 Diseño de la interfaz de usuario

6.3.1 Función StartUp

Dicha función contiene el código que se ejecuta nada más abrir la aplicación realizando la conexión con el analizador además de inicializar algunas variables utilizadas durante el programa.

La conexión con el analizador es muy importante porque sin ella no es posible el uso de la aplicación, ya que no tendría ningún sentido. Por ello, como ya se ha mencionado anteriormente en la introducción de este Capítulo, no se podrá acceder a la pantalla principal del programa hasta que el instrumento esté correctamente conectado al ordenador utilizado.

Se ha creado, por lo tanto, un bloque try-catch en el que se intente realizar la conexión con el analizador. El código es el siguiente:

```
try %trata de abrir el objeto, hacer un preset y config modo SA
    fopen(app.SA);
    Preset(app);

catch %si no, el aparato no esta conectado -> mensaje error

msg= {'El analizador no esta conectado.', ' ','Compruebe la conexión y ' ...
      'vuelva a intentarlo tras visualizar en la pantalla del analizador ' ...
      'el mensaje de confirmación "LAN Present".'};

title= 'Error de conexión';

selection = uiconfirm(app.UIFigure,msg,title, ...
    'Options',{ 'Conectar','Cancelar'}, 'Icon','error');

switch selection
    case 'Conectar' %si pulsamos conectar intentará abrir la app
        startupFcn(app);
    case 'Cancelar' %si pulsamos cancelar se cierra la app
        delete(app.UIFigure);
end
end
```

Figura 29. Código para conexión con el analizador.

Podemos ver en el código que primero trata de abrir el objeto que se ha creado anteriormente.

Tras ello, llamamos a la función Preset, donde lo primero es realizar una preselección al analizador para que, cada vez que comienza a ejecutarse el programa, vuelven todos los parámetros a valores por defecto. Se elige el modo de funcionamiento del instrumento, para nuestro proyecto nos interesa trabajar con un analizador de espectros.

Por otro lado, en caso de que no se pueda abrir el objeto porque el analizador no está conectado, se mostrará un cuadro de dialogo como el de la figura 30 que indique que el analizador no está conectado correctamente y que se compruebe la correcta comunicación antes de continuar. Debemos esperar a que en el instrumento aparezca en la esquina inferior derecha el mensaje “LAN Present” que nos indica que el analizador de espectros ha detectado la conexión. Una vez que se ha hecho la comprobación, tenemos dos opciones, acceder a la aplicación pulsando Conectar, o si deseamos no ingresar en la misma podremos pulsar Cancelar y esta automáticamente se cerrará.

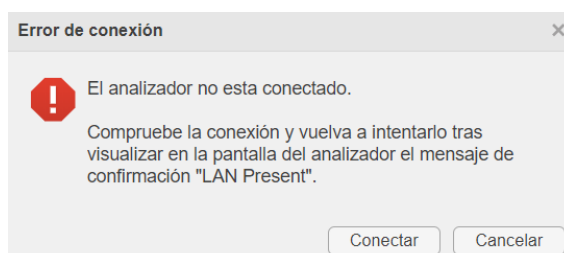


Figura 30. Error de conexión entre instrumento y ordenador.

6.3.2 Componentes de la interfaz

6.3.2.1 Botón de información

Botón situado en la parte superior izquierda y que se puede identificar con la letra 'i' como el que aparece a continuación.



Figura 31. Botón de información.

Al ser presionado se abre una ventana deslizante donde se enumeran los diferentes pasos a seguir a modo de guía para explicar cómo utilizar correctamente la aplicación.

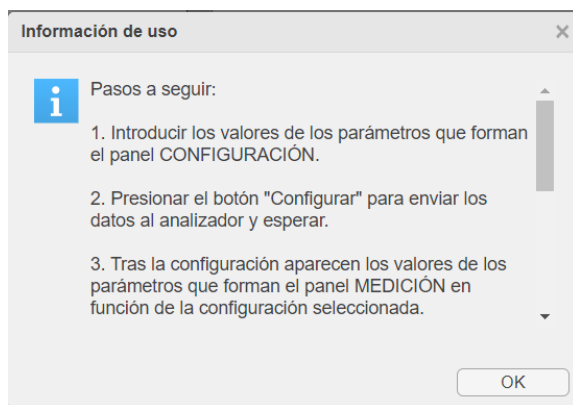


Figura 32. Información de uso.

6.3.2.2 Botón para guardar medidas

Botón situado en la parte superior izquierda junto al botón de información.



Figura 33. Botón para guardar medidas.

Tras pulsarlo se abre un explorador de archivos donde podemos seleccionar dónde y con qué nombre queremos guardar nuestro archivo con extensión .csv con las medidas realizadas.

En caso de que pulse este botón, pero aún no se haya realizado ninguna medida, aparecerá un error indicándonoslo.

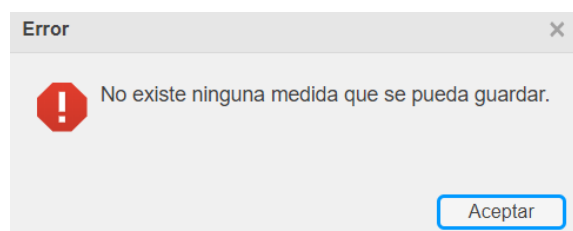


Figura 34. Cuadro error guardar medida.

6.3.2.3 Panel de frecuencias

Para la configuración de las frecuencias disponemos dos opciones igual de correctas para establecer el espectro a medir.

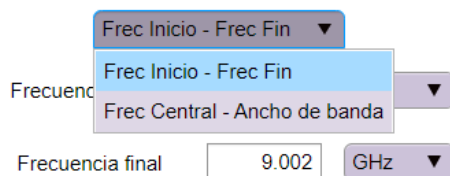


Figura 35. Opciones del desplegable del panel de frecuencias.

Podemos ver la relación entre los 4 parámetros diferentes en las siguientes ecuaciones:

$$f_{inicial} = f_{central} - \frac{SPAN}{2} \quad (10)$$

$$f_{final} = f_{central} + \frac{SPAN}{2} \quad (11)$$

La primera, se trata de indicar el rango de frecuencias con la frecuencia inicial y final. Es la opción elegida por defecto al iniciar la aplicación y es útil cuando sabemos exactamente en qué rango queremos medir.

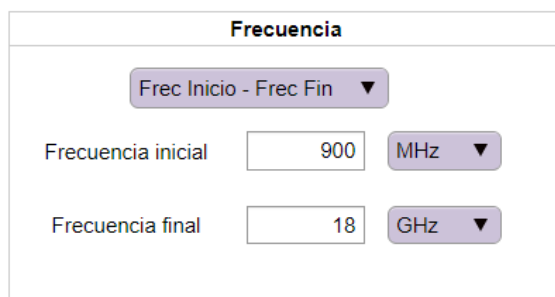


Figura 36. Panel frecuencia opción 1.

La segunda es útil cuando no conocemos exactamente las frecuencia inicial y final donde queremos medir, por lo que podemos asignar una frecuencia central y un margen de frecuencia (SPAN).

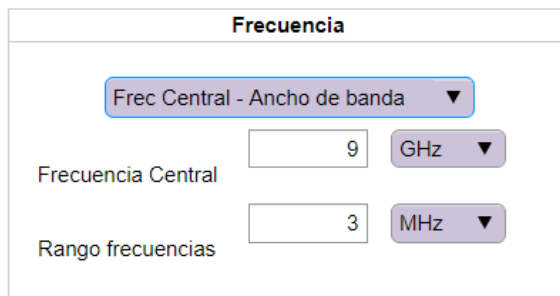


Figura 37. Panel frecuencia opción 2.

Como se ha podido observar en ambos casos podemos introducir el valor de la frecuencia, así como elegir la unidad de esta (pudiéndose elegir entre MHz y GHz).

El analizador debe configurarse entre los 700 MHz y 5 GHz (ya que es el rango donde estamos interesados), por ello se han creado diferentes cuadros de error o de advertencia para informar al usuario.

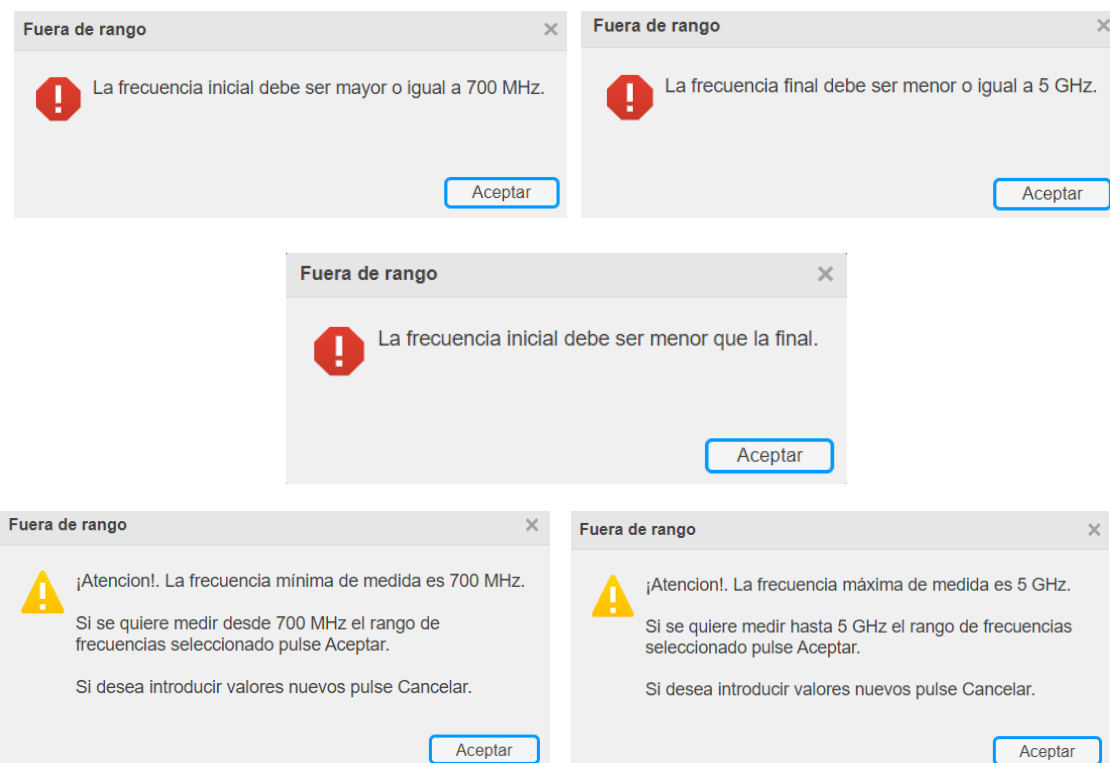


Figura 38. Cuadros de error y advertencia panel de frecuencia.

6.3.2.4 Panel nivel de referencia y escala

Este panel se ha diseñado para que la visualización de las medidas sea lo más cómoda posible, ya que al configurar la frecuencia puede que la vista de la señal que se está midiendo se ubique fuera de la pantalla del analizador.

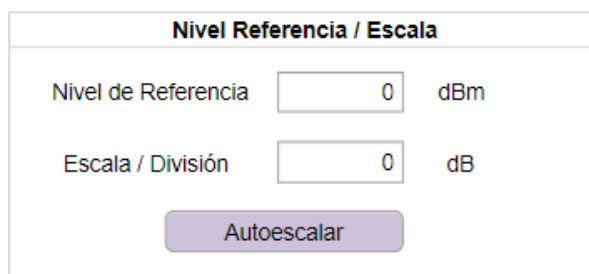


Figura 39. Panel nivel de referencia y escala.

El nivel de referencia es el valor de la potencia correspondiente a la posición de la pantalla, por lo general, más alta.

Por otro lado, la escala nos indica los decibelios (dB) por división que tendremos en el eje de ordenadas.

Como observamos en la figura 40 tenemos la posibilidad de volver a autoescalar según los valores que decida el analizador que son más convenientes. Cuando pulsamos el botón nos aparece un cuadro que nos pregunta si queremos que el escalado sea automático otra vez.

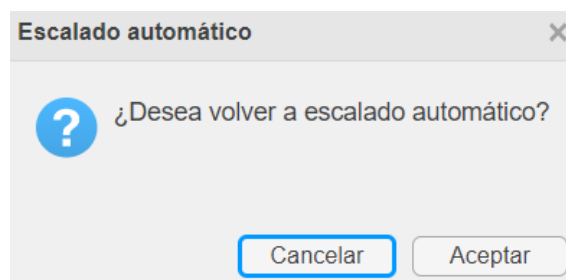


Figura 40. Cuadro pregunta escalado automático.

6.3.2.5 Resto de la configuración

Panel compuesto por el ancho de banda del filtro de resolución, número de puntos y la velocidad del barrido.

Por defecto, aparece desactivado ya que la aplicación se inicia en modo Automático, es decir, el analizador elige los valores que decide que son los más convenientes para realizar la medida.

En cambio, si elegimos el modo Manual en el desplegable se activarán los tres parámetros pudiendo indicar los valores deseados por el usuario.

Ancho de banda del filtro de resolución

Un parámetro esencial para configurar el analizador y realizar las medidas es el ancho de banda del filtro de resolución.

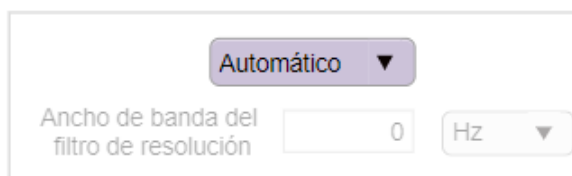


Figura 41. Ancho de banda del filtro de resolución.

En el modo Automático solo se podrá observar el valor del ancho de banda del filtro de resolución como ya hemos mencionado, sin embargo, en modo Manual podremos introducir valores entre 100 Hz hasta 5 MHz.

Hay que resaltar que en el modo Manual no somos completamente libres de indicar cualquier valor que queramos de ancho de banda del filtro de resolución. El analizador redondea el valor introducido, este cambio siempre se ve reflejado en el programa.

En caso de que los valores introducidos durante el modo Manual no sean correctos aparecerán diferentes cuadros de dialogo en función del error que se haya encontrado.

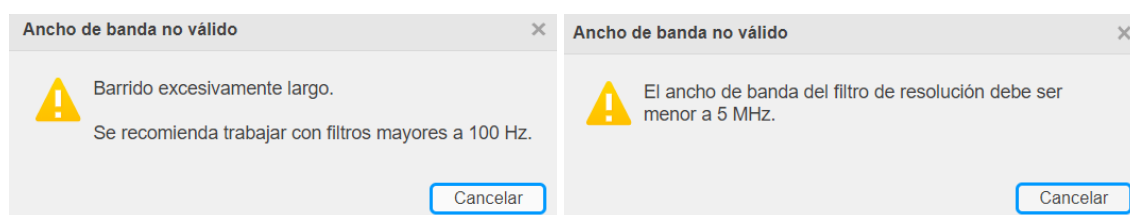


Figura 42. Cuadros de advertencia ancho de banda del filtro de resolución.

Número de puntos

Parámetro que permite visualizar el espectro con mayor o menor resolución de forma proporcional, cuanto mayor sea el número de puntos que introduzcamos mayor será la resolución.

Como una desventaja podemos indicar que, si el número de punto es excesivo el tiempo de barrido será demasiado largo.

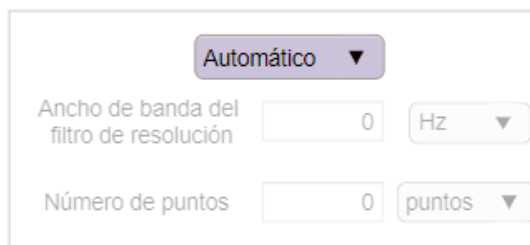


Figura 43. Número de puntos.

El analizador permite valores entre 2 y 10001, en caso de que estos valores no se cumplan aparecerán cuadros de error como los siguientes:

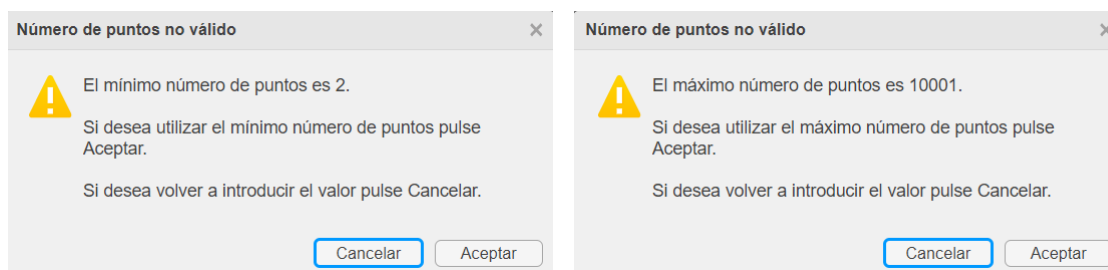


Figura 44. Cuadros de advertencia número de puntos.

Velocidad de barrido

Parámetro que nos permite indicar la rapidez con la que se va a llevar a cabo el barrido.

Podemos elegir cualquier valor entre 1 y 5000. Haciendo referencia 1 al barrido más rápido posible y 5000 al más lento.



Figura 45. Velocidad de barrido.

Por defecto, en modo automático se toma el barrido más rápido posible.

Además, se ha añadido una barra deslizante donde se puede elegir el valor de forma más visual.

Al ser un parámetro que puede ser poco intuitivo se ha añadido un botón de ayuda que abre un cuadro de dialogo adicional donde se explica que valores se pueden introducir y qué significado tiene introducir un valor u otro.

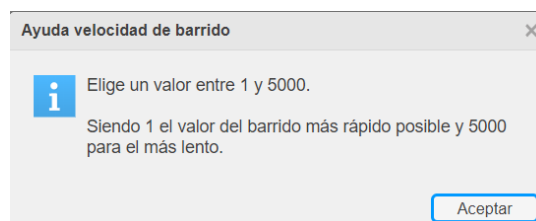


Figura 46. Cuadro ayuda velocidad de barrido.

En el caso de introducir valores fuera del rango mencionado aparecerán dos tipos de advertencias al usuario.

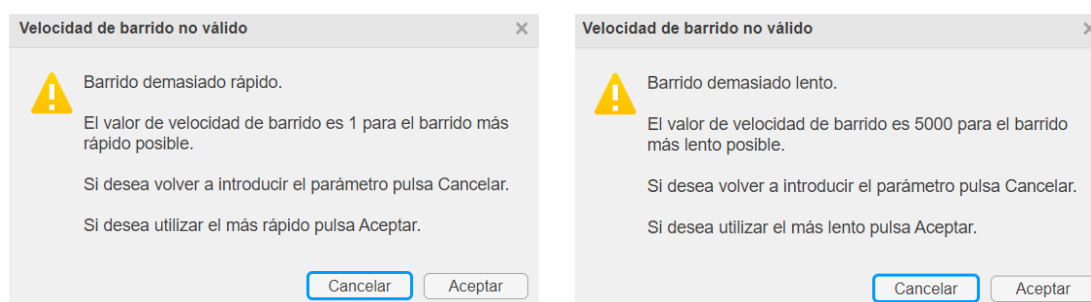


Figura 47. Cuadros de advertencia velocidad de barrido.

6.3.2.6 Botón configurar

Se encuentra dentro del panel configuración y es el encargado de enviar la configuración al analizador.

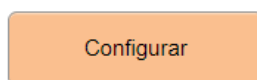


Figura 48. Botón configurar.

Cuando este es presionado, es cuando se comprueba que todos los datos son correctos y en caso negativo es el encargado de abrir el cuadro de dialogo correspondiente al error. Por el contrario, si todo es correcto se mandan al instrumento.

Además, se encarga de volver a mostrar los valores con los que finalmente se ha configurado el analizador, como por ejemplo los parámetros del apartado 6.3.2.4 Resto de la configuración que tienen modo automático por lo que el usuario no es el encargado de decidir estos valores, pero sí que necesita conocerlos.

Por último, también realiza un proceso previo a la medición, ya que en este caso no podemos saber el tiempo que se tarda en realizar un barrido con la configuración actual hasta que acabe el mismo. Por ello, al pulsar este botón otras de las tareas que se realizan es esperar a obtener ese tiempo de barrido. Para avisar al usuario de que estamos realizando ese proceso se informará a través de una nueva ventana como la que aparece en la figura 49.

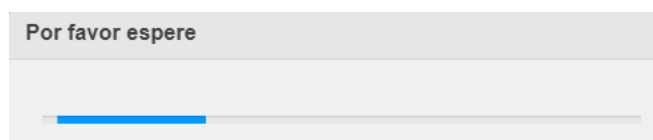


Figura 49. Cuadro espera para calculo tiempo de barrido.

Cuando esta se cierre, aparecerán en la interfaz el valor del tiempo de barrido para dicha configuración, así como el número de promedios que se han calculado para estar midiendo el tiempo especificado.

6.3.2.7 Botón preset

Se encuentra en el panel de configuración y es el encargado de realizar la preselección del analizador.

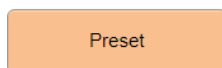


Figura 50. Botón preset.

Tras pulsarlo, lo primero que aparece es una ventana emergente que pregunta al usuario si está seguro de esta acción. En caso de aceptar tanto la interfaz como el analizador vuelven a los valores por defecto.

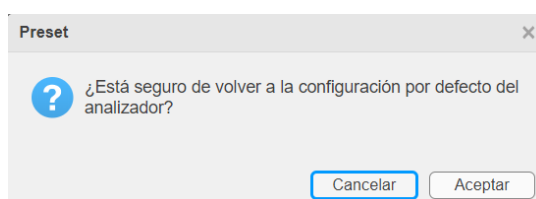


Figura 51. Cuadro pregunta preset.

6.3.2.8 Panel tiempo de barrido

En este panel, como su nombre indica, se muestra el parámetro que indica el tiempo que el analizador tarda en leer un barrido.

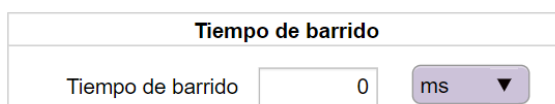


Figura 52. Panel tiempo de barrido.

Este depende de la configuración que se ha elegido.

Se ha restringido para que los barridos puedan durar entre 36 ms (tiempo mínimo para poder cumplir los requisitos del número de promedios mínimo impuesto por el analizador) a 10 s (ya que un valor mayor puede provocar un barrido muy largo donde el analizador puede tardar mucho en responder).

6.3.2.9 Panel promediado

El panel promediado incluye el factor de promediado, parámetro que especifica el número total de medidas a promediar.

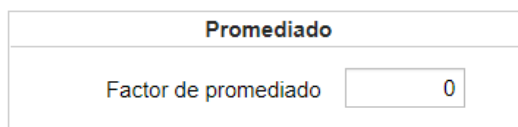


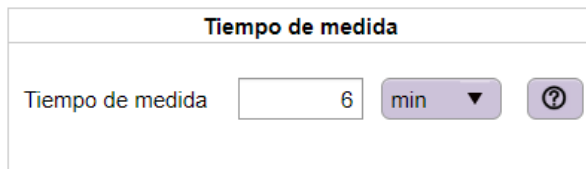
Figura 53. Panel de promediado.

Este parámetro no es modificable ya que es un valor calculado en función del tiempo que queremos estar midiendo (como mínimo la normativa exige que sean 6 minutos) y del tiempo que se tarde en recorrer un barrido. De esa manera solo será un valor que puede ser visualizado por el usuario para que tenga conocimiento del valor que tiene este parámetro.

Este valor no tiene restricciones ya que como antes se ha mencionado, se ha limitado el valor del tiempo de barrido para que este parámetro no pueda exceder sus valores mínimos y máximos.

6.3.2.10 *Tiempo de medida*

Este panel incluye el parámetro que indica el tiempo total que vamos a estar promediando.



Panel de configuración con el título "Tiempo de medida". Incluye un campo de entrada con el valor "6", un menú desplegable con "min" y un botón de ayuda (ícono de interrogante).

Figura 54. Panel de medida.

De manera adicional se ha añadido un botón de ayuda que señala el tiempo mínimo posible y el porqué de dicha restricción, en este caso, la normativa así lo indica.

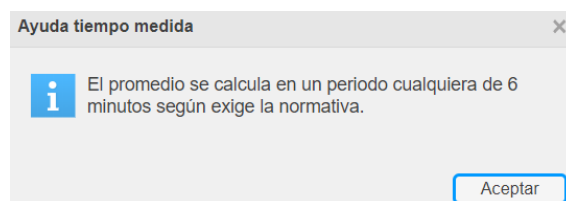


Figura 55. Cuadro ayuda tiempo de medida.

6.3.2.11 *Botón para carga ganancia de la antena.*

Este botón es el encargado de abrir una ventana emergente donde se puede seleccionar un archivo .csv con ganancia de la antena. Dato necesario para calcular la potencia que incide sobre la antena y con la que calculamos tanto el campo eléctrico como la densidad de potencia (ambos necesarios para la posterior comprobación de que los niveles obtenidos están por debajo de los que marca la normativa).

Cargar ganancia de la antena

Figura 56. Botón para ganancia de la antena.

Al igual que con los archivos para directividad y pérdidas del cable que se mencionarán posteriormente, este archivo se debe cargar a la aplicación sin contener ningún tipo de información de encabezados. Solo funcionará si el archivo tiene dos columnas con datos numéricos, la primera debe contener el vector de frecuencias y la segunda los datos de la ganancia de la antena para cada una de esas frecuencias.

En caso de que al leer el archivo haya algún problema porque se han encontrado algunos datos no numéricos, el programa avisará al usuario a través de una ventana de error como la que aparece a continuación:

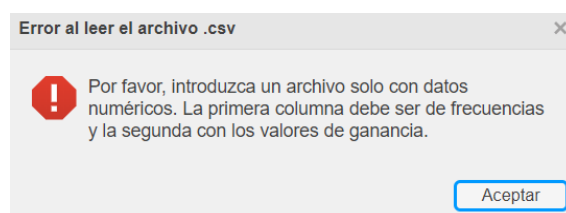


Figura 57. Cuadro error al leer archivo de ganancia de la antena.

Además, cargar este archivo es obligatorio ya que sin él los cálculos no pueden realizarse, por lo que si se procede a medir sin adjuntar el archivo aparecerá un error como el siguiente:

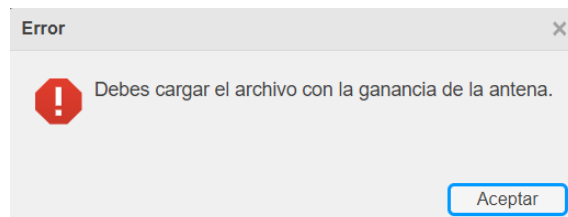


Figura 58. Cuadro de error por no cargar archivo de ganancia de la antena.

6.3.2.12 Botón para cargar la directividad de la antena.

Botón encargado de abrir una ventana emergente donde se puede seleccionar un archivo que indica los diferentes valores de la directividad en función de la frecuencia. Como se ha visto al principio de este trabajo, es también uno de los datos fundamentales para el cálculo de la densidad de potencia.

Cargar directividad de la antena

Figura 59. Botón para directividad de la antena.

Debe cargarse con datos solo numéricos donde la primera columna sea la frecuencia y la segunda los datos de directividad, en caso contrario aparecerá un cuadro de error.

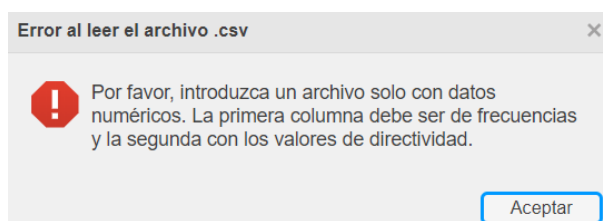


Figura 60. Cuadro error al leer archivo de directividad de la antena.

Este archivo es fundamental para el cálculo y el correcto funcionamiento del programa por lo que en caso de que se proceda a medir sin haber cargado el archivo aparece un error en pantalla.

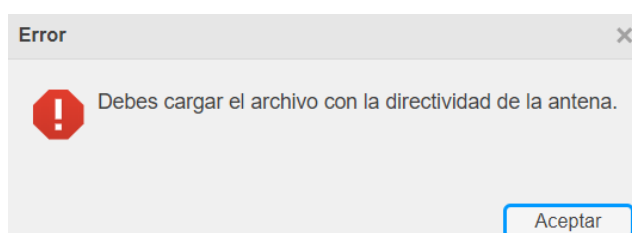


Figura 61. Cuadro error por no cargar archivo de directividad de la antena.

6.3.2.13 Interruptor y botón para carga de archivo de pérdidas del cable

Ya que es posible que la antena no pueda conectarse directamente al analizador de espectros, se ha creado una opción donde podemos elegir si nuestra configuración está o no utilizando un cable entre los dos.

En caso de que marquemos “No” en el interruptor podremos presionar directamente el botón medir ya que no se debe tener en cuenta ningunas pérdidas.

En caso de que marquemos “Sí” en el interruptor debemos posteriormente pulsar el botón “Cargar pérdidas del cable”. Este botón es el encargado de abrir una ventana emergente donde se puede seleccionar un archivo .csv con las pérdidas del cable que hay entre la antena y el analizador de redes.

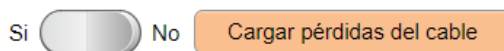


Figura 62. Interruptor y botón para pérdidas del cable.

Al igual que el archivo que los archivos que se deben importar y que se han explicado antes, este no puede contener ningún tipo de información de encabezados. Solo funcionará si el archivo tiene dos columnas con datos numéricos, la primera debe contener el vector de frecuencias y la segunda los datos de las pérdidas para cada una de esas frecuencias.

En caso de que al leer estas matrices haya algún problema porque se han encontrado algunos datos no numéricos, el programa avisará al usuario a través de una ventana de error como la que aparece a continuación:

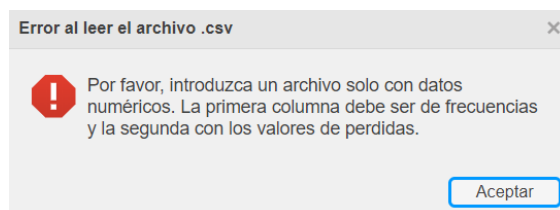


Figura 63. Cuadro de error al leer archivo de pérdidas del cable.

De la misma manera, si el interruptor marca “Sí” y procedemos a medir sin seleccionar ningún archivo también marcará un error como el siguiente:

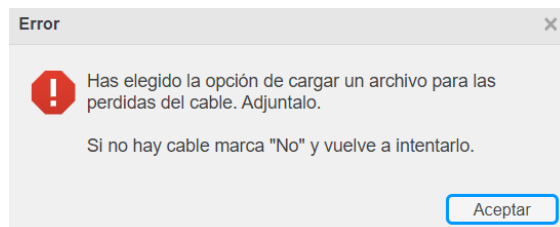


Figura 64. Cuadro error por no cargar archivo pérdidas de cable.

6.3.2.14 Botón medir

Botón encargado de, en primer lugar, medir la traza configurada y en segundo mostrar los resultados obtenidos comparándolos con la normativa y así el usuario puede comprobar si los niveles medidos están dentro de los valores que debe corresponder.

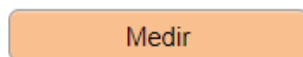


Figura 65. Botón medir.

Lo primero que hace esta función es comprobar que se han añadido todos los datos necesarios para el cálculo de los parámetros bajo estudio, ya que si se hiciera después de medir habremos perdido el tiempo de medida esperando para después dar un error y tener que volver a medir. Es algo poco eficiente y tedioso.

Así debemos comprobar en primer lugar, que se han cargado tanto el archivo para la ganancia de la antena como el de la directividad de esta, además de las pérdidas del cable, si fuera necesario, y en nuestro caso sí lo es.

Tras ello, se inicia el promediado, en ese momento comienza la medida. Se abre por lo tanto una ventana emergente que pide al usuario que espere mientras se hace la medición. En ella se muestra el tiempo de medida, que se actualiza cada minuto. Además, se muestra una barra de carga que se irá rellenando a medida que pase el tiempo.

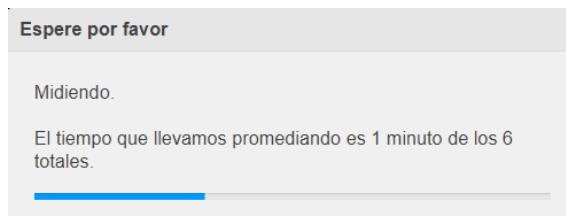


Figura 66. Cuadro espera para medición.

Cuando este proceso termina, se para el promediado y se recuperan los datos medidos. Trabajando con ellos para finalmente calcular la potencia que recibe la antena y con la que ya podemos obtener la densidad de potencia y con ella, el campo eléctrico.

Teniendo calculado tanto el campo eléctrico como la densidad de potencia el programa procede a dibujar las gráficas para ver los resultados de una forma más intuitiva.

También, se ha desarrollado la opción de poder descargar un archivo con los datos medidos como se ha visto en apartado anteriores.

Capítulo 7. Campaña de medida con el programa

Así, como uno de los objetivos marcados y a modo de comprobación del correcto funcionamiento del programa que se ha desarrollado en este TFG, se ha incluido este capítulo en el que se exponen los resultados de las medidas que se han realizado.

Se muestran a continuación medidas realizadas tanto en entornos, como con configuraciones diferentes. En cada una de ellas, de adjuntan los resultados visuales, así como datos numéricos acompañados de las interpretaciones que podemos obtener de ellos.

Se ha desplazado el sistema de medida por el edificio de la ETSIT de la Universidad Politécnica de Valencia.

Esta primera medida se ha tomado configurando el analizador en modo automático con un rango de frecuencias desde los 900 MHz a 3,5 GHz.

Así alguno de los valores obtenidos en el archivo que podemos guardar tras la medición son los siguientes:

Frecuencia (GHz)	0,964	1,51	1,83	2,16	2,6	3,1	3,49
S (nW/m ²)	1,5484	1,3647	12,189	3,714	1,286	3,81	5,29
E (mV/m)	0,7637	0,717	2,1	1,2	0,696	1,2	1,4

Tabla 6. Tabla de resultados primera medida.

Gráficamente el programa muestra dos figuras comparando las restricciones de cada parámetro con sus respectivos valores calculados.

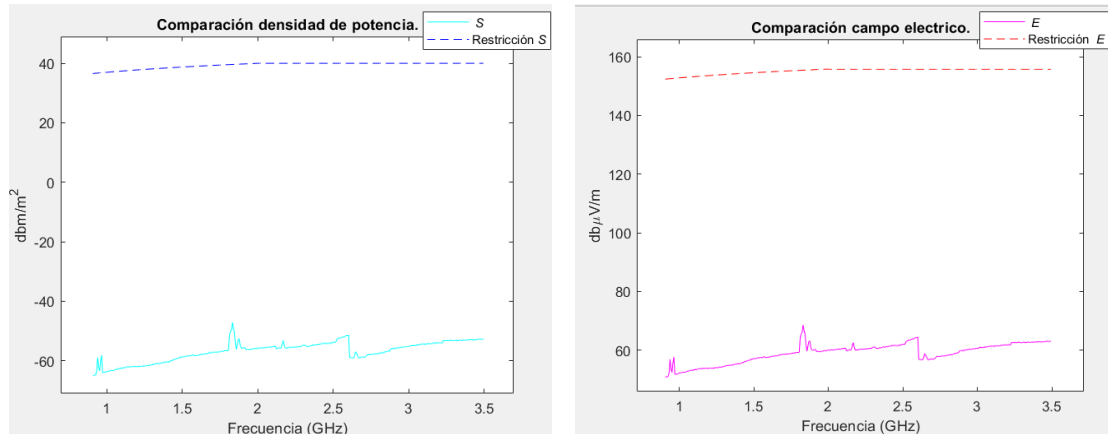


Figura 67. Resultados primera medida.

La segunda, se ha realizado desde 1,85 GHz a 2,9 GHz, pero en este caso el programa se ha puesto en modo manual, disminuyendo el ancho de banda del filtro de resolución a 100 kHz.

Frecuencia (GHz)	1,87	2,166	2,317	2,53	2,597	2,64	2,89
S (nW/m ²)	0,131	0,142	0,067	0,121	0,139	0,098	0,052
E (mV/m)	0,222	0,2311	0,159	0,214	0,228	0,193	0,14

Tabla 7. Tabla de resultados segunda medida.

En este caso, los resultados obtenidos con el programa han sido los siguientes:

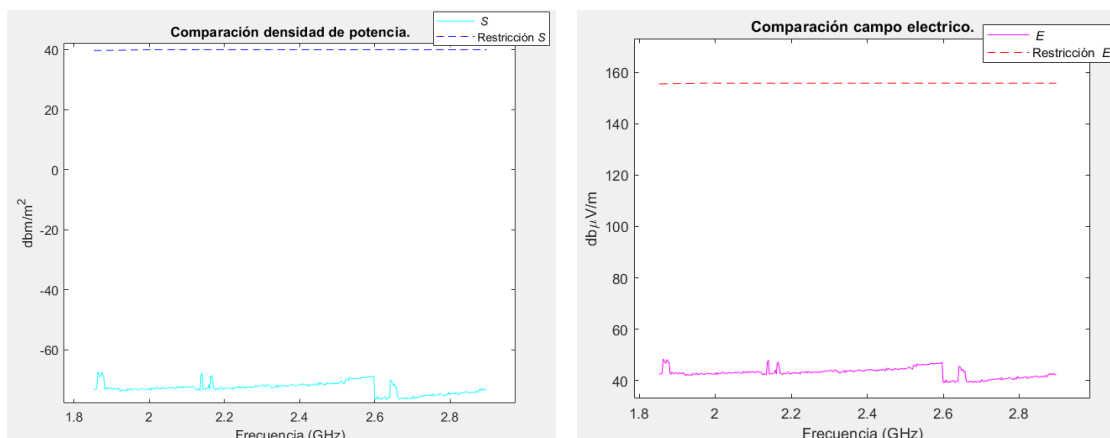


Figura 68. Resultados segunda medida.

Por último, el tercer resultado ha sido medido desde 1 GHz a 3 GHz también en modo manual y además de disminuir el ancho de banda del filtro de resolución se ha reducido la velocidad del barrido.

Frecuencia (GHz)	1,4	1,7	1,84	2,15	2,53	2,64	2,94
S (nW/m ²)	0,0266	0,0589	0,487	0,222	0,137	0,188	0,0645
E (mV/m)	0,1	0,149	0,4285	0,289	0,227	0,266	0,155

Tabla 8. Tabla de resultados tercera medida.

Y las correspondientes gráficas a estos resultados las observamos en la figura 69.

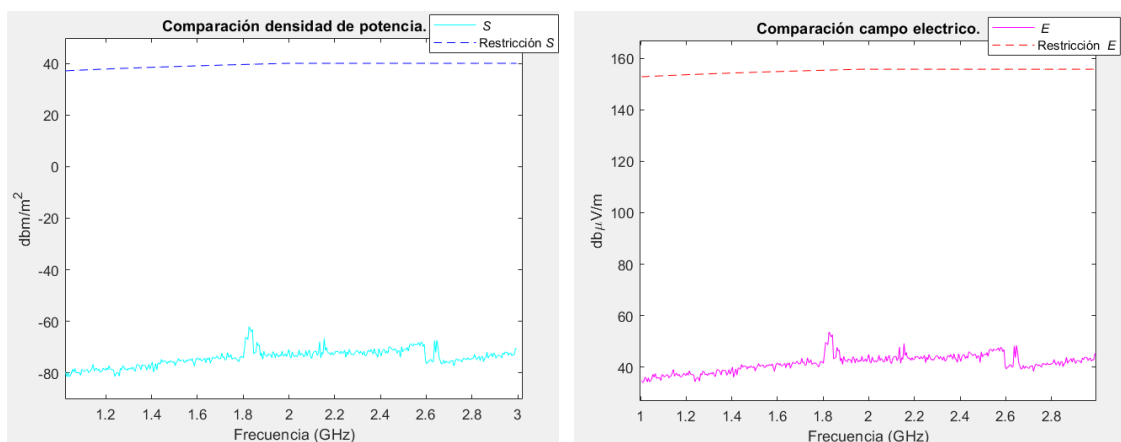


Figura 69. Resultados tercera medida.

Capítulo 8. Conclusiones y propuesta de trabajo futuro

8.1 Conclusiones

El objetivo de este TFG era comprobar que las innumerables instalaciones radioeléctricas respetaban los límites de la normativa y por lo tanto no fueran un riesgo para la salud de los ciudadanos que día a día estamos conviviendo con estas señales. Para llevar a cabo nuestro objetivo, se ha diseñado un programa capaz de conectarse a un analizador de espectro, comunicarse con él para mandarle la configuración (que dentro de los límites que se han marcado) desee el usuario, cargar diferentes archivos para caracterizar la antena ya que son necesarios para el cálculo de los parámetros bajo estudio (densidad de potencia y campo eléctrico en este caso), hacer el proceso de promediar durante un tiempo de 6 minutos para posteriormente mostrar los resultados en dos gráficas comparativas de los niveles medidos contra los niveles marcados por la ley y por último guardar si se cree necesario un archivo que contiene los valores de ambos parámetros.

A la vista de los resultados obtenidos, se ve con claridad que los niveles medidos están muy lejos de sobrepasar los valores que se marcan como límite y que si llegaran a sobrepasarse podrían suponer un peligro para la vida de las personas que pudieran estar expuestas a estos campos.

8.2 Propuesta de trabajo futuro

En este trabajo se ha implementado un programa capaz de medir campos electromagnéticos a través de un analizador de redes, así como comprobar que se cumple la normativa vigente.

En este apartado se propone una serie de tareas que pueden desarrollarse en líneas futuras a modo de optimizar y mejorar algunos aspectos del programa.

- El programa ha conseguido, lo que como mínimo marca la normativa, estar promediando durante un tiempo cualquiera de 6 minutos. Una idea que se puede llevar a cabo es aumentar este tiempo de medida para posteriormente poder escoger los datos que el usuario quiera correspondientes a ese periodo.
- En este caso, la aplicación está limitada en cuestión de frecuencias a las bandas donde encontramos los servicios de radiofrecuencia. Podría ser oportuno ampliar este intervalo a todo el que disponga el analizador (en el caso del analizador utilizado en este proyecto es de 30 kHz a 18 GHz) para que el usuario tenga más rango donde trabajar.
- Sería interesante también, que durante se está haciendo la medición, cuando aparece el cuadro de dialogo que informa el tiempo de medida, de alguna manera se pudiera añadir un botón de parada por si ha habido algún fallo al introducir en la configuración que realmente queríamos y así no esperar los 6 minutos que tarda en hacer este proceso.
- Este programa está enfocado a realizar medidas para posteriormente comprobar si cumple la normativa vigente o por el contrario puede llegar a ser un peligro para nuestra salud. Aun así, podría implementarse una manera de cargar una medida que se haya hecho con anterioridad y hayamos guardado en nuestro ordenador. De ese modo, solo realizaríamos el proceso de comparación las veces que necesitáramos.

Capítulo 9. Bibliografía

- [1] Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. Boletín Oficial del Estado, 234, de 29 de septiembre de 2001.
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/09/28/1066>
- [2] Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. Boletín Oficial del Estado, 234, de 29 de septiembre de 2001.
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/09/28/1066/con>
- [3] Real Academia de Ingeniería. (15 de junio de 2022). *Densidad de potencia*. Obtenido de <https://diccionario.raing.es/es/lema/densidad-de-potencia>
- [4] Ministerio de educación. (15 de junio de 2022). *Intensidad del campo eléctrico*. Obtenido de http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/intCampoEleI/intCampoEleI.html#:~:text=Intensidad%20de%20campo%20el%C3%A9ctrico,positiva%20situada%20en%20ese%20punto.
- [5] Keysight. (15 de junio de 2022). *What is a Spectrum Analyzer?* Obtenido de <https://edadocs.software.keysight.com/kkbopen/what-is-a-spectrum-analyzer-589310670.html>
- [6] Keysight. (15 de junio de 2022). *N9917A FieldFox Handheld Microwave Analyzer, 18 GHz*. Obtenido de <https://www.keysight.com/zz/en/product/N9917A/fieldfox-a-handheld-microwave-analyzer-18-ghz.html>
- [7] MathWorks. (15 de junio de 2022). *Test and Measurement Tool*. Obtenido de <https://es.mathworks.com/help/instrument/testandmeasurementtool-app.html>
- [8] MathWorks. (13 de junio de 2022). *Matemáticas. Gráficas. Programación*. Obtenido de <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>
- [9] MathWorks. (13 de junio de 2022). *App Designer*. Obtenido de <https://es.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html>
- [10] MathWorks. (15 de junio de 2022). *Component Gallery*. Obtenido de <https://es.mathworks.com/products/matlab/app-designer/component-gallery.html>
- [11] MathWorks. (15 de junio de 2022). *Install the Keysight IO Libraries and VISA Interface Support Package*. Obtenido de <https://es.mathworks.com/help/instrument/install-the-keysight-io-libraries-and-visa-interface-support-package.html>