

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID**

**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR**



**PROYECTO FIN DE CARRERA**  
**Ingeniería de Telecomunicación**

**Diseño de Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) para el  
tratamiento de medidas en la Cámara Anecoica de la EPS**

**Santiago Garrido Valenciano**

**Septiembre 2015**



# **Diseño de Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) para el tratamiento de medidas en la Cámara Anecoica de la EPS**

**AUTOR: Santiago Garrido Valenciano**

**TUTOR: Pablo Sánchez Olivares**

**Grupo de Radiofrecuencia, Circuitos, Antenas y Sistemas (RFCAS)**



**Dpto. de Tecnología Electrónica y de las Comunicaciones  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad Autónoma de Madrid  
Septiembre de 2015**



## **Resumen**

En este proyecto se ha llevado a cabo el diseño, desarrollo y testeo de una aplicación en Matlab para interpretar los datos obtenidos de la cámara anecoica de la EPS. Además, permite la manipulación de estos datos para compararlos entre sí, representarlos con propiedades específicas y generar gráficos especialmente útiles para incluirlos en publicaciones.

Para el desarrollo de esta aplicación se ha utilizado Matlab como lenguaje de programación. Pese a que Matlab acepta lenguaje estructurado, más común, se decidió utilizar programación orientada a objetos por la potencia y sencillez que hace que el código sea más intuitivo.

Para la fase de *testing*, no solo ha participado el autor y el tutor, sino que la labor del grupo de RFCAS ha permitido una aplicación más completa y depurada.

## **Palabras Clave**

Matlab, Programación orientada a objetos, GUI, MAGUI, parámetros S, aplicación, diagrama de radiación, instancia, cámara anecoica, ganancia, eficiencia.



## **Abstract**

In this Project we have dealt with the design, development and testing of an application coded in Matlab. This application takes data from EPS's anechoic chamber and interprets it allowing to the user manipulate it in order to compare different data, represent it with specific properties and get final graphics that are especially usefull in papers.

It has been used Matlab as programming language of this aplicación. Despite of that fact that Matlab can "understand" structured language, more usual, it was decided to use object's oriented programming instead due to it's more powerfull and simple, making the code more intuitive.

Testing phase was performed not only by the autor and his tutor, but RFCAS group that made an excellet contribution to obtain a more refined and complete application.

## **Key Words**

Matlab, Object's oriented programming, GUI, MAGUI, S parameters, application, radiation pattern, instance, anechoic chamber, gain, efficiency.





## *Agradecimientos*

Por fin se ve la luz al final del túnel. Un túnel largo y escabroso que me ha conducido durante más tiempo del esperado a través de una cantidad de diferentes emociones. No obstante, ya estamos aquí, saboreando la magnífica esencia del aire libre. Y por supuesto, hay mucho que agradecer a muchas personas diferentes.

En primer lugar, agradecer a Pablo su constante labor, cruzando la línea del tutor a la del amigo en más de una ocasión. Su ayuda ha sido especialmente importante en este último paso y mi eterno agradecimiento irá acompañado de una ronda de cervezas en La Sureña.

También al grupo de RFCAS. No he asistido mucho por el laboratorio, amén de mi alma de lobo solitario, pero cuando he necesitado su ayuda ahí han estado, y por ello me rindo ante ellos. A los profesores, José Luís por sus consejos a última hora, a Bazil por sus enseñanzas y por su sentido del humor tan inesperado y a Juan y Jorge por su entrega en la enseñanza. Y por supuesto a los alumnos, a los que solo puedo desear lo mejor.

Por supuesto que no puedo dejarme a mis queridos compañeros de la carrera, algunos grandes amigos. A Rubén Ibáñez por convertirse en un gran amigo y compartir conmigo su amor por la pesca, la naturaleza y las chapucillas en general. A Rubén Sevilla por esas conversaciones llenas de curiosidades y que me han hecho admirarle por ello. A Borja, Miguel y Chuso por esos últimos años de biblioteca hasta las tantas y por esas risas nerviosas que compartíamos antes de los exámenes. Javi, Chema, Rober y esos tubos en los jardines de la EPS... Y en general a todos aquellos que en algún momento han compartido su tiempo conmigo.

Por otro lado, no puedo dejar atrás a mi familia, que me han apoyado, empujado y disculpado. A mi madre por su incondicional apoyo sin importar las excusas que pusiera, sé que no las creías, pero aun así asentiste y dijiste que no pasaba nada. A mi padre por su labor de padre, recordándome lo importante que era para mí terminar lo que había empezado. Discutimos bastante, pero aprecio y valoro tus palabras. A los demás que siempre habéis presumido de tener un hermano, sobrino, primo o nieto ingeniero. Solo por ello estoy aquí, no permitiría que vuestra palabra callera en saco roto. Y por supuesto a mis suegros, que se unieron a mi campaña a finales de esta. A María José, que siempre me ha tratado con un cariño exquisito, nunca haciéndome de menos y siempre llamándome “hijo”. Que sepas que te considero mi segunda madre. Y a Elías con su humor negro, que me preguntaba cada fin de semana cómo iba con el proyecto.

A ti, abuelo, que espero puedas verme allá donde estés.

Y a ti te he dejado la última, no porque esta fuera tu importancia, sino porque ya sabes que me gusta dejar lo mejor para el final. Tú eres la fuerza que sacaba en esas tardes de cuarenta grados para ponerme a escribir. Tú eres la inspiración que brotaba cuando lo demás me doblegaba. Solo en ti encontraba ese refugio en el que maldecir sin sentirme juzgado. Tu cariño, tus palabras de aliento e incluso tus broncas han sido indispensables en esta última fase y es por ello que te lo dedico. Para mi “ingeniera”. Te quiero.

Santi



# INDICE DE CONTENIDOS

<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVACIÓN .....	1
1.2 OBJETIVOS.....	1
1.3 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA .....	2
<b>2 ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>3</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	3
2.2 ¿QUÉ ES UNA CÁMARA ANECOICA? .....	3
2.3 TIPOS DE CÁMARAS ANECOICAS .....	4
2.3.1 Cámara anecoica: RF.....	4
2.3.2 Cámara anecoica: EMC.....	5
2.3.3 Cámara anecoica: Ondas acústicas.....	5
2.4 TIPOS DE AISLANTES.....	5
2.4.1 RAM .....	5
2.4.2 Ferrita.....	7
2.4.3 Mixto.....	7
2.4.4 Otros .....	7
2.5 SISTEMAS DE MEDIDA .....	7
2.5.1 Sistemas en campo lejano.....	7
2.5.2 Sistemas en campo compacto.....	8
2.5.3 Sistemas en campo cercano.....	8
2.6 CÁMARA ANECOICA DE LA EPS .....	9
2.7 PROPIEDADES DE LAS ANTENAS .....	10
2.7.1 ¿Qué es una antena? .....	10
2.7.2 Parámetros de dispersión (Parámetros S).....	11
2.7.3 Diagrama de radiación.....	14
2.7.4 Intensidad de radiación, Directividad y Ganancia.....	17
2.7.5 Eficiencia .....	19
2.7.6 Polarización.....	19
<b>3 ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN.....</b>	<b>23</b>
3.1 INTRODUCCIÓN.....	23
3.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL CÓDIGO .....	24
3.3 FLUJOS DE ACCIONES Y LA INTEROPERABILIDAD ENTRE OBJETOS .....	25
3.3.1 Representación de parámetros S .....	25
3.3.2 Representación de un diagrama de radiación Simulado.....	27
3.3.3 Representación de Ganancia o Eficiencia .....	27
3.3.4 Modificación de una propiedad gráfica .....	28
3.4 CONTROLLER.....	29
3.5 PRESENTER .....	29
3.6 OBJECT .....	29
3.7 PROPIEDADES DE LOS OBJETOS PRINCIPALES .....	29
3.8 PROPIEDADES DE LOS OBJETOS SECUNDARIOS .....	30
3.9 MÉTODOS DE LOS OBJETOS PRINCIPALES Y SECUNDARIOS.....	32
<b>4 MANUAL DE USUARIO .....</b>	<b>33</b>
4.1 INTRODUCCIÓN.....	33
4.2 MAGUI.....	33
4.3 GUIs SECUNDARIAS.....	35
4.3.1 Propiedades del área gráfica (GraphConfigGui) .....	35
4.3.2 Visibilidad de líneas de instancias (LinesRadButtonVisibilityGui) .....	37

4.3.3 Representación de diagramas de radiación (NewDRGui) .....	38
4.3.4 Representación de archivos SNP (NewSNPGui).....	39
4.3.5 Representación de Ganancia y Eficiencia (GainEfGui) .....	41
4.4 REPRESENTACIÓN DE ARCHIVOS. ....	42
4.4.1 Diagrama de Radiación.....	42
4.4.2 Parámetros S.....	57
4.4.3 Ganancia y Eficiencia .....	61
4.4.4 Otras Funcionalidades.....	68
4.4.5 Superar el número máximo de instancias .....	77
<b>5 INTEGRACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>79</b>
5.1 INTRODUCCIÓN.....	79
5.2 METODOLOGÍA DE PRUEBAS.....	79
5.3 FASE ALPHA.....	79
5.4 FASE BETA.....	79
5.5 RESULTADOS.....	80
<b>6 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....</b>	<b>81</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	81
6.2 TRABAJO FUTURO .....	81
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>I</b>
A LISTADO DE MÉTODOS DE LOS OBJETOS PRINCIPALES Y SECUNDARIOS .....	I
B CONTROL DE VERSIONES .....	IX
C REQUISITOS DEL SISTEMA.....	XIII

# INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1: CÁMARA ANECOICA DE LA EPS.....	3
FIGURA 2-2: CÁMARA ANECOICA ESPECIALIZADA EN RF.....	4
FIGURA 2-3: CÁMARA ANECOICA ESPECIALIZADA EN ACÚSTICA.....	5
FIGURA 2-4: EJEMPLO DE RAM PIRAMIDAL.....	6
FIGURA 2-5: LA ONDA INCIDENTE REBOTA CONTRA LAS PIRÁMIDES PERDIENDO ENERGÍA EN CADA REBOTE.....	6
FIGURA 2-6: PANORÁMICA DE LA CÁMARA ANECOICA DE LA EPS.....	10
FIGURA 2-7: TIPO DE ANTENA EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA.....	11
FIGURA 2-8: ONDAS REFLEJADAS ( <i>bn</i> ) E INCIDENTES ( <i>an</i> ) EN UNA RED DE DOS TERMINALES.....	12
FIGURA 2-9: CARTA DE SMITH.....	14
FIGURA 2-10: SISTEMA DE REPRESENTACIÓN DE COORDENADAS ESFÉRICAS.....	15
FIGURA 2-11: DIAGRAMA DE RADIACIÓN EN COORDENADAS POLARES.....	16
FIGURA 2-12: DIAGRAMA DE RADIACIÓN EN COORDENADAS CARTESIANAS.....	16
FIGURA 2-13: TIPOS DE DIAGRAMAS DE RADIACIÓN EN FUNCIÓN DE SU DIRECTIVIDAD.....	17
FIGURA 2-14: REPRESENTACIÓN DEL DIFERENCIAL DE ÁNGULO SÓLIDO.....	18
FIGURA 2-15: ÉLIPSE DE POLARIZACIÓN.....	20
FIGURA 2-16: POLARIZACIÓN LINEAL.....	20
FIGURA 2-17: POLARIZACIÓN CIRCULAR.....	21
FIGURA 3-1: ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN.....	24
FIGURA 3-2: ESQUEMA CON UN EJEMPLO DEL FLUJO DE TRABAJO AL CARGAR UN ARCHIVO S2P.....	26
FIGURA 3-3: ESQUEMA CON UN EJEMPLO DEL FLUJO DE TRABAJO AL CARGAR UN ARCHIVO DE DIAGRAMA DE RADIACIÓN SIMULADO.....	27
FIGURA 3-4: ESQUEMA CON UN EJEMPLO DEL FLUJO DE TRABAJO AL REPRESENTAR GANANCIA O EFICIENCIA.....	27
FIGURA 3-5: ESQUEMA CON UN EJEMPLO DEL FLUJO DE TRABAJO AL MODIFICAR ALGUNA PROPIEDAD GRÁFICA.....	28
FIGURA 4-1: MAGUI TRAS INICIALIZAR LA APLICACIÓN.....	33
FIGURA 4-2: ÁREAS DE TRABAJO DE LA INTERFAZ MAGUI.....	34
FIGURA 4-3: GRAPHCONFGUI.....	36
FIGURA 4-4: LINESRADBUTTONVISIBILITYGUI.....	38
FIGURA 4-5: NEW DRGUI.....	38
FIGURA 4-6: RUTA DESDE EL MENÚ CONTEXTUAL PARA ACCEDER A LA INTERFAZ “NEWDRGUI”.....	39
FIGURA 4-7: NEWSNPGUI.....	40
FIGURA 4-8: RUTA DESDE EL MENÚ CONTEXTUAL PARA ACCEDER A LA INTERFAZ “NEWSNPGUI”.....	40
FIGURA 4-9: GAINEFGUI.....	41
FIGURA 4-10: INTERFAZ PARA LA SELECCIÓN DE LAS COMPONENTES VERTICAL Y HORIZONTAL EN DRM.....	43
FIGURA 4-11: PROPIEDADES PARA EL CÁLCULO DE LA DISTANCIA DE CAMPO LEJANO.....	44
FIGURA 4-12: PANEL DE TIPO DE COMPONENTE.....	44
FIGURA 4-13: CONFIGURACIÓN DE “NEWDRGUI” PARA DRM.....	45
FIGURA 4-14: SELECCIÓN DE LAS COMPONENTES VERTICAL Y HORIZONTAL, ASÍ COMO LAS PROPIEDADES PARA EL CÁLCULO DE CAMPO LEJANO.....	46
FIGURA 4-15: RESULTADO FINAL DEL FLUJO DE DRM.....	46
FIGURA 4-16: POSIBLES MENSAJES EN FUNCIÓN DE LA POLARIZACIÓN.....	47
FIGURA 4-17: CONFIGURACIÓN DE “NEWDRGUI” PARA DRS.....	48
FIGURA 4-18: SELECCIÓN DEL ARCHIVO DEL DIAGRAMA DE RADIACIÓN SIMULADO.....	49
FIGURA 4-19: SELECCIÓN DE LA COMPONENTE COPOLAR.....	49
FIGURA 4-20: RESULTADO FINAL DEL FLUJO DE DRS.....	50
FIGURA 4-21: CONFIGURACIÓN DE DRT.....	51
FIGURA 4-22: TABLA CON LOS VALORES DE AMPLITUD Y FASE DE LOS ELEMENTOS DE DRT.....	52
FIGURA 4-23: PROPIEDADES PARA EL CÁLCULO DE TAYLOR.....	52
FIGURA 4-24: CONFIGURACIÓN DE “NEWDRGUI” PARA LA REPRESENTACIÓN DE DRT.....	53
FIGURA 4-25: PROPIEDADES DE DRT DEL EJEMPLO.....	54
FIGURA 4-26: RESULTADO FINAL DEL EJEMPLO DE DRT.....	54

FIGURA 4-27: TABLA DE VALORES DE AMPLITUD Y FASE RESULTANTE DEL EJEMPLO .....	55
FIGURA 4-28: RESULTADO TRAS LA MODIFICACIÓN DE LA AMPLITUD.....	55
FIGURA 4-29: CUADRO DE DIÁLOGO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TAYLOR .....	56
FIGURA 4-30: RESULTADO DE DISTRIBUCIÓN DE TAYLOR EN DRT .....	56
FIGURA 4-31: PANELES DE “TIPO DE FORMATO” Y DE “UNIDADES DE FRECUENCIA” .....	57
FIGURA 4-32: PANEL “NEWSNPGUI” RELLENO CON LAS PROPIEDADES DE EJEMPLO .....	59
FIGURA 4-33: GRÁFICA RESULTADO DEL EJEMPLO DE S2P.....	59
FIGURA 4-34: GRÁFICA RESULTADO TRAS CAMBIAR EL FORMATO Y LAS UNIDADES.....	60
FIGURA 4-35: DETALLE DE LA INTERFAZ “NEWSNPGUI” TRAS SELECCIONAR S1P COMO TIPO DE ARCHIVO. NÓTESE QUE EN EL PANEL DE LÍNEAS VISIBLES SOLO ES POSIBLE ELEGIR LA OPCIÓN S11. ....	60
FIGURA 4-36: DETALLE DEL PANEL DE GANANCIA DENTRO DE LA INTERFAZ “GAINEfGUI” .....	62
FIGURA 4-37: INTERFAZ “GAINEfGUI” RELLENA CON LAS PROPIEDADES DEL EJEMPLO DE GANANCIA.....	63
FIGURA 4-38: GRÁFICA FINAL RESULTADO DEL EJEMPLO DEL CÁLCULO DE GANANCIA .....	64
FIGURA 4-39: DETALLE DEL PANEL DE EFICIENCIA DE LA INTERFAZ “GAINEfGUI” .....	65
FIGURA 4-40: CUADRO DE DIÁLOGO PARA INTRODUCIR EL NÚMERO DE ARCHIVOS QUE SE VAN A CARGAR.....	67
FIGURA 4-41: INTERFAZ “GAINEfGUI” RELLENA CON LAS PROPIEDADES DEL EJEMPLO. ....	67
FIGURA 4-42: GRÁFICA FINAL CON EL RESULTADO DEL CÁLCULO DE LA GANANCIA Y DE LAS EFICIENCIA PROPUESTAS EN EL EJEMPLO (DS/GS) Y (GS/GM).....	67
FIGURA 4-43: DETALLE DEL BOTÓN PARA ACCEDER A LA FUNCIONALIDAD DE LA CARTA DE SMITH .....	68
FIGURA 4-44: EJEMPLO DE INTERFAZ DE CARTA DE SMITH CUANDO HAY TRES INSTANCIAS DE ARCHIVOS S2P CARGADAS.....	69
FIGURA 4-45: INTERFAZ DE CARTA DE SMITH CON LOS PARÁMETROS DE EJEMPLO .....	69
FIGURA 4-46: RESULTADO FINAL DE LA CARTA DE SMITH DEL EJEMPLO. ....	70
FIGURA 4-47: INTERFAZ DE MATLAB PARA CAMBIAR LAS PROPIEDADES DE LAS LÍNEAS DE LA CARTA DE SMITH .....	70
FIGURA 4-48: DETALLE DEL BOTÓN PARA EXPORTAR A OTRA FIGURA. ....	71
FIGURA 4-49: TRAS PULSAR EN EL BOTÓN “EXP. FIGURA” SE CREARÁ UNA NUEVA FIGURA CON UNA COPIA EXACTA DE LO MOSTRADO EN EL ÁREA GRÁFICA DE MAGUI. ....	71
FIGURA 4-50: VENTANA DE SELECCIÓN DE ARCHIVOS .....	72
FIGURA 4-51: EL ÁREA GRÁFICA ANTES (ARRIBA) Y DESPUÉS (ABAJO) DE APLICAR UN ZOOM + .....	73
FIGURA 4-52: DETALLE DEL BOTÓN DEFAULT DEL PANEL DE LÍMITES EN MAGUI .....	73
FIGURA 4-53: MENÚ CONTEXTUAL TRAS HACER CLICK CON EL BOTÓN DERECHO DEL RATÓN EN EL ÁREA GRÁFICA .....	74
FIGURA 4-54: EL ÁREA GRÁFICA ANTES (ARRIBA) Y DESPUÉS (ABAJO) DE APLICAR UN ZOOM - .....	74
FIGURA 4-55: EL ÁREA GRÁFICA ANTES (ARRIBA) Y DESPUÉS (ABAJO) DE APLICAR UN DESPLAZAMIENTO CON LA HERRAMIENTA DE PAN. ....	75
FIGURA 4-56: EJEMPLO DE LA COLOCACIÓN DE TRES CURSORES EN DIFERENTES LÍNEAS DEL ÁREA GRÁFICA.....	76
FIGURA 4-57: DETALLE DEL MENÚ CONTEXTUAL PARA ELIMINAR LOS CURSORES .....	76
FIGURA 4-58: DETALLE DEL BOTÓN PARA LIMPIAR EL ÁREA GRÁFICA.....	77
FIGURA 4-59: DETALLE DEL ANTES (ARRIBA A LA IZQUIERDA) Y DEL DESPUÉS (ABAJO A LA DERECHA) TRAS HABER PULSADO EL BOTÓN DE “LIMPIAR GRÁFICA” .....	77
FIGURA 4-60: EJEMPLO DE CUADRO DE DIÁLOGO CUANDO SE SUPERA EL LÍMITE DE INSTANCIAS DE UN TIPO DE ARCHIVO CON L .	78
FIGURA 4-61: EJEMPLO DE CUADRO DE DIÁLOGO CUANDO SE SUPERA EL LÍMITE DE INSTANCIAS DE UN TIPO DE ARCHIVO CON LÍMITE DE INSTANCIAS MAYOR QUE 1. EN ESTE CASO, AL PULSAR EN “SI” (ARRIBA), APARECE OTRO CUADRO DE DIÁLOGO (ABAJO) DÓNDE EL USUARIO DEBE DE ELEGIR LA INSTANCIA EXISTENTE A ELIMINAR .....	78
FIGURA B-0-1: VERSIÓN 1.0 DE LA APLICACIÓN. ....	IX
FIGURA B-0-2: VERSIÓN 1.0 DE LA GUI “GRAPHCONFIGUI” .....	X
FIGURA B-0-3: VERSIÓN 1.1 DE LA APLICACIÓN .....	X
FIGURA B-0-4: VERSIÓN 2.0 DE LA APLICACIÓN. ....	XI
FIGURA B-0-5: VERSIÓN 2.1 DE LA APLICACIÓN .....	XII
FIGURA B-0-6: VERSIÓN 2.2 Y FINAL DE LA APLICACIÓN.....	XII

# INDICE DE TABLAS

TABLA 2-1: RELACIÓN ENTRE TAMAÑO MÁXIMA DE ANTENA Y FRECUENCIA DE TRABAJO PARA LA MEDIDA EN CAMPO LEJANO CON UNA DISTANCIA MÁXIMA DE 4,2 METROS.....	9
TABLA 2-2: BANDAS DE FRECUENCIA EN EL RANGO DE LAS MICROONDAS.....	10
TABLA 2-3: TIPOS DE PARÁMETROS S.....	13
TABLA 2-4: REGIONES EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DESDE LA ANTENA ( $r$ ) .....	15
TABLA 4-1: PROPIEDADES DE LÍNEA DE DRM .....	44
TABLA 4-2: PROPIEDADES DE LÍNEA DE DRS .....	48
TABLA 4-3: PROPIEDADES DE LÍNEA DE DRT .....	53
TABLA 4-4: TIPOS DE FORMATOS DISPONIBLES .....	58
TABLA 4-5: PROPIEDADES POR DEFECTO DE LÍNEA DE S2P.....	58
TABLA 4-6: PROPIEDADES POR DEFECTO DE LÍNEA DE GANANCIA .....	63
TABLA 4-7: PROPIEDADES DE LÍNEA POR DEFECTO DE EFICIENCIA .....	66
TABLA 4-8: LÍMITES DE INSTANCIAS DEPENDIENDO DEL TIPO .....	78
TABLA C-0-1: REQUISITOS MÍNIMOS RECOMENDADOS .....	XIII





# 1 Introducción

---

## 1.1 Motivación

La cámara anecoica de la EPS es una herramienta imprescindible hoy en día para investigadores y alumnos que desarrollan sus proyectos de fin de carrera, trabajos de fin de grado, etc... Y es por ello que era necesaria una herramienta que permitiera a estas personas ahorrarse la, a veces tediosa, elaboración de scripts personalizados para poder interpretar los datos obtenidos y poder trabajar con ellos.

Con la aplicación objeto de este PFC se pretende solucionar este problema, proporcionando al investigador un área de trabajo en el que solo debe de cargar los datos y configurarlos a su gusto o necesidad.

## 1.2 Objetivos

En su inicio, los objetivos de este PFC eran humildes pero concisos, crear una herramienta genérica que cubriera las necesidades básicas del mayor número de personas dentro del grupo de RFCAS, evitando que estos tuvieran que generar su propio código para ello. Por ello, la primera fase fue la de implementar un sistema que pudiera representar:

- Parámetros S
- Diagramas de Radiación medidos, simulados y teóricos.

Todo ello pudiendo realizar ajustes básicos en las líneas representadas. Por supuesto que en todo momento se pensó en esta como una herramienta a ser usada y por ello se debía de poner especial cuidado en que esta fuera robusta y libre de fallos.

No obstante, y viendo el potencial que podía tener la aplicación, una vez asentados los cimientos, se decidió proveer de más funcionalidad, añadiendo los siguientes objetivos:

- Representación de ganancia.
- Representación de eficiencias.
- Más flexibilidad con los diagramas de radiación (selección de copolar/contrapolar, normalización, cálculo de campo lejano, mejora de la generación del diagrama de radiación teórico...)
- Carta de Smith.
- Ampliación de las propiedades a ser modificadas
  - Markers (color, densidad, tamaño, tipo)
  - Todas las propiedades de los ejes, títulos, labels...
- Multiinstancia de ciertos tipos de archivos (Parámetros S, diagramas de radiación medidos...)

### 1.3 Organización de la memoria

La memoria de este proyecto consta de los siguientes capítulos:

- En el capítulo 2 se mostrarán los conceptos teóricos que envuelven a este proyecto, desde los fundamentos de las cámaras anecoicas, hasta las propiedades de las antenas.
- El capítulo 3 explica la estructura del programa a nivel interno. Cómo se interrelacionan los objetos, qué administran cada uno, etc.
- El capítulo 4 contiene un extenso y preciso manual de usuario de la aplicación, con ejemplos de los principales flujos de trabajos.
- En el capítulo 5 se analiza la metodología y las fases de *testing* de la aplicación.
- El capítulo 6 muestra las conclusiones obtenidas después de la realización de este PFC y muestra las posibles líneas de trabajo futuro.
- Por último, se incluyen dos anexos:
  - El anexo A es una lista de todos los métodos y funciones que se han desarrollado para la aplicación.
  - En el anexo B se incluye un pequeño control de versiones donde se intenta ilustrar el progreso del proyecto desde sus inicios.
  - En el anexo C se presentan los requisitos mínimos a nivel hardware aconsejados para que la aplicación se comporte de manera estable.

## 2 Estado del arte

---

### 2.1 Introducción

En esta sección se introducirán todos los conceptos teóricos necesarios para la comprensión de los diferentes apartados relacionados con el diseño, desarrollo y utilización de la aplicación objeto de este PFC.

En primer lugar se abordará la temática relacionada con las cámaras anecoicas, proporcionando una base para entender los tipos y las aplicaciones que más comúnmente se puede encontrar.

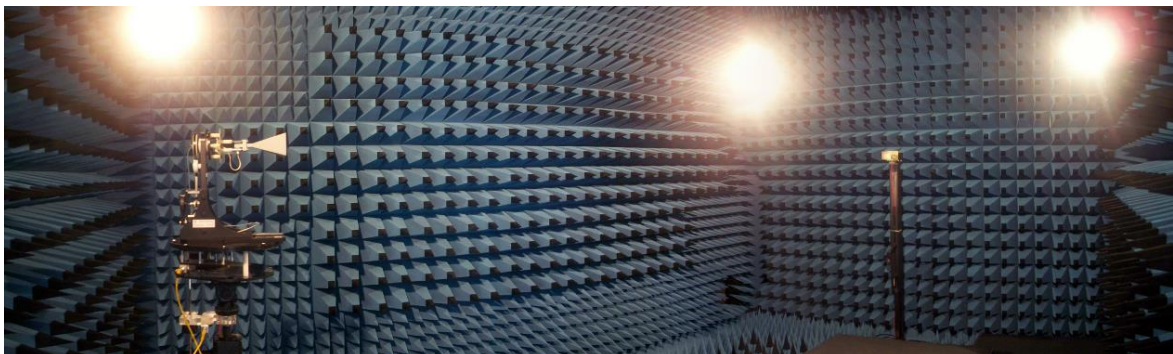
A continuación, se hará un repaso de los conceptos teóricos en los que se basa la aplicación desarrollada en este PFC desde un punto de vista simplificado.

Por último, se tratarán conceptos de programación utilizados en este PFC, incluyendo una descripción de las herramientas utilizadas, etc.

### 2.2 ¿Qué es una cámara anecoica?

Una cámara anecoica es un espacio cerrado (normalmente una sala) donde normalmente se colocan una antena objeto de estudio y una bocina que mide la potencia recibida. Esta sala debe de estar lo más aislada posible para que las mediciones sean precisas, por ello, las paredes, techos (y posiblemente suelo) están adaptados de tal manera que las ondas acústicas y/o electromagnéticas que se produzcan en su interior, no sufran alteraciones y su estructura se mantenga lo más fiel posible al momento en que se generaron. Esto se consigue gracias a una serie de recubrimientos que conformarán las paredes, techo y suelo que absorban las posibles reflexiones. En el mejor de los casos, las absorciones serán en torno al 99%, simulando casi a la perfección un medio abierto sin posibles obstáculos.

Hay cámaras anecoicas adaptadas a ondas acústicas y a ondas RF y aunque ambas pueden funcionar bien con los dos tipos, cada tipo de cámara está adaptada sobre todo al rango de frecuencia más típico.



**Figura 2-1:** Cámara anecoica de la EPS

## 2.3 Tipos de Cámaras anecoicas

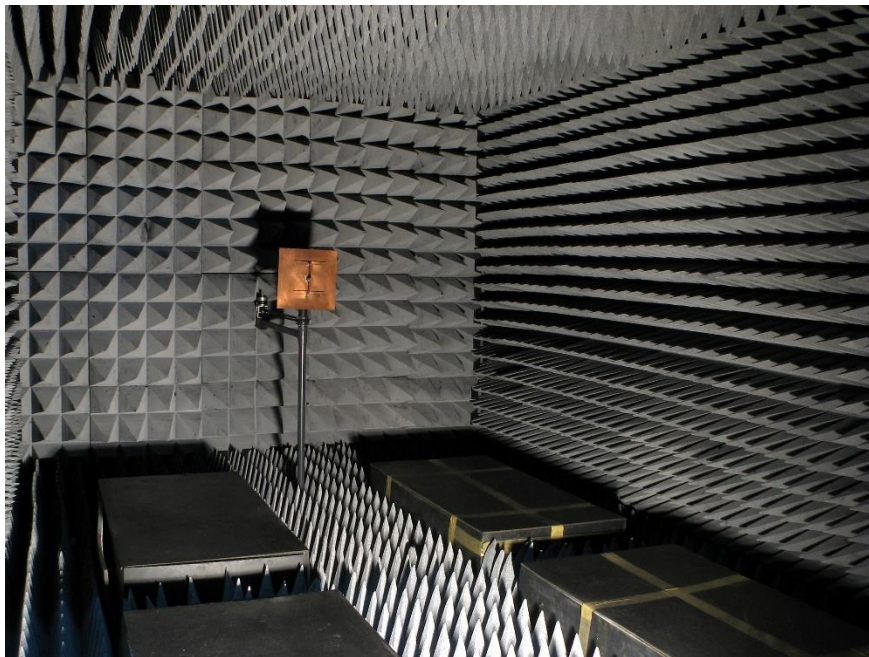
Como comentamos en la introducción, existen principalmente dos tipos de cámaras anecoicas, aquellas que se centran en ondas acústicas abordando un rango de aproximadamente el que percibe el oído humano (20Hz-22Khz) y aquellas que se centran en las ondas electromagnéticas de media-alta frecuencia (desde algunos MHz hasta varios GHz). Nosotros haremos más hincapié en esta última clasificación, pudiéndose, a su vez, subdividirse en otros tipos, más orientados a la utilizada principal que se le va a dar: ondas electromagnéticas, diagramas de radiación de antenas, etc...

### 2.3.1 Cámara anecoica: RF

El objetivo de este proyecto es el análisis de los resultados arrojados por la cámara anecoica de la EPS que se sitúa dentro del grupo de las cámaras anecoicas especializadas en ondas de RF. En este caso particular, la máxima frecuencia será de 18Ghz, significando esto que conseguirá buenos niveles de absorción para ondas con una frecuencia de hasta 18Ghz.

En el caso de las cámaras anecoicas de RF, no solo lleva material de absorción en el interior sino que el exterior está “forrado” de metal para aislar el interior de la posible radiación exterior, actuando como una jaula de Faraday.

Para el interior, normalmente se utilizan unos bloques de espuma con estructuras piramidales de tal manera que el vértice de estos apunta hacia el interior de la cámara. Estas son especialmente utilizadas para medidas de antenas así como pruebas de radar. Debido a la frecuencia más alta de operación, los materiales utilizados suelen ser RAM piramidal con una anchura de menos de un metro. Aunque es posible de obtener bloques de hasta 2,3 metros.



**Figura 2-2:** Cámara anecoica especializada en RF

### 2.3.2 Cámara anecoica: EMC

Son un subgrupo dentro de las RF orientadas a frecuencias más bajas (25Mhz- 1000Mhz). En estos casos se utilizan materiales más específicos para baja frecuencia como la ferrita o híbridos de RAM piramidal con ferrita. Estas cámaras se utilizan principalmente para comprobar que se cumplen los requisitos electromagnéticos de emisión e inmunidad de un aparato. En caso de las pruebas de emisión se utilizan cámaras anecoicas completas mientras que para las pruebas de inmunidad se utilicen cámaras semi-anecoicas. Esto significa que el suelo es conductor y no está propiamente cubierto, recreando las condiciones de plano de tierra eléctrica.

### 2.3.3 Cámara anecoica: Ondas acústicas.

Este tipo de cámara está más orientado a aislarlas ondas acústicas. Es muy parecida a una cámara de tipo RF aunque en este caso no es necesario el aislamiento metálico en el exterior de la cámara. Por otro lado, el diseño de los bloques de espuma es muy parecido aunque con formas y materiales más optimizados para bajas frecuencias.

Algunas, debido a que normalmente están relacionados con un uso humano, en vez de tener un suelo directamente cubierto de planchas de espumas, tienen una rejilla metálica flotante que soporta el peso de los que están dentro y en el interior, separado de esta se encuentra un suelo de espuma.



Figura 2-3: Cámara anecoica especializada en acústica

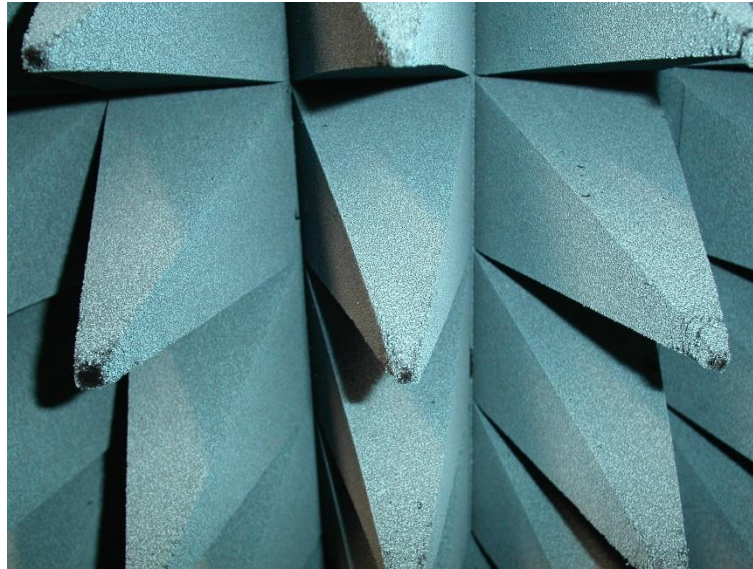
## 2.4 Tipos de aislantes.

Existen varios tipos de aislantes en función de su forma y material que proporcionarán una serie de propiedades de absorción que se adecuarán mejor a diferentes tipos de ondas.

### 2.4.1 RAM

“Radiation absorbent material” o material absorbente de radiación, es el tipo de material más extendido en cámaras anecoicas orientadas a las ondas RF. Es imprescindible que este material no absorba ningún tipo de potencia, por lo que no puede ser un buen conductor

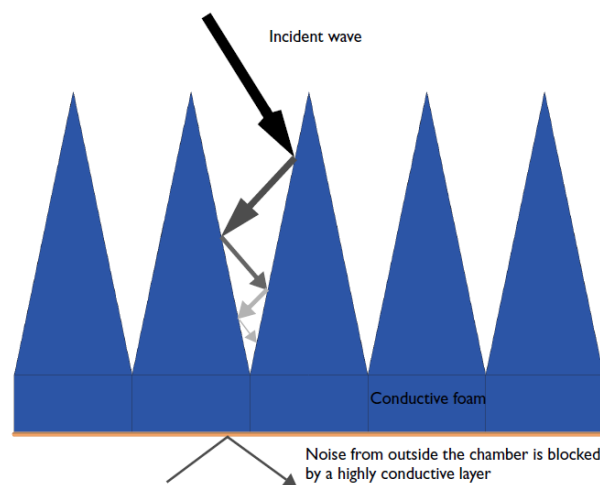
eléctrico, pero tampoco un buen aislante. Un RAM piramidal típico suele estar compuesto de espuma y en algunos casos, una capa de carbono y hierro. En cuanto al tamaño, hablando sobre todo en cuanto a la altura de la “pirámide”, puede variar desde los pocos centímetros hasta varios metros. Un buen diseño tendrá en cuenta la longitud mínima de la onda a analizar de tal manera que el material sea suficientemente largo (mayor que  $\lambda/4$ ) para que pueda absorber eficazmente las reflexiones.



**Figura 2-4:** Ejemplo de RAM piramidal

Cuando un frente de onda llega a la pirámide, esta rebota numerosamente y en cada rebote, el material absorbe una pequeña cantidad de energía. La onda final reflejada será mucho más débil (entre 23-50 dB de atenuación). Todo esto dependerá también del ángulo de incidencia con que la onda llegue a la pirámide, siendo la normal como la más efectiva.

Como hemos indicado, la forma piramidal es la más común pero hay otras formas con utilidades más específicas. En primer lugar tenemos la forma de cuña, que permite dirigir la potencia de la onda incidente hacia otro punto, normalmente con un material absorbente de radiación. Luego hay otras formas en forma de pequeñas ondulaciones que son más específicas para microondas u ondas milimétricas.



**Figura 2-5:** La onda incidente rebota contra las pirámides perdiendo energía en cada rebote.

## 2.4.2 Ferrita

Otro tipo de material menos extendido es la ferrita. Se encuentran en forma de baldosas lisas por lo que son menos voluminosas que los bloques RAM piramidales y el material es más duradero. Por el contrario, tiene un menor rango de frecuencias en las que es efectivo, estando este normalmente en las frecuencias más bajas (25MHz – 600MHz).

## 2.4.3 Mixto

También es utilizado RAM piramidal con Ferrita. De esta manera se beneficia de ambos beneficios y podemos trabajar con pirámides de menor tamaño sin perder eficacia.

## 2.4.4 Otros

Hay otros materiales utilizados en casos más particulares, aparte de recubrimientos especiales que los hacen útiles en diversas condiciones. Entre ellos podemos encontrar recubrimientos ignífugos, impermeables, de goma, etc.

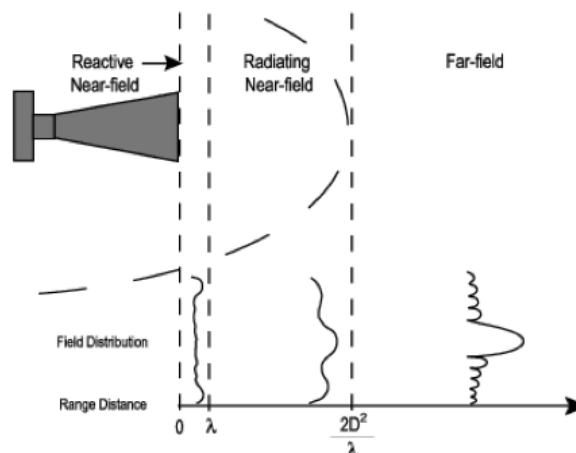
También hay componentes especiales que aparte de la absorción utiliza otros métodos como la cancelación de la onda gracias a una reflejada pero movida 180° en fase. Este tipo de material está compuesto de capas de fibra de vidrio, espuma y aluminio.

## 2.5 Sistemas de medida

### 2.5.1 Sistemas en campo lejano

El objeto de los sistemas en campo lejano es poder caracterizar dispositivos radiantes, midiendo a la suficiente distancia para que el frente de ondas producidas por este pueda ser considerado plano. Esto puede conseguirse en instalaciones ubicadas en exteriores (campo abierto) o interiores (en cámara anecoica). En este caso, en una cámara anecoica se necesitará una distancia entre antena radiante y bocina de al menos la obtenida con la siguiente fórmula:

$$r > \frac{2D^2}{\lambda}$$



## 2.5.2 Sistemas en campo compacto

Cuando la distancia de campo lejano es impracticable dentro de una cámara anecoica, es posible alcanzar este es un espacio más reducido gracias a un sistema de reflectores. Estos reflectores enfocan la energía de RF en una onda plana en una distancia mucho más corta que el sistema típico de frente de onda esférico.

Es un sistema bastante más caro debido a la precisión necesaria en el alineamiento de los reflectores para obtener el mayor rendimiento posible. Acoplamiento entre la onda reflejada y la incidente, el ancho de banda de la onda incidente, difracción en los bordes, etc... son otros factores a tener en cuenta para la obtención de un frente de onda lo más uniforme posible.

## 2.5.3 Sistemas en campo cercano

Un sistema de campo cercano suele ser implementado habitualmente en interiores (cámara anecoica) ocupando menos espacio que un sistema de campo lejano o compacto.

La forma de medir es mediante una bocina que se desplaza por la superficie de la antena transmisora bajo estudio. Gracias a esto se obtiene una matriz de medidas de amplitud y fase en todos los puntos de la onda radiada. Una vez hechas las medidas, mediante un postprocesado es también posible conocer su comportamiento en campo lejano.

Las configuraciones más típicas son:

- Escaner Plano: La bocina se desplaza en los ejes X e Y mientras que la antena transmisora bajo estudio permanece fija.
- Escaner Cilíndrico: La bocina se mueve solo en el eje vertical mientras que la antena transmisora bajo estudio realiza un movimiento circular en su eje de rotación.
- Escaner Esférico: En este caso, la antena bajo estudio se mueve esféricamente alrededor de la bocina, quedando esta fija.





## 2.6 Cámara anecoica de la EPS

La cámara anecoica de la EPS será la que proporcionará las medidas para, posteriormente, poder procesarlas con la aplicación objeto de este PFC.

Esta posee las siguientes características:

- Distancia máxima de medida: 4,2 metros.
- Rango de frecuencias de medida: 1 - 40 GHz
- Las medidas se realizan con un analizador Agilent E5071C hasta 20 GHz, esto impide realizar medidas por encima de los 20GHz, pese a que, como se indica en el punto anterior, la cámara está diseñada para operar en el rango de 1 a 40 GHz.
- Diseño para medida de campo lejano.
- Los componentes de absorción de la cámara son RAM piramidales.
- Utiliza el sistema de posicionamiento DAMS Antenna Measurement Studio

Como pequeño apunte a su diseño, al tratarse de un sistema de campo lejano, solo es posible la medida de antenas cuyas propiedades arrojen un campo lejano inferior a la distancia máxima de medida (4,2 metros). Esto se obtiene partiendo de la ecuación para la medida de campo lejano:

$$r > \frac{2D^2}{\lambda}$$

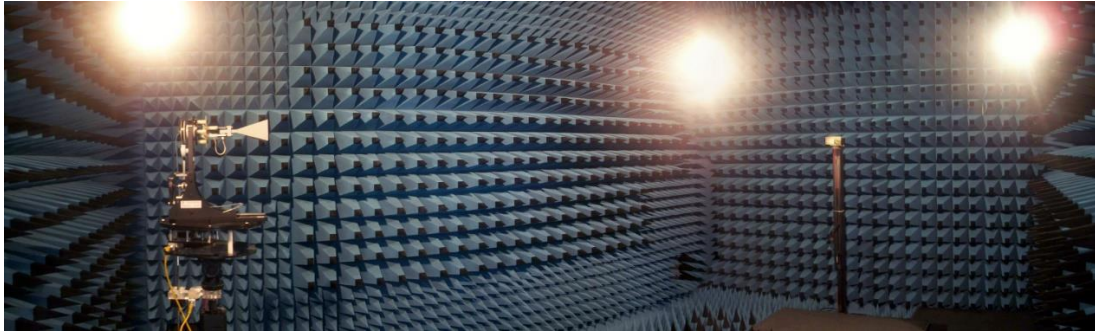
Donde  $r$  es la distancia de campo lejano,  $D$  el tamaño de la antena en metros y  $\lambda$  la longitud de onda que depende de la frecuencia. Despejando,

$$D < \sqrt{\frac{r\lambda}{2}}$$

Obtenemos el tamaño máximo en metros de la antena. Si consideramos  $r$  como la distancia máxima de la cámara anecoica de la EPS, 4,2 metros, podemos obtener una lista de valores de los tamaños máximos de antena para diferentes frecuencias que se adjuntan en la tabla 2-1:

Frecuencia de trabajo	Máximo tamaño de antena
1 GHz	0,79 metros
5 GHz	0.35 metros
10 GHz	0.25 metros
15 GHz	0.20 metros
20 GHz	0.17 metros

**Tabla 2-1:** Relación entre tamaño máxima de antena y frecuencia de trabajo para la medida en campo lejano con una distancia máxima de 4,2 metros.



**Figura 2-6:** Panorámica de la cámara anecoica de la EPS

## 2.7 Propiedades de las antenas

Dentro de la cámara anecoica se utilizará una antena para transmitir una señal y así poder medir algunas de sus propiedades más importantes como puede ser su diagrama de radiación, ganancia o eficiencia. Es por ello que en esta subsección se tratarán estos y otros aspectos teóricos. En pos de hacer el texto más conciso, se evitarán otras propiedades que no tengan una relación directa con este PFC.

### 2.7.1 ¿Qué es una antena?

Es importante, en primer lugar, comprender qué es una antena. Este se trata de una estructura metálica conductora, que en función de su forma será adecuada para la transmisión o recepción de señales con una frecuencia y potencia dadas.

Las antenas poseen una serie de propiedades que las caracteriza como puede ser diagrama de radiación, directividad, ganancia, polarización, etc. Estas ayudarán al investigador a reconocer la calidad de la antena.

Según sus propiedades, hay antenas más aptas para la transmisión o recepción en según qué banda de frecuencia. Existe una categorización de estas en función de la frecuencia, no obstante y como el objeto de estudio de este PFC son las mediciones realizadas en la cámara anecoica de la EPS, las bandas de frecuencia que interesan son las llamadas “microondas” que van desde 1 a los 300GHz y que se resumen en la siguiente tabla.

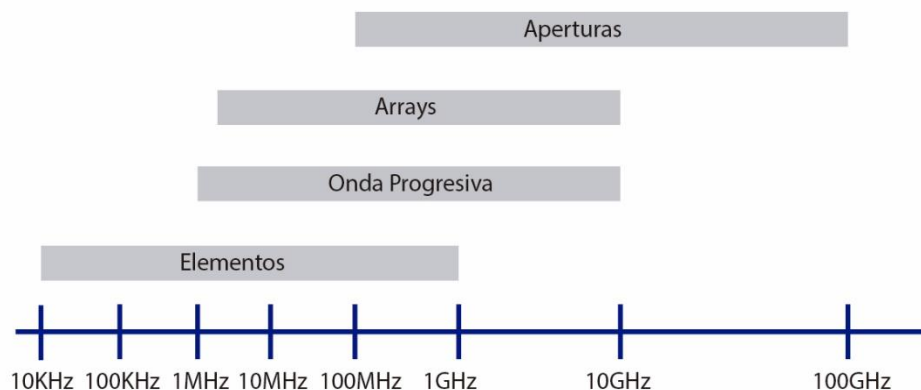
BANDA	RANGO DE FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA
L	1 ~ 2 GHz	30 ~ 15 cm
S	2 ~ 4 GHz	15 ~ 7,5 cm
C	4 ~ 8 GHz	7,5 ~ 3,75 cm
X	8 ~ 12,4 GHz	3,75 ~ 2,42 cm
Ku	12,4 ~ 18 GHz	2,42 ~ 1,66 cm
K	18 ~ 26,5 GHz	1,66 ~ 1,11 cm
Ka	26,5 ~ 40 GHz	11,1 ~ 7,5 mm

**Tabla 2-2:** Bandas de frecuencia en el rango de las microondas

La banda “mm” (1~300GHz) se ha omitido porque su rango de frecuencias excede a los de diseño de la cámara anecoica de la EPS.

Por otro lado, existen diversos tipos de antenas en función al modo de radiación que se resumen en:

- **Antenas de Elementos:** Utilizan conductores de hilo como elementos radiantes. Se utiliza en las bandas MF, HF, VHF y UHF.
- **Antenas de onda progresiva:** Se basan en generar una onda progresiva sobre una estructura radiante eléctricamente larga (varias longitudes de onda). Estas antenas acaban en una carga adaptada o guía eléctrica que recoge la potencia sobrante para evitar reflexiones. Se usan en las bandas de HF y VHF.
- **Antenas de Array:** Las antenas de array están formadas por un conjunto de antenas idénticas colocadas y ordenadas de manera que en su conjunto actúan como una única antena con diagrama de radiación propio.
- **Antenas de apertura:** Las antenas de apertura son las que utilizan superficies o aperturas para direccionar el haz electromagnético. Estas antenas son capaces de concentrar la emisión y recepción de las ondas en una dirección determinada. La versión más conocida y utilizada de este tipo de antenas es la parabólica aunque de igual forma cabe destacar la antena de bocina, muy empleada en el rango de las microondas y muy utilizada como elemento receptor en una cámara anecoica.



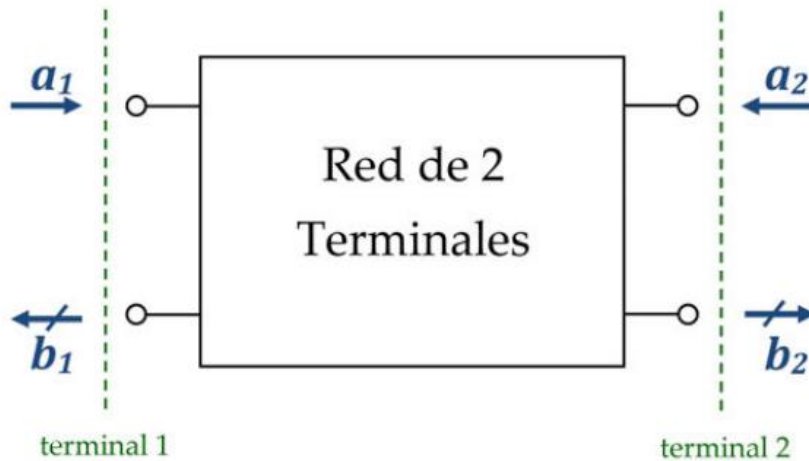
**Figura 2-7:** Tipo de antena en función de la frecuencia

## 2.7.2 Parámetros de dispersión (Parámetros S)

Todo circuito de microondas se puede caracterizar mediante matrices de impedancias  $[Z]$  y de admitancias  $[Y]$ . Estos se obtienen mediante el cálculo de tensiones y corrientes en la frecuencia de operación. No obstante, esto puede resultar complejo y con resultados con un nivel alto de abstracción, por lo que se hace necesario el uso de otro tipo de caracterización. En este caso, los parámetros de dispersión o parámetros S.

Los parámetros S se basan en el modelo de ondas incidentes, reflejadas y transmitidas dentro de una red de N terminales. Para ello, la medición de potencia en cada puerto de cada terminal determina dichos parámetros.

Para explicar el concepto y de cara a un mejor entendimiento, se utilizará una red de 2 terminales, cada uno de ellos con un puerto de entrada y otro de salida tal y como se muestra en la figura.



**Figura 2-8:** Ondas reflejadas ( $b_n$ ) e incidentes ( $a_n$ ) en una red de dos terminales

En los puertos de entrada a la red donde  $i$  es el número del terminal se puede medir la onda incidente  $a_i$ .

En los puertos de salida, por otro lado, se pueden medir las ondas reflejadas  $b_i$ .

Por ello, si se modela matemáticamente esta red, se obtendría la siguiente relación entre los puertos de entrada y los puertos de salida:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

Se puede observar que para una red de dos terminales, existen cuatro parámetros S. Si se obtiene el sistema de ecuaciones a partir de la relación anterior,

$$\begin{cases} b_1 = s_{11}a_1 + s_{12}a_2 \\ b_2 = s_{21}a_1 + s_{22}a_2 \end{cases}$$

Para calcular cada parámetro  $s_{ij}$  hay que cargar cada terminal de la red con su impedancia característica respectiva excepto el terminal  $i$ -ésimo, al que se conectará un generador que produzca la onda incidente  $a_i$ . Por lo tanto, el resto de ondas incidentes será cero.

$$s_{ji} = \left( \frac{b_j}{a_i} \right)_{a_k=0, (\forall k \neq i)}$$

A continuación se explica el significado de cada uno de los parámetros S

Parámetro S	Nombre	Descripción	Fórmula
$S_{11}$	Reflexión a la entrada	Relación entre la onda de potencia que se refleja en el terminal 1 y la onda incidente en el terminal 1	$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right _{a_2=0}$
$S_{12}$	Transmisión o ganancia inversa	Relación entre la onda de potencia que se transmite al terminal 1 y la onda incidente en el terminal 2	$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right _{a_1=0}$
$S_{21}$	Transmisión o ganancia directa	Relación entre la onda de potencia que se transmite al terminal 2 y la onda incidente en el terminal 1	$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right _{a_2=0}$
$S_{22}$	Reflexión a la salida	Relación entre la onda de potencia que se refleja en el terminal 2 y la onda incidente en el terminal 2	$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right _{a_1=0}$

**Tabla 2-3:** Tipos de parámetros S

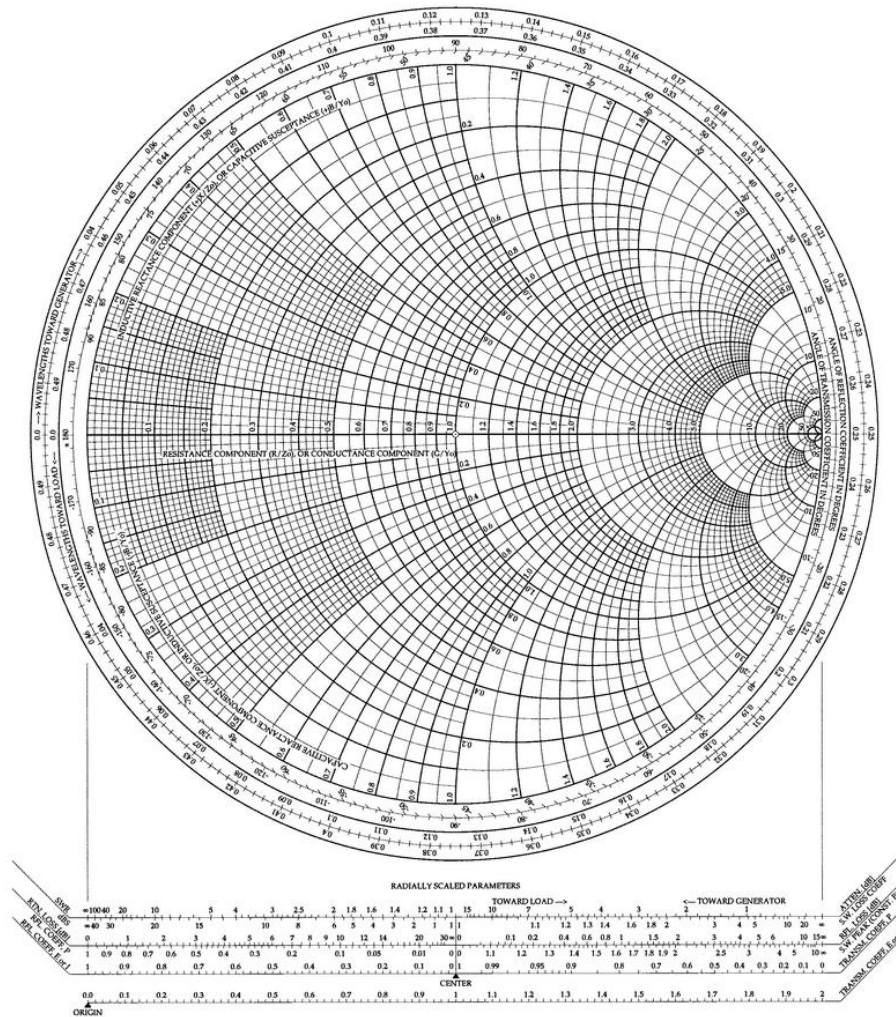
### 2.7.2.1 Carta de Smith

La carta de Smith es una herramienta gráfica que consiste en un diagrama polar en el que se pueden representar las diferentes impedancias o admitancias que conforman una línea de transmisión y que, gracias a una serie de transformaciones, permite la adaptación de impedancias en esta.

Además simplifican el proceso hasta el punto de evitar la mayoría de los cálculos con números complejos.

## The Complete Smith Chart

Black Magic Design



**Figura 2-9:** Carta de Smith

### 2.7.3 Diagrama de radiación

Un diagrama de radiación es la representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena que varían con dentro de un espacio de coordenadas.

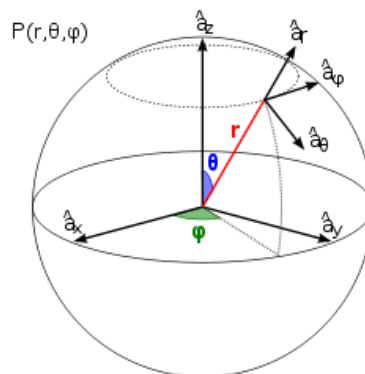
Dependiendo de la distancia a la antena, la distancia de campo lejano está definida en diferentes regiones. Tomando la distancia desde la antena como  $r$ ,  $D$  como la dimensión máxima de la antena y  $\lambda$  la longitud de onda de trabajo, suponiendo que  $r \gg D$  y  $r \gg \lambda$ , las diferentes regiones con  $D \gg \lambda$  se pueden dividir en los siguientes casos:

Región	Distancia desde la antena ( $r$ )
<b>Campo Cercano Reactivo</b>	$r < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$
<b>Campo Cercano Radiado</b>	$0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq r < \frac{2D^2}{\lambda}$
<b>Campo Lejano</b>	$r \geq \frac{2D^2}{\lambda}$

**Tabla 2-4:** Regiones en función de la distancia desde la antena ( $r$ )

Los diagramas de radiación pueden representarse en 3 dimensiones o en dos dimensiones que corresponden los diferentes planos de corte de esta. Los valores de estos suelen estar normalizados a su valor máximo. Normalmente se utiliza el sistema de representación de coordenadas esféricas que está definido por las siguientes magnitudes:

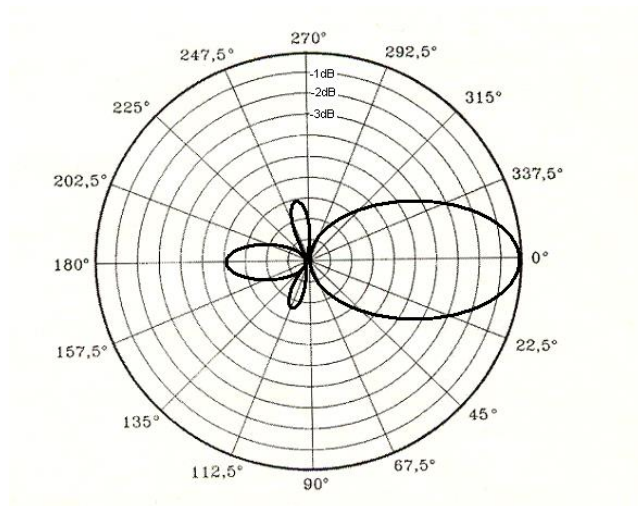
- Radio  $r$ : distancia al origen.
- Ángulo polar  $\theta$ : Ángulo con respecto al eje  $z$ .
- Ángulo azimutal  $\varphi$ : Ángulo con respecto al eje  $x$ .



**Figura 2-10:** Sistema de representación de coordenadas esféricas

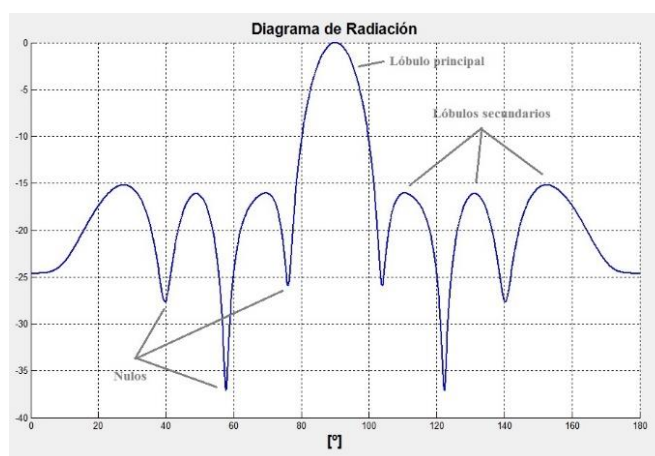
Dentro de la representación en dos dimensiones, existen dos maneras en que representar el diagrama de radiación:

- *Coordenadas Polares:* En las coordenadas polares, el espacio está representado mediante un círculo en cuyo centro está la antena medida. La potencia radiada se representará en función de la distancia al centro de esta siendo una mayor potencia cuanto más alejado este. Esta se reparte por el espacio en función del ángulo en que esté siendo radiada. Esta manera es más interesante para ver cómo se propagan las ondas en el medio, mostrando una clara distribución de potencia en todas las direcciones.



**Figura 2-11:** Diagrama de radiación en coordenadas polares

- *Coordenadas Cartesianas:* las coordenadas cartesianas muestran en el eje de abscisas el ángulo de radiación y en el de ordenadas la densidad de potencia. Gracias a esta representación, permite una mejor comparación del lóbulo principal con respecto a los lóbulos secundarios



**Figura 2-12:** Diagrama de radiación en coordenadas cartesianas

### 2.7.3.1 Parámetros de un diagrama de radiación.

Los parámetros más importantes de un diagrama de radiación son los siguientes:

- *Dirección de apuntamiento:* Dirección en la que la radiación es máxima.
- *Lóbulo principal:* Región del diagrama de radiación en la que se alcanza la mayor radiación. Por ello este determina la dirección de apuntamiento.
- *Lóbulos secundarios:* Regiones colindantes al lóbulo principal delimitado por nulos (o zonas de mínima radiación) cuya magnitud de radiación es menor a la del lóbulo principal.



- Relación de lóbulo principal a secundario (SLL): Es la diferencia en dB entre el valor máximo del lóbulo principal y el valor máximo de los lóbulos secundarios.
- Anchura de haz de -3dB: Representado como  $\theta_{3dB}$  determina el intervalo angular en el que la densidad de potencia radiada es mayor o igual a la mitad de la potencia máxima. Parámetro especialmente útil para determinar la directividad de la antena.

### 2.7.3.2 Tipos de diagramas de radiación

Existen principalmente tres clasificaciones de diagramas de radiación en función a la directividad de estos:

- Isotrópicos: Se radia la misma densidad de potencia en todas las direcciones.
- Omnidireccionales: Presentan simetría de revolución respecto a un eje.
- Directivos: Estos presentan un máximo de radiación concentrado en una dirección determinada.



Figura 2-13: Tipos de diagramas de radiación en función de su directividad

## 2.7.4 Intensidad de radiación, Directividad y Ganancia

### 2.7.4.1 Intensidad de radiación

La intensidad de radiación es la potencia radiada por una antena en una dirección dada por ángulo sólido. Se define en condiciones de campo lejano y es un indicador de cómo puede radiar una antena en una dirección determinada.

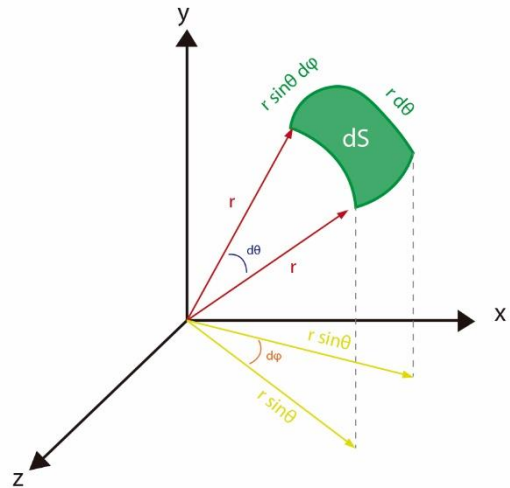
Su expresión matemática es la siguiente:

$$U(\theta, \varphi) = \frac{\langle S(r, \theta, \varphi) \rangle dS}{d\Omega} = r^2 \langle S(r, \theta, \varphi) \rangle$$

Donde:

$$dS = (r \sin\theta \, d\varphi)(r \, d\theta) = r^2 \sin\theta \, d\theta \, d\varphi$$

$$d\Omega = \frac{dS}{r^2} = \frac{r^2 \sin\theta \, d\theta \, d\varphi}{r^2} = \sin\theta \, d\theta \, d\varphi$$



**Figura 2-14:** Representación del diferencial de ángulo sólido

$\langle S \rangle$  es el módulo del vector de Poynting, que representa la densidad de flujo de energía electromagnética y que se define a partir de los campos eléctrico ( $E$ ) y magnético ( $H$ ):

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

La intensidad de radiación de una fuente isotrópica es constante en el espacio, con un valor  $U_0$ . Entonces:

$$P = \oiint_{d\Omega} U_0 d\Omega = U_0 \oiint_{d\Omega} d\Omega = 4\pi U_0$$

Despejando  $U_0$ :

$$U_0 = \frac{P}{4\pi}$$

#### 2.7.4.2 Directividad

La directividad se define como la relación entre la intensidad de radiación una dirección concreta y la intensidad de una antena isotrópica que radia con la misma potencia. Al igual que en el anterior apartado, esta estará definida en términos de campo lejano.

$$D(\theta, \varphi) = \frac{U(\theta, \varphi)}{U_0} = \frac{4\pi U(\theta, \varphi)}{P}$$

Comúnmente es utilizado el valor máximo de directividad de una antena.

$$D_{max} = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P}$$

### 2.7.4.3 Ganancia

La ganancia de una antena se define como el cociente entre la intensidad de radiación en una dirección determinada y la intensidad de radiación de una antena isotrópica que aceptara la misma potencia de entrada ( $P_{in}$ ) que la antena bajo estudio.

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{in}}$$

Al igual que se indicó en el apartado 2.7.4.2, comúnmente es utilizada la directividad máxima por lo que se obtendría:

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{U_{max}}{P_{in}}$$

Típicamente la ganancia se mide en decibelios isotrópicos (dBi). Esto es:

$$G_{dBi} = 10 \cdot \log(G) = 10 \cdot \log \left[ \frac{4\pi U(\theta, \varphi)}{P_{in}} \right]$$

O en caso de tomar la directividad máxima:

$$G_{dBi} = 10 \cdot \log(G) = 10 \cdot \log \left[ \frac{4\pi U_{max}}{P_{in}} \right]$$

### 2.7.5 Eficiencia

Para medir el rendimiento de radiación de una antena, se utiliza el cálculo de la eficiencia. Esta se define como la relación entre la potencia radiada ( $P$ ) y la potencia de entrada de la antena ( $P_{in}$ ):

$$\eta = \frac{P}{P_{in}}$$

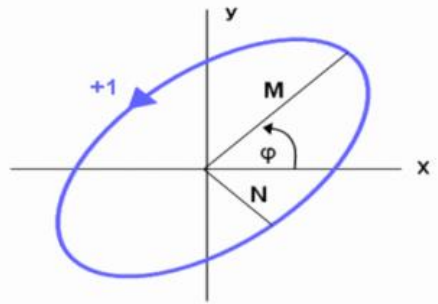
La eficiencia nos permite relacionar directamente la directividad con la ganancia:

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{in}} = \eta \cdot \left[ 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P} \right] = \eta \cdot \frac{U(\theta, \varphi)}{U_0} = \eta \cdot D(\theta, \varphi)$$

### 2.7.6 Polarización

La polarización de una antena es la polarización de la onda radiada por la antena cuando esta transmite. La polarización de una onda es la figura geométrica determinada por el extremo

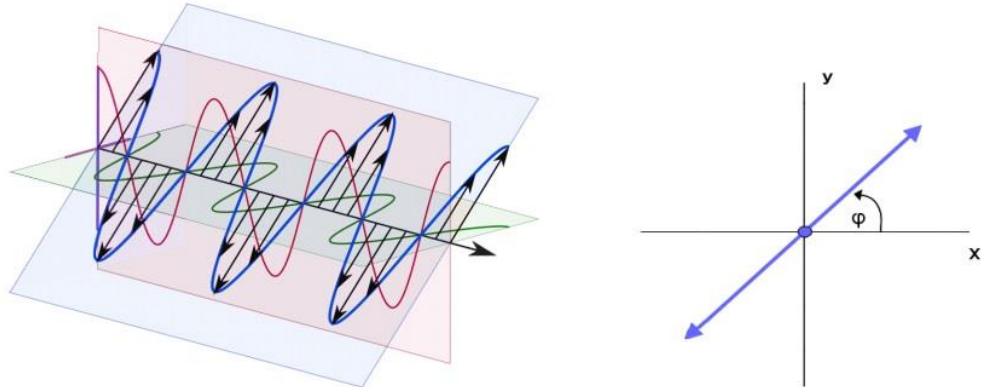
del vector que representa al campo eléctrico en función del tiempo, en una posición dada. Para ondas con variación sinusoidal dicha figura es en general una elipse.



**Figura 2-15:** Elipse de polarización

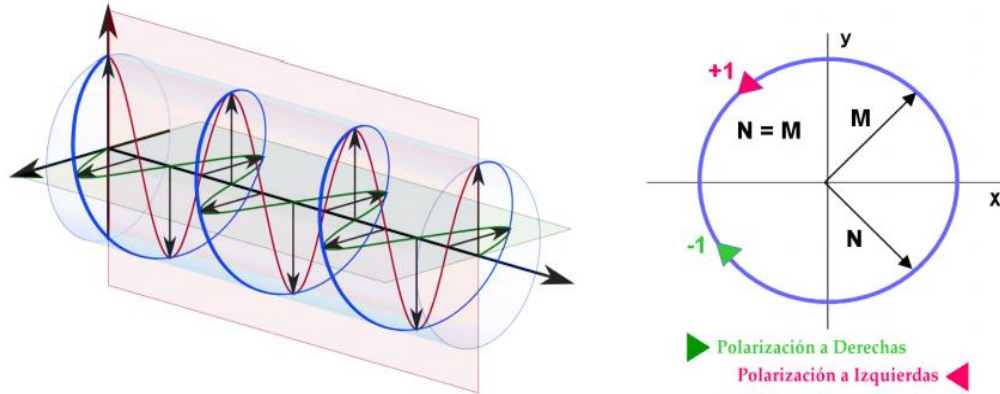
No obstante, hay una serie de casos particulares:

- Polarización lineal: La figura trazada sobre el plano perpendicular a la dirección de propagación es un segmento. Esto es debido a que las componentes  $x$  e  $y$  del campo eléctrico están en fase o en contrafase. Esta puede ser vertical u horizontal dependiendo del eje en el que esté el segmento.



**Figura 2-16:** Polarización lineal

- Polarización circular: En este caso, la figura geométrica trazada en el plano perpendicular a la dirección de propagación es un círculo. En este caso, las componentes del campo eléctrico poseen igual amplitud y desfasadas  $90^\circ$ . En función del sentido de rotación, existen dos tipos: RHCP (Right Hand Circularly Polarized) cuyo sentido es horario y LHCP (Left Hand Circularly Polarized) con sentido anti horario.



**Figura 2-17:** Polarización circular

Para poder conocer el tipo de polarización desde un punto de vista matemático, existe una propiedad denominada Relación axial o “Axial Ratio” ( $AR$ ) que se define como el cociente entre los ejes mayor y menor de la elipse de polarización:

$$AR = \frac{M}{N}$$

Dependiendo del valor de  $AR$ , que varía entre  $1 \leq AR \leq \infty$ , se obtiene el tipo de polarización:

- Si  $AR = \infty \rightarrow$  Polarización lineal.
- Si  $AR = 1 \rightarrow$  Polarización circular.
- Para  $1 < AR < \infty \rightarrow$  Polarización elíptica.

Para determinar si una antena está bien polarizada, se pueden representar dos diagramas: copolar y contrapolar. El diagrama copolar se trata de un diagrama de radiación con la polarización deseado, mientras que el diagrama contrapolar se trata del diagrama de radiación con la polarización contraria a la deseada. Un ejemplo es que cuando escogemos como diagrama copolar un diagrama de radiación con polarización vertical, el diagrama contrapolar mostrará el diagrama de radiación con polarización horizontal.



## 3 Estructura de la Aplicación

---

### 3.1 Introducción

La razón de ser de esta aplicación es el postprocesado de los datos obtenidos, principalmente en la cámara anecoica de la EPS para la representación de diagramas de radiación medidos. Pero además entre otras funcionalidades, es posible la carga de archivos simulados de otras fuentes como de los resultados de la simulación en el software CST Microwave Studio para la representación de diagramas de radiación simulados, parámetros S, ganancia o eficiencia. Gracias a esto, se puede hacer un estudio comparativo de ambos resultados, proporcionando una utilidad no solo a nivel de representación de archivos, sino también de investigación.

Además, esta aplicación sirve como punto de partida, dando la posibilidad a futuras mejoras en la funcionalidad o incluso al desarrollo de nuevas aplicaciones basadas en ella. En el apéndice B se puede ver un resumen de la evolución de la interfaz, tanto en diseño como en funcionalidades.

Desde el principio se concibió la idea de realizarlo con programación orientada a objetos. Esto proporcionaba una facilidad estructural mucho más acusada que con una programación de tipo estructurado. Esta sencillez residía en la utilización de solo tres objetos principales, que se relacionaban de manera jerárquica, y que cada uno de ellos controlara algún aspecto principal de la aplicación. De esta manera, con un objeto llamado “Controller” se controlaban otros dos objetos principales, “Presenter” y “Object” que a su vez manejaban la parte gráfica y la de datos respectivamente (esto se explica mejor en la sección 3.2). Esta estructura piramidal daba como resultado una aplicación más modular, fácilmente entendible y con una mejor proyección para ser modificada en el futuro.

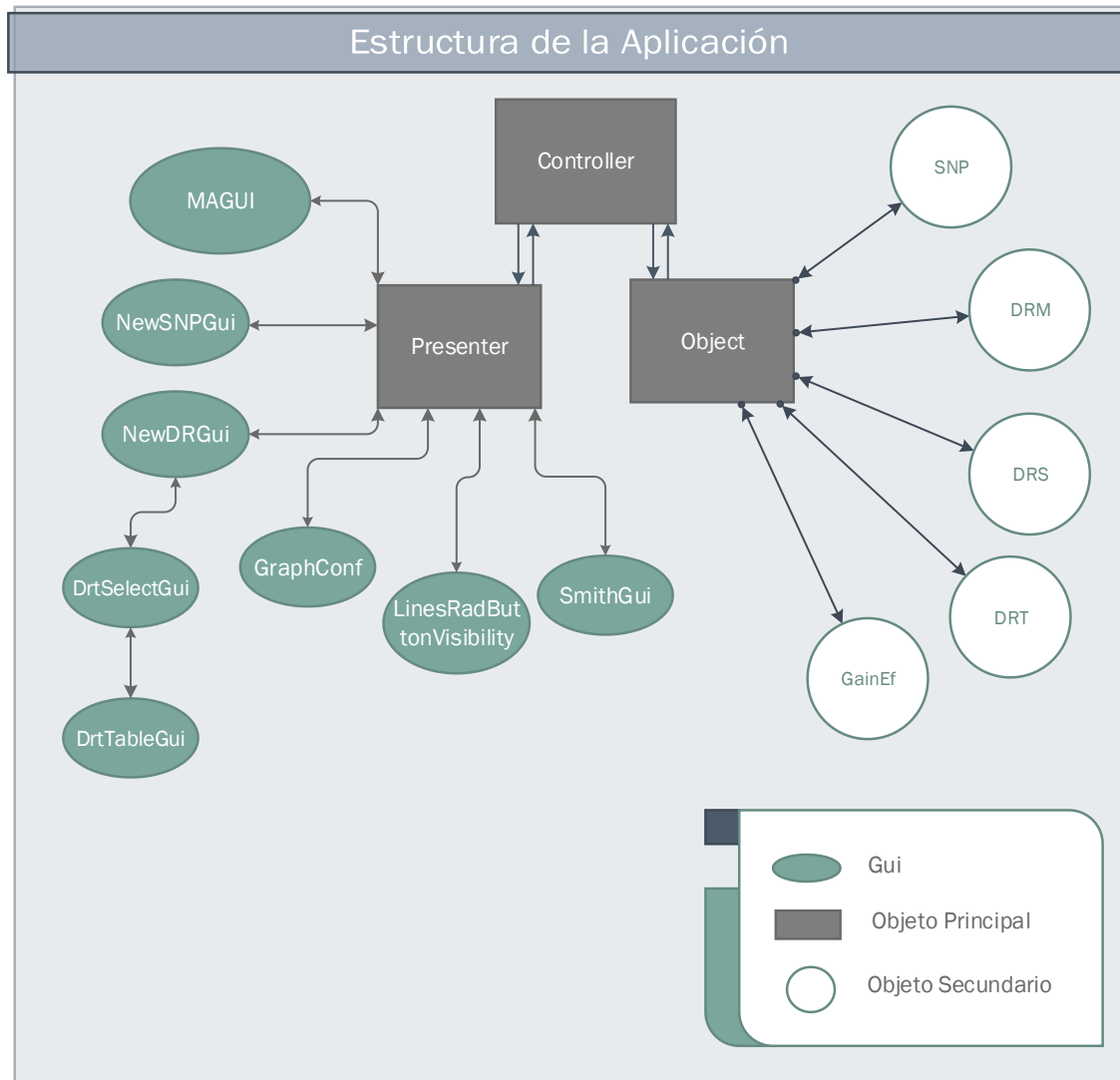
La aplicación está programada íntegramente en Matlab. Las razones de esto fueron varias:

- Conocimiento previo del alumno y autor del lenguaje y de la herramienta, pudiendo incrementar la complejidad del código.
- Matlab proporciona una gran flexibilidad a la hora de crear interfaces de usuario.
- Además, proporciona una gran cantidad funciones nativas que ayuda al cálculo de ciertas propiedades. Entre ellas, la carta de Smith, parámetros S...
- Gran control sobre las propiedades de las gráficas, especialmente útil para la representación de los diferentes archivos.
- Conocimiento de este lenguaje por parte de los alumnos de la ingeniería o grado de Telecomunicación y más en concreto del grupo RFCAS. Esto es especialmente útil para la gestión de la aplicación, así como para una posible mejora en el futuro.

Pese a lo descrito, el autor es consciente de que existen lenguajes de programación que proporcionan mayor control a nivel de optimización computacional, pero debido al bajo volumen de datos manejado (se trabaja principalmente con texto plano), no se ha considerado como una necesidad prioritaria. Además, en todo momento se pensó en esta aplicación como una utilidad dirigida al grupo RFCAS, por lo que era necesario que pudiera ser gestionada por cualquier miembro de este (tal y como se explica en uno de los puntos más arriba).

### 3.2 Estructura general del código

En esta sección se explicará la estructura propuesta por el autor para el desarrollo de la aplicación objeto de este PFC. En la siguiente figura se muestran los bloques que forman el esqueleto de la aplicación, además de la interdependencia entre ellos.



**Figura 3-1:** Estructura de la aplicación.

A nivel de programación se ha seguido una estructura piramidal en la que el objeto principal "Controller" se posiciona en la cúspide, sirviendo de elemento organizador de los otros dos objetos principales. Este realiza la comunicación entre el "Presenter" y el "Object" encargados de controlar, en última instancia los elementos gráficos y de datos respectivamente.

Siguiendo el modelo de la figura 3-1, podemos distinguir entre tres tipos de elementos: Objetos principales, Objetos secundarios y GUIs.



Como se explicaba antes, los Objetos Principales son la “espina dorsal” de la aplicación. Con el “Controller” a la cabeza, cada uno se encarga de gestionar diferentes tipos de datos, haciendo la lógica más ordenada y fácil de programar:

- El **Controller** es el nexo de unión entre todos, es el “cerebro” que se encarga de gestionar y distribuir los datos entre los otros dos Objetos Principales.
- El **Presenter**, se encarga de la lógica para controlar las Interfaces de usuario así como la gestión de los datos recogidas en ellas.
- Por último, el Objeto **Object** es el encargado de administrar la información almacenada en los Objetos Secundarios.

La GUI (Graphical User Interface) es el elemento visual que sirve de nexo entre el usuario y la lógica del programa. Es lo que en programación Web se conoce como Front-End. Gestiona los controles para que el usuario interactúe y esto genera una llamada a la lógica de esta que desencadena una serie de acciones dentro de la aplicación. Como se comentaba en el punto anterior, todas las GUIs interactúan directamente con el Objeto principal Presenter, que se encarga de gestionar las acciones necesarias en cada caso.

En cuanto a los Objetos Secundarios, son objetos que almacenan en sus propiedades, toda la información obtenida de los archivos de datos, (Diagramas de radiación, parámetros S...). Estos poseen una serie de métodos encargados de la obtención y filtrado de los datos de los archivos, así como otras operaciones.

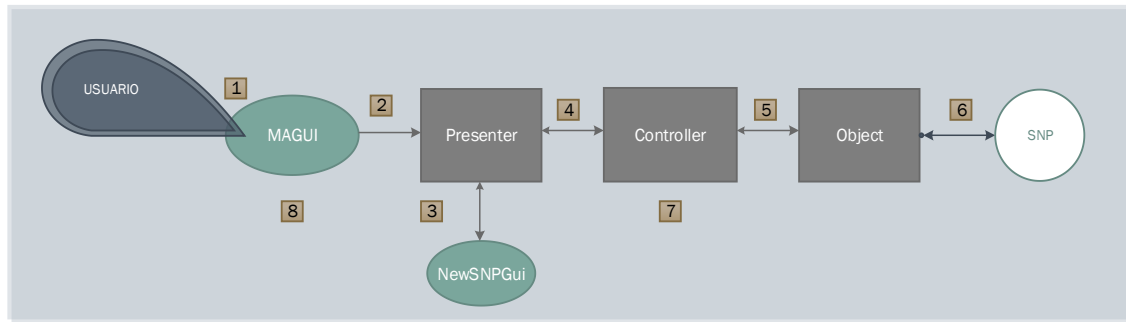
### ***3.3 Flujos de acciones y la interoperabilidad entre objetos***

En esta sección se mostrará la interacción entre los diferentes objetos al realizar las acciones más comunes dentro de la aplicación. Esto ayudará al lector a entender cómo funciona la estructura interna de la aplicación.

Para evitar una excesiva complejidad en la explicación, que está fuera de las intenciones de este apartado, se realizará un recorrido simplificado por los elementos más destacados, incluyendo métodos, Objetos principales y secundarios y GUI's.

#### **3.3.1 Representación de parámetros S**

Cuando un usuario quiere cargar un archivo de tipo S2P, el flujo de manera esquemática, sería el ilustrado en la figura 3-2.



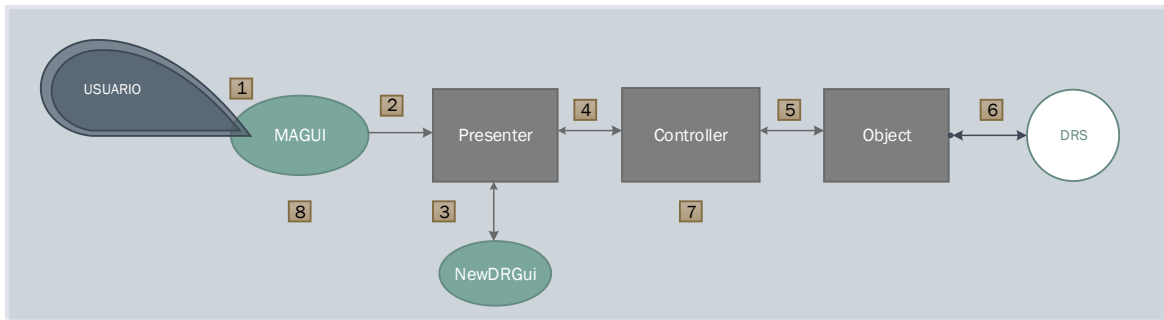
**Figura 3-2:** Esquema con un ejemplo del flujo de trabajo al cargar un archivo S2P

Veamos paso a paso de manera simplificada:

1. En la GUI Principal, MAGUI, el usuario hace click en la opción de nuevo archivo SNP.
2. MAGUI llama al método del Objeto Principal Presenter (a partir de ahora Presenter) encargada de mostrar la interfaz llamada “NewSNPGui”, encargada de la representación de archivos SNP.
3. En “NewSNPGui” el usuario nuevamente seleccionará diversas propiedades para la representación de los parámetros S.
4. Cuando se termina de seleccionar las opciones para representar los parámetros S, “NewSNPGui” llama a otro método del Presenter que se encarga, a su vez, de lanzar un evento para que el Objeto Principal Controller (a partir de ahora Controller) llame al método correspondiente para cargar el archivo. A partir de este momento, el Controller irá llamando a otros métodos de los otros dos objetos principales para ir construyendo la instancia.
5. El Controller llama a un método del Objeto Principal Object (a partir de ahora Object) para que gestione la lectura del archivo S2P así como la construcción del objeto secundario (en este caso de tipo SNP).
6. El Object llama a los métodos del Objeto Secundario SNP que se encargan de leer el archivo, guardar y ordenar la información en sus propiedades, de tal manera que luego sea fácilmente accesible.
7. Como se indicaba en el punto 4, el Controller hace una sucesión de llamadas a los métodos de los otros dos objetos principales para ir construyendo la instancia. La representación de diferentes elementos como la gráfica, paneles y demás será gestionado por el Presenter. El acceso y modificación de los datos de la instancia, será controlado por el Object.
8. Por último, los resultados son mostrados en MAGUI.

### 3.3.2 Representación de un diagrama de radiación Simulado

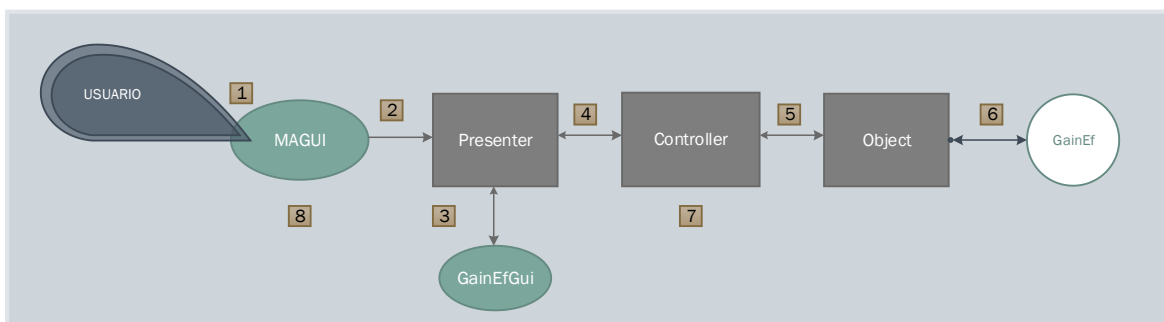
La representación de un diagrama de radiación a nivel estructural no se diferencia apenas de lo visto en la sección 3.3.1, por ello, seguirá los mismos pasos descritos en esta salvo por la interfaz llamada los pasos 2 y 3. En este caso se llama a la interfaz “NewDRGui” que controla las opciones de representación dentro de los diagramas de radiación. Por otro lado, el objeto secundario creado será de tipo DR, pudiendo ser: DRM (diagrama de radiación medido), DRS (diagrama de radiación simulado) y DRT (diagrama de radiación teórico).



**Figura 3-3:** Esquema con un ejemplo del flujo de trabajo al cargar un archivo de diagrama de radiación simulado.

### 3.3.3 Representación de Ganancia o Eficiencia

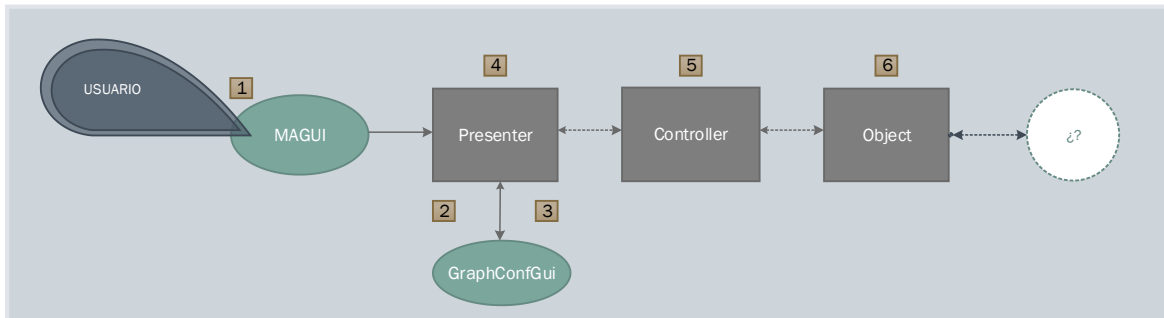
Al igual que las dos últimas secciones, la representación de ganancia o eficiencia sigue siendo muy similar (siempre hablando desde un punto de vista estructural). Las únicas diferencias radican en la interfaz que controla las opciones, en este caso “GainEfGui” y al objeto secundario creado para tal fin, que en este caso es de tipo “GainEf”.




**Figura 3-4:** Esquema con un ejemplo del flujo de trabajo al representar ganancia o eficiencia

### 3.3.4 Modificación de una propiedad gráfica

En este caso, veremos la respuesta a nivel simplificada de la aplicación cuando se llama a la interfaz gráfica “GraphConfGui” que permite al usuario modificar alguna de las propiedades gráficas del área gráfica en MAGUI.



**Figura 3-5:** Esquema con un ejemplo del flujo de trabajo al modificar alguna propiedad gráfica

1. En primer lugar, el usuario presiona el botón de configuración  en la interfaz MAGUI. Esta recibirá el callback de la acción y llamará al objeto principal “Presenter”.
2. En el “Presenter”, el método que llamará al constructor de la interfaz “GraphConfGui” almacena los handles de esta. La interfaz se muestra y permanece a la espera.
3. Cuando el usuario modifica alguna de las propiedades, se llama al método que modifique esta propiedad en el “Presenter”.
4. El método del “Presenter” involucrado, realiza las acciones necesarias y, salvo excepciones, el resultado se muestra en el área gráfica de MAGUI. En caso de haberse modificado propiedades relacionadas con los markers, el presenter lanza un evento al “Controller”. Esto es debido a que la modificación de estas propiedades necesita del objeto principal “Object” para obtener datos de los objetos secundarios.

En este punto, dependiendo de la propiedad modificada, puede ser necesario almacenar la nueva configuración en la instancia correspondiente. Por ello, el presenter puede lanzar un evento al “Controller” para que este gestione el almacenamiento. Por ello, si las propiedades modificadas corresponden a las de la línea de una instancia, entonces el flujo seguiría así:

5. El “Presenter” lanza el evento al “Controller” con las propiedades modificadas y la instancia modificada. En ese momento, el “Controller” llama al “Object” para que este modifique los datos de la estructura “LineProp” de la instancia correspondiente.
6. Con los datos recibidos del “Controller”, el “Object” modifica la estructura “LineProp” de la instancia correspondiente a la modificación. Esta estructura contiene las características más importantes de la línea como color, tipo, ancho...

Tras esto, el flujo termina y la interfaz “GraphConfGui” sigue a la espera de otra interacción.

### 3.4 Controller

Como indicamos en la introducción el Controller se encargaba de nexo de unión entre los otros dos objetos principales, Presenter y Object.

Su cometido principal se resumen en:

- Nexo entre el Presenter y Object para la lectura de archivos.
- Construcción de instancias a partir de los métodos de ambos objetos. La parte gráfica será gestionada por el Presenter, la parte de datos, por el Object.
- La ejecución de algunas acciones gráficas que necesitan de acceso a datos de la instancia (carta de Smith, gestión de los Markers, etc...)

### 3.5 Presenter

El Presenter es el encargado de toda la gestión de las Interfaces gráficas o GUIs. También de la interconexión entre ellas. De entre las GUIs manejadas por el Presenter, MAGUI es la principal. Sus funciones básicas son las siguientes:

- Creación de las GUIs.
- Modificación de las propiedades de los elementos gráficos como paneles, gráficas, botones, etc...
- Encargado de la lógica tras un callback provocado por la acción de un usuario en alguna interfaz.

### 3.6 Object

Se encarga de la gestión de los objetos secundarios (Diagrama de radiación, archivos SNP, Ganancia y Eficiencia). Sus funciones básicas son:

- Creación de los objetos secundarios.
- Lógica para la modificación de las propiedades de los objetos secundarios.
- Lógica intermedia entre el Controller y los objetos secundarios.

### 3.7 Propiedades de los Objetos Principales

Los objetos principales tienen diferentes propiedades que servirán de “hilo conductor” entre los diferentes métodos. Aquí se muestran de manera esquemática para ayudar al lector en la comprensión de los siguientes apartados:

- **Controller:** Contendrá a los dos objetos principales llamados *MG* (de tipo Presenter) y *MR* (de tipo Object).

- **Presenter:** En el objeto Presenter podemos distinguir los siguientes elementos:
  - *GuiHandles*: Estructura donde se guardan los handles de todos los controles activos.
  - *Type*: Variable que indica el tipo de instancia que está activa actualmente.
  - *Pol*: El tipo de Polarización de la instancia activa.
  - *lastFileLoaded*: Almacena el tipo de archivo que se ha cargado más recientemente.
  - *ActiveLines*: Cell con las líneas que están activas (visibles en la gráfica).
  - *Err*: Cell con los posibles errores capturados.
  
- **Object:** En este caso, el Object está formado por los objetos secundarios:
  - *DRMH* y *DRMV* : Componentes vertical y horizontal de un diagrama de radiación medido. Puede haber hasta tres instancias de este tipo.
  - *DRS* : Objeto de diagrama de radiación Simulado.
  - *DRT* : Objeto de diagrama de radiación Teórico.
  - *SNP*: Objeto(s) de tipo S2P o S1P. En este caso puede haber hasta cuatro instancias de objetos de tipo SNP.
  - *GainEf* : Objeto que aúna los datos necesarios para el cálculo de ganancia y eficiencia.

### 3.8 Propiedades de los objetos secundarios

Los objetos secundarios, gestionados por el Object, poseen una serie de propiedades que están directamente relacionadas con los tipos de datos obtenidos de los ficheros. Además, gracias a los métodos de cada uno de estos objetos, a partir de las propiedades más básicas se pueden obtener otras que serán de especial importancia a la hora de representar estos tipos de archivos. A continuación se detallan todas las propiedades que se pueden encontrar en estos objetos:

- **DRMH y DRMV:** Ambos poseen las mismas propiedades.
  - *DRMVFN*: Nombre del Fichero.
  - *DRMVFP*: Ruta del fichero.
  - *Azi*: Azimut.
  - *S21Mag*: Magnitud del parámetro S21 de la componente Horizontal.
  - *S21Ang*: Fase del parámetro S21 de la componente Horizontal.
  - *Freq*: Frecuencia de la medida.
  - *Elev*: Elevación de la medida.
  - *PCR*: Componente derecha con polarización circular.
  - *PCI*: Componente izquierda con polarización circular.
  - *Copolar*: Componente Copolar.
  - *CopolarFunc*: Componente Copolar completa (datos).
  - *Contrapolar*: Componente Contrapolar.
  - *ContrapolarFunc*: Componente Contrapolar completa (datos).
  - *Norm*: Indica si la componente estará normalizada o no.
  - *NormValue*: Indica a qué valor la componente estará normalizada.
  - *linesProps*: Estructura con propiedades de las líneas.

- **DRS**

- *DRSFN*: Nombre del Fichero.
- *DRSFN*: Ruta del fichero.
- *Theta*: Componente Theta (en grados).
- *Phi*: Componente Phi (en grados)
- *varDeg*: componente que varía.
- *varDegFunc*: componente que varía (datos).
- *AbsGain*: Amplitud de la Ganancia.
- *AbsDir*: Amplitud de la Directividad.
- *AbsTheta*: Amplitud en la componente Theta.
- *PhaseTheta*: Fase en la componente Theta.
- *AbsPhi*: Amplitud en la componente Phi.
- *PhasePhi*: Fase en la componente Phi.
- *AxRatio*: Axial Ratio.
- *PCR*: Componente derecha con polarización circular.
- *PCI*: Componente izquierda con polarización circular.
- *Copolar*: Componente Copolar.
- *CopolarFunc*: Componente Copolar completa (datos).
- *Contrapolar*: Componente Contrapolar.
- *ContrapolarFunc*: Componente Contrapolar completa (datos).
- *Norm*: Indica si la componente estará normalizada o no.
- *NormValue*: Indica a qué valor la componente estará normalizada.
- *linesProps*: Estructura con propiedades de las líneas.

- **DRT**

- *DRTFN*: Nombre del Fichero.
- *DRTFP*: Ruta del fichero.
- *diag\_rad*: diagrama de radiación [dB].
- *diag\_rad\_norm*: Diagrama de radiación normalizado [dB].
- *theta*: Componente Theta (en grados).
- *phase*: Vector con la fase de los diferentes elementos.
- *Freq*: Frecuencia de la medida.
- *Dist*: Vector de distancias entre elementos.
- *N*: Número de elementos del array.
- *linesProps*: Propiedades de Línea.

- **SNP**

- *SFN*: Nombre del fichero (SNPFileName).
- *SPN*: Ruta del fichero (SNPFilePath).
- *Format*: Formato de los datos del fichero original SNP ('ri', 'db' o 'ma').
- *FreqScale*: Factor de escala para pasar el vector de frecuencias (Freqs) a MHz.
- *FreqScaleUnit*: Unidades (Hz, MHz...).
- *Freqs*: Vector de Frecuencias (MHz).
- *Sdata*: Matriz de parámetros S complejos.

- *linesProps*: Estructura con propiedades de las líneas.
  - *rfobj*: Objeto de tipo `data.rfdata` que almacena diferentes datos de los archivos SNP.
- **GainEf**
    - *S21TxCopName*: Nombre del archivo S2P Copolar de la antena.
    - *S21TxCopDir*: Ruta del archivo S2P Copolar de la antena.
    - *S21TxXCopName*: Nombre del archivo S2P Contrapolar de la antena.
    - *S21TxXCopDir*: Ruta del archivo S2P Contrapolar de la antena.
    - *S21RxCopName*: Nombre del archivo S2P Copolar de la bocina.
    - *S21RxCopDir*: Ruta del archivo S2P Copolar de la bocina.
    - *Format*: Formato de los datos del fichero ORIGINAL SNP ('ri', 'db' o 'ma').
    - *FreqScaleUnit*: Unidades (Hz, MHz...). *FreqScaleTxCop*:
    - *FreqScaleTxXCop*: Factor de escala para pasar el vector de frecuencias copolar de la antena a MHz.
    - *FreqScaleRxCop*: Factor de escala para pasar el vector de frecuencias de la bocina a MHz.
    - *FreqTxCop*: Vector de Frecuencias de la componente copolar de la antena.
    - *FreqTxXCop*: Vector de Frecuencias de la componente contrapolar de la antena.
    - *FreqRxCop*: Vector de Frecuencias de la bocina.
    - *S21TxCop*: Parámetro S21 de la componente copolar de la antena.
    - *S21TxXCop*: Parámetro S21 de la componente contrapolar de la antena.
    - *S21RxCop*: Parámetro S21 de la bocina.
    - *CircTxSelected*: Parámetro S21 transformado a polarización circular de la antena.
    - *CircRxSelected*: Parámetro S21 transformado a polarización circular de la bocina.
    - *GTx*: Resultado del cálculo de la ganancia.
    - *DS*: Vector de Directividad simulada.
    - *DSXvector*: Componente
    - *DSUnit*
    - *GS*: Vector de ganancia simulada.
    - *GSXvector*
    - *GSUnit*
    - *ef*: Vector con el resultado del cálculo de la eficiencia.
    - *rfobjectCop*: Objeto de tipo `data.rfdata` que almacena diferentes datos de los archivos SNP.
    - *vectorsFinal*: Estructura con los vectores ya
    - *linesProps*: Estructura con propiedades de las líneas.

### **3.9 Métodos de los objetos Principales y secundarios**

Debido a su extensión se ha realizado un apéndice que contiene todos los métodos de cada objeto principal y secundario. Este puede encontrarse en el Apéndice A.



# 4 Manual de Usuario

## 4.1 Introducción

¿Cómo funciona la aplicación?, ¿Qué acciones nos permite realizar? En las siguientes secciones se desarrollará un clásico manual de usuario para conocer a fondo las características y particularidades que ofrece la aplicación.

Se tomará como punto de partida la GUI principal MAGUI y posteriormente se irán recorriendo las otras interfaces gráficas enumerando sus características. Además, se añadirán casos prácticos de la mayor parte de las acciones que el usuario podrá realizar en forma de ejemplos.

Por otro lado, y de manera sistemática, se intentará no caer en tecnicismos innecesarios de tal manera que permita un mejor entendimiento para un mayor número de personas.

## 4.2 MAGUI

Como ya se ha indicado en algunos de los puntos anteriores, MAGUI es la GUI (Graphical User Interface) principal. Cuando se ejecuta la aplicación, es la primera toma de contacto con el usuario y desde ella se podrán llamar a otras GUIs así como se podrá interactuar con los controles.

Después de inicializar la aplicación, aparecerá MAGUI con la siguiente configuración:

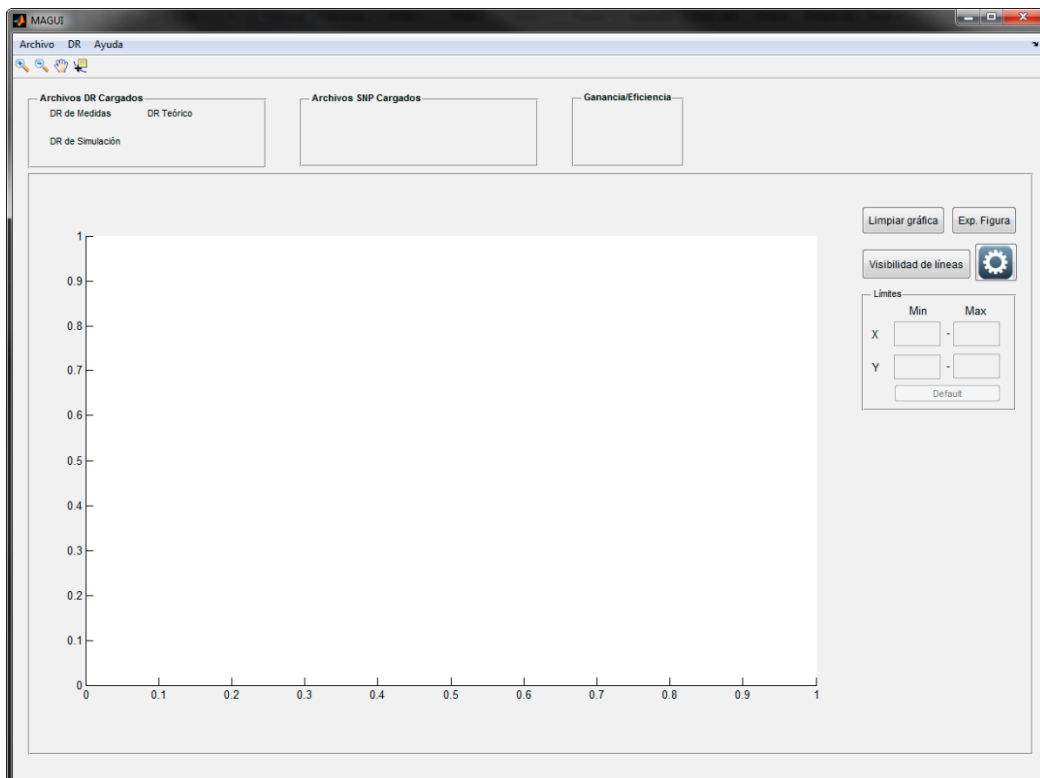


Figura 4-1: MAGUI tras inicializar la aplicación

Esta es redimensionable y se podrá ajustar al tamaño que el usuario considere oportuno. No obstante, a partir de cierta resolución, pueden aparecer errores de visualización. Por ello es recomendable no trabajar con resoluciones inferiores a 1200x800 píxeles.

Dentro de esta podemos diferenciar varias áreas de trabajo que se resumen en la siguiente imagen:




**Figura 4-2:** Áreas de trabajo de la interfaz MAGUI

En primer lugar, en el área gráfica se mostrarán las gráficas correspondientes a los archivos cargados. Consta de los típicos ejes XY.

Los paneles de instancias, localizados en la parte superior de la ventana se dividen en tres paneles, uno para cada tipo de instancia. Dentro de cada panel, y una vez cargado un tipo de archivo se generará un checkbox con el título de la instancia. Gracias a este es posible hacer activaciones/desactivaciones rápidas de instancias individuales.

En la derecha del área gráfica se encuentran los configuradores de gráfica. Estos permiten la modificación de algún aspecto en concreto del área gráfica. A grandes rasgos, los más generales, y que servirán sin importar el tipo de instancia, son:

- Configuración general : Este botón llama a otra interfaz gráfica con todas las opciones gráficas de las líneas activas, ejes, leyenda, etc.
- Límites: En estos cuadros se puede introducir manualmente los límites de los ejes XY para enfocar un área específica.
- Limpiar gráfica: Desaparecen todas las líneas activas del área gráfica. También desactiva las instancias en los paneles de instancias. Siempre se puede volver a recuperar las gráficas volviendo a activar las instancias.

- **Exportar Figura:** Esta funcionalidad permite copiar las líneas activas, así como sus configuraciones gráficas a una figura independiente. Esto permite utilizar las herramientas de Matlab específicas.
- **Visibilidad de Líneas:** Permite controlar la visibilidad de las líneas de las instancias activas. Por ejemplo, si hay una instancia activa de tipo S2P, podríamos visibilizar/invisibilizar cada una de las componentes de manera independiente (S11, S12, S21 o S22).

Existen otros paneles que son específicos solo a un determinado tipo de instancia. Estos paneles se describirán en profundidad más adelante.

Debajo del menú contextual se encuentran los botones de visualización. Estos permiten controlar algunas opciones de visualización del área gráfica como el zoom, pan o cursores.


- 🔍 *Zoom positivo:* Permite la selección de un área más pequeña del área grafica para magnificarlo y obtener más detalles.
- 🔍 *Zoom negativo:* Ejerce la acción contraria que el zoom positivo.
- 👉 *Pan:* Permite el libre movimiento en el plano XY del área gráfica.
- 🖱️ *Cursor:* Después de seleccionar este icono, permite situar un cursor en una línea activa, proporcionando las coordenadas dentro de los ejes XY.

Por último, el menú contextual contiene todas las acciones básicas disponibles en MAGUI, además de otras que solo es accesible desde este. Cargar archivos es una de ellas. Se dedica una sección dedicada a esta utilidad más adelante.

## 4.3 GUIs secundarias

En esta sección veremos más en profundidad las otras GUIs a las que tendremos acceso desde MAGUI. Nos centraremos en describir las características generales sin entrar en detalle en posibles flujos de trabajo, que veremos más adelante en profundidad.

### 4.3.1 Propiedades del área gráfica (GraphConfGui)

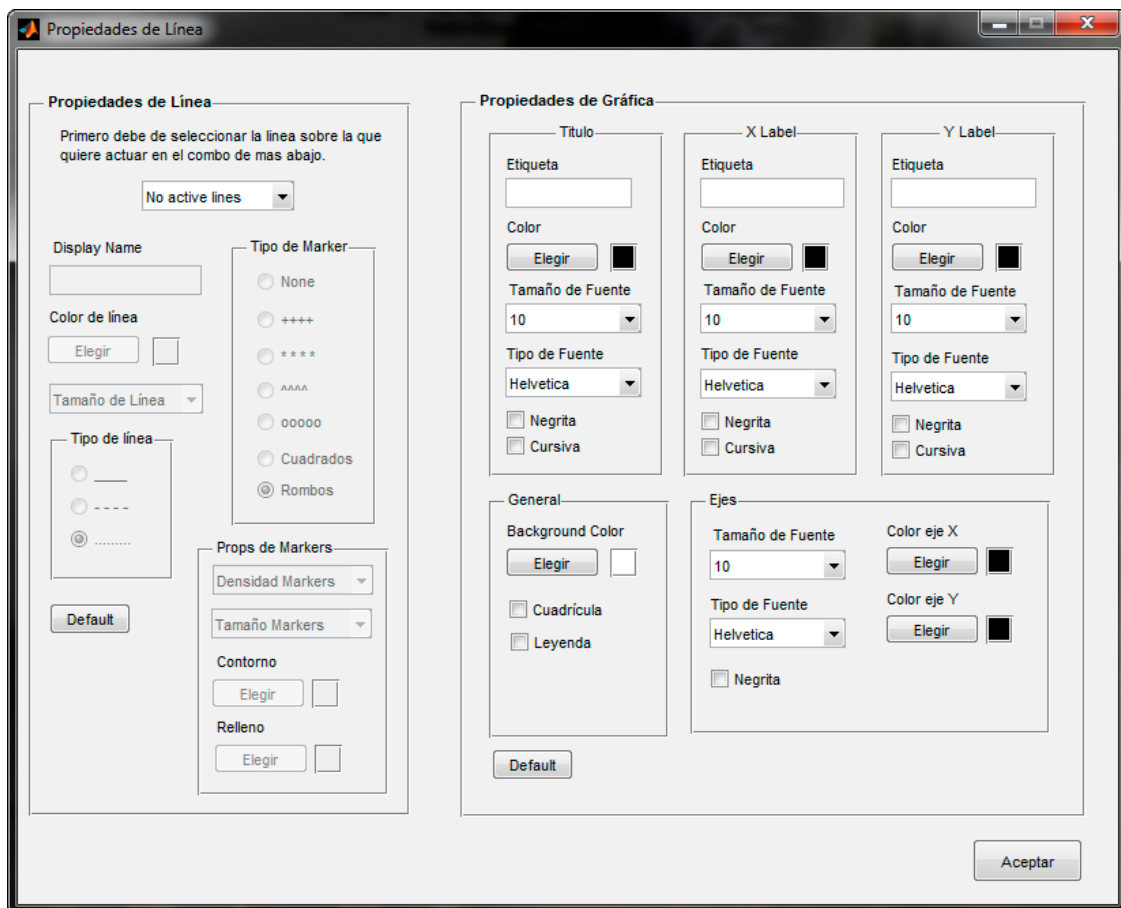
GraphConfGui es una interfaz gráfica que permite la personalización del área gráfica. Se accede desde el botón de propiedades  situado en los paneles de configuración de gráfica. Está dividida en 2 secciones principales: Propiedades de línea y propiedades de gráfica. En el primer caso es posible la modificación de ciertas características propias de una línea en particular, pudiéndose elegir esta desde el combo box en la parte superior.

Las propiedades modificables son:

- *Display Name:* Se trata del nombre que tendrá la línea y que se verá reflejado en la leyenda.
- *Color de Línea:* Permite seleccionar un color de entre una lista para aplicárselo a la línea.
- *Tamaño de línea:* Es el grosor de la línea. Solo podrá seleccionarse un valor de entre un rango específico.
- *Tipo de línea:* Se podrá asignar uno de los 3 valores predefinidos en el panel:
  - Línea continua

- Línea discontinua
- Línea de puntos
- *Tipo de Marker*: Los markers son indicadores visuales de los puntos en que ha sido representada la gráfica. Se puede elegir entre seis tipos de markers, además de la opción de desactivarlo.
- *Propiedades de Markers*: Además de lo indicado en el punto anterior, el usuario puede modificar las propiedades del propio marker
  - *Densidad de markers*: permite variar la cantidad de markers representados. Se puede elegir dentro de un rango de valores expresados en porcentajes.
  - *Tamaño de marker*: El usuario puede variar el tamaño del marker de entre un rango predefinido de valores.
  - *Contorno*: Es el color que se le aplicaría al contorno del marker.
  - *Relleno*: Permite seleccionar un color para el relleno del marker.

Por último, dentro de este panel, es posible volver a las propiedades de la línea por defecto mediante el botón “Default” situado en la parte inferior izquierda del panel.



**Figura 4-3:** GraphConfGui

El panel de propiedades de Gráfica está subdividido en cinco paneles: Título, X Label, Y Label, Ejes y General. Los tres primeros paneles tienen propiedades idénticas que permiten personalizar el aspecto del texto alojado en el título, en la etiqueta del eje x y en la etiqueta del eje y, respectivamente.

Las propiedades son las siguientes:

- *Etiqueta*: Hace referencia al texto que se mostrará en el apartado correspondiente.
- *Color*: Permite modificar el color del texto.
- *Tamaño de fuente*: Dentro de un rango específico de valores el usuario puede variar el tamaño de la letra del texto.
- *Tipo de fuente*: Es posible seleccionar un tipo de fuente específico de entre un listado de las fuentes más comunes.
- *Negrita y cursiva*: Permite cambiar el texto a negrita y/o a cursiva.

El panel de Ejes contiene una serie de propiedades que permite al usuario modificar el aspecto de los ejes del área gráfica. Las propiedades disponibles son las siguientes:

- *Tamaño de fuente*: Varía el tamaño de los valores mostrados en los ejes. Se cambia tanto para los valores del eje x, como los del y.
- *Tipo de fuente*: Cambia el tipo de la fuente de los valores mostrados en los ejes x e y por igual.
- *Color eje X*: Permite cambiar el color de los valores del eje x. Además, si la cuadrícula está activada, también modifica el color de esta en su componente x.
- *Color eje Y*: Mismo comportamiento que el punto anterior pero para el eje Y.
- *Negrita*: Transforma los valores de los eje x e y en negrita.

Por último, en el panel General, el usuario puede modificar propiedades que no están directamente relacionadas con los paneles anteriores. Estas son:

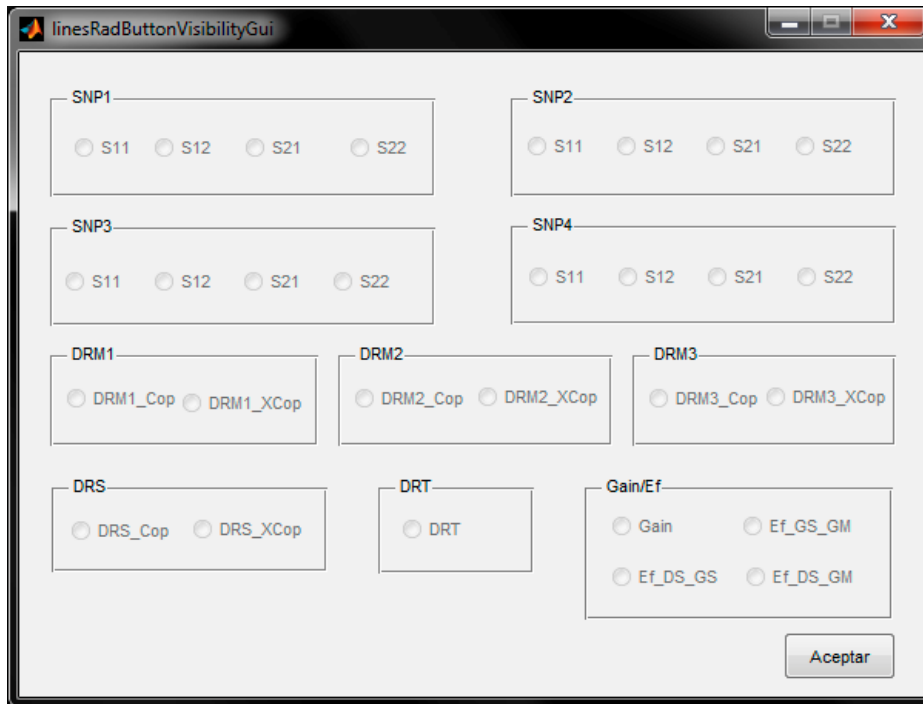
- *Background Color*: Modifica el color del fondo de la gráfica.
- *Cuadrícula*: Activa la cuadrícula en ambos ejes.
- *Leyenda*: Muestra la leyenda para las líneas activas.

Al igual que en el panel de propiedades de línea, el panel de propiedades de gráfica tiene un botón “Default” para devolver todos los valores a su valor por defecto.

### **4.3.2 Visibilidad de líneas de instancias (LinesRadButtonVisibilityGui)**

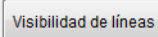
LinesRadButtonVisibilityGui es una interfaz gráfica que engloba todas las posibles instancias a representar por el usuario. Las muestra en paneles separados con una cantidad de radio buttons igual al número posible de gráficas que una instancia pueda tener. Por ejemplo, en el caso de una instancia de diagrama de radiación medido solo tendría una gráfica posible, mientras que un archivo S2P podrá representar hasta cuatro (S11, S12...). Estos radiobuttons se activarán solo cuando la instancia correspondiente esté activa y permitirán controlar la visibilidad de cada línea.

Además, su respuesta ante cambios en la activación o desactivación de alguna instancia es dinámica, es decir que aunque se mantenga abierto y se realice algún cambio en los paneles de instancias en MAGUI, esta se actualizará sin necesidad de cerrarla y volverla a abrir.



**Figura 4-4:** linesRadButtonVisibilityGui

Se accede desde el botón de Visibilidad de línea situado en el panel de configuradores de gráfica de la interfaz principal MAGUI.



### 4.3.3 Representación de diagramas de radiación (NewDRGui)

NewDRGui es la primera de las tres interfaces que se utilizarán para cargar y representar los diferentes tipos de archivos compatibles. En este caso, NewDRGui se centra en la representación de los diferentes tipos de diagramas de radiación (medido, simulado y/o teórico).



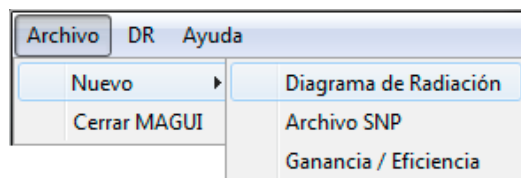
**Figura 4-5:** New DRGui

Se estructura principalmente en cuatro secciones:

- *Título*: Es obligatoria la inclusión de un título en todas las instancias (salvo en la ganancia y eficiencia). Esto se debe a dos razones principalmente, la primera es la necesidad de la propia lógica de la aplicación de poder diferenciar de entre las demás líneas. Este método se ha heredado de las instancias SNP debido a la múltiple instanciación de estas. La segunda razón es la de que el usuario pueda darle un toque distintivo y poder organizar mejor su trabajo. Este título aparecerá junto al checkbox en el panel de instancias correspondiente.
- *Tipo de archivo*: Aquí el usuario podrá seleccionar el tipo de archivo que quiere cargar.
- *Tipo de polarización*: En función del tipo de archivo seleccionado, el usuario tendrá que elegir el tipo de polarización que se utilizará a la hora de representar la gráfica. Las opciones disponibles son: Polarización Lineal y Polarización Circular. En caso de haber seleccionado el tipo de archivo “diagrama de radiación Teórico”, el panel de Tipo de polarización permanecerá inactivo debido a que la propia naturaleza de los diagramas de radiación teóricos no precisa de esta distinción.
- *Normalización*: Este pequeño checkbox permite al usuario elegir si el diagrama de radiación se representará normalizado o no. Esta normalización será en función del valor máximo de la componente copolar.

Cuando todas las propiedades necesarias hayan sido seleccionadas, el botón “Aceptar” se activará y permitirá pasar a la siguiente fase del flujo de trabajo. Esto último se tratará con más detalles más adelante.

Por último, esta interfaz es accesible desde el menú contextual: Archivo → Nuevo → Diagrama de radiación.



**Figura 4-6:** Ruta desde el menú contextual para acceder a la interfaz “NewDRGui”

#### 4.3.4 Representación de archivos SNP (NewSNPGui)

NewSNPGui es la segunda de las interfaces orientada a cargar y representar archivos, en este caso archivos SNP. Debido a que la mayor parte del trabajo realizado en el grupo RFCAS se basa en los archivos S2P e incluso S1P, solo se da soporte a estos tipos de archivo.



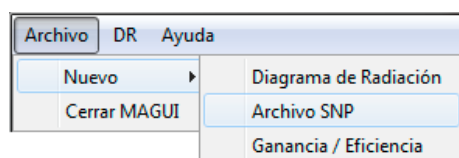
**Figura 4-7:** NewSNPGui

A diferencia de NewDRGui, en esta interfaz podemos encontrar cuatro secciones principales:

- *Título:* También es de carácter obligatorio.
- *Tipo de Archivo:* Como se ha indicado antes, solo se soportan archivos S1P y S2P.
- *Líneas Visibles:* Permite al usuario seleccionar las líneas que serán representadas en primer lugar. Esto no impide que posteriormente se puedan hacer visibles las demás líneas desde la interfaz “LinesRadButtonVisibilityGui”. Existe la posibilidad de seleccionar o deseleccionar todas las opciones en el check box “Todos”. En caso de elegirse un tipo de archivo S1P, se desactivarán las opciones S12, S21 y S22.
- *Carga de archivo:* En este caso, el usuario debe de seleccionar el archivo .s2p o .s1p a ser cargado. A diferencia del caso de NewDRGui, la carga del archivo SNP se hace en segundo plano, mejorando el rendimiento. Una vez cargado el archivo, si ha sido correcto, aparecerá el mensaje “OK” en verde en el lateral derecho del cuadro de texto (donde saldrá representada la ruta del archivo). En caso de haber un error, aparecerá el mensaje “Fail” en rojo.

Cuando se ha configurado las opciones necesarias, al pulsar en el botón “Aceptar” la aplicación representaría las líneas seleccionadas (si las hubiera) en el área gráfica de la interfaz MAGUI.

Al igual que NewDRGui, para acceder a esta interfaz es necesario hacerlo desde el menú contextual de esta manera: Archivo → Nuevo → Archivo SNP



**Figura 4-8:** Ruta desde el menú contextual para acceder a la interfaz “NewSNPGui”



### 4.3.5 Representación de Ganancia y Eficiencia (GainEfGui)

La última de las interfaces que permitirá la representación de un tipo específico de archivo es GainEfGui. En esta interfaz se pueden encontrar dos áreas claramente diferenciadas. Por un lado la sección para el cálculo de ganancia y por el otro, el de la eficiencia.

El usuario podrá calcular la ganancia por separado sin calcular la eficiencia pero no al contrario. Por ello, si se quiere hacer el cálculo de la eficiencia es indispensable el cálculo de la ganancia.

En cuanto a las propiedades configurables, el panel de ganancia posee los siguientes puntos:

- *Polarización*: Establece el tipo de Polarización a utilizar entre Lineal y Circular. En función de una u otra se activará la opción de cargar un segundo archivo S2P de transmisión con la componente contrapolar.
- *Rango de Frecuencia*: Es el rango en el que se va a realizar el cálculo de la ganancia y de la eficiencia (en caso de calcularse). La unidad predeterminada para introducirse los datos es en Ghz.
- *Archivos S2P de Transmisión*: En polarización lineal se podrá cargar únicamente un archivo S2P con la componente copolar. En caso de que el usuario haya elegido un tipo de polarización circular, se deberá cargar también otro archivo S2P con la componente contrapolar.
- *Archivos S2P de Recepción (Bocina)*: En este caso, sin importar si la polarización elegida es lineal o circular, se deberá cargar un solo archivo S2P correspondiente a los parámetros de recepción de la bocina.

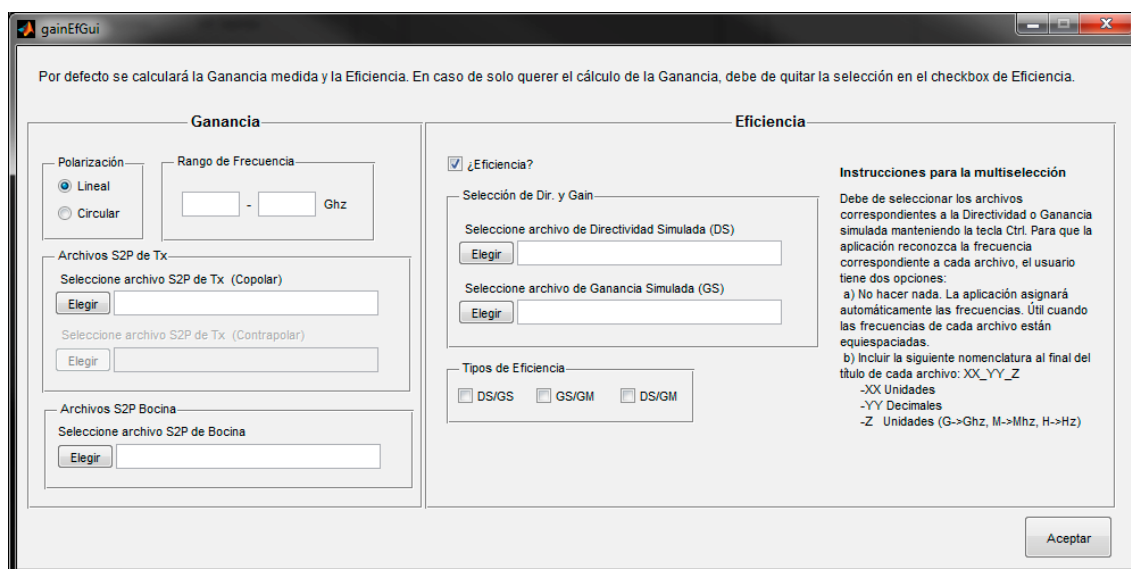


Figura 4-9: GainEfGui

La carga de los archivos S2P se hace en segundo plano para así ganar en rendimiento. En caso de que la carga haya sido fallida, se mostrará un mensaje con la palabra “Fail” en rojo junto al cuadro de texto donde se muestre la ruta del archivo cargado. En caso contrario, se mostrará un mensaje en verde con la palabra “OK”. Si alguno de los archivos muestra el mensaje “Fail”, aunque se pulse el botón “Aceptar”, la aplicación no permitirá pasar al siguiente punto.

El panel de eficiencia podrá activarse o desactivarse en función del checkbox “Eficiencia” situado en la parte superior izquierda de dicho panel. Una vez activo, se presentan las siguientes propiedades:

- *Selección de Directividad y Ganancia:* El usuario debe de seleccionar los archivos de directividad simulada y ganancia simulada para el cálculo de la eficiencia. Cuando se pulse en el botón “Elegir”, se pedirá al usuario que indique el número de archivos que van a ser cargados. La selección de archivos es múltiple de tal manera que se puedan agregar simulaciones a diferentes frecuencias. Al igual que los archivos S2P del panel de ganancia, en estos se aplica unas reglas de control para determinar si el archivo ha sido cargado con éxito o no.
- *Tipo de Eficiencia:* la eficiencia se calculará en base a dos tipos de archivos en tres posibles variantes: Directividad Simulada (DS) vs Ganancia Simulada (GS), Ganancia Simulada vs Ganancia Medida (GM) y por último Directividad Simulada vs Ganancia Medida. La ganancia medida corresponde al valor de ganancia calculado en la misma interfaz.

Una vez se pulse en el botón “Aceptar” la lógica del programa hará los cálculos y acciones necesarias para la representación de la Eficiencia y/o Ganancia.

## **4.4 Representación de archivos.**

En esta sección se ahondará en cada uno de los flujos para la representación de los diferentes tipos de archivos. También se mostrarán ejemplos para el mejor entendimiento de los mismos.

### **4.4.1 Diagrama de Radiación**

Como se ha explicado anteriormente, la aplicación permite la representación de tres tipos de datos: Diagrama de radiación Medido (DRM), Diagrama de radiación Simulado (DRS) y Diagrama de radiación Teórico (DRT). Cada uno posee determinadas características que las hace diferentes en la configuración y el procesado. Es por ello que se tratarán cada una de manera independiente.

Otra característica de estos tipos de instancia es que pueden coexistir dentro del área gráfica, es decir, que es posible tener hasta un máximo de 1 instancia activa de cada tipo, salvo en el caso de los diagramas de radiación medidos, que podrá haber hasta tres instancias. De esta manera es más sencilla la comparación entre ellas. Esto es importante debido a que la aplicación no permitirá la coexistencia entre dos tipos diferentes de archivos (Diagrama de radiación y archivo S2P, por ejemplo).

#### **4.4.1.1 Diagrama de Radiación Medido (DRM)**

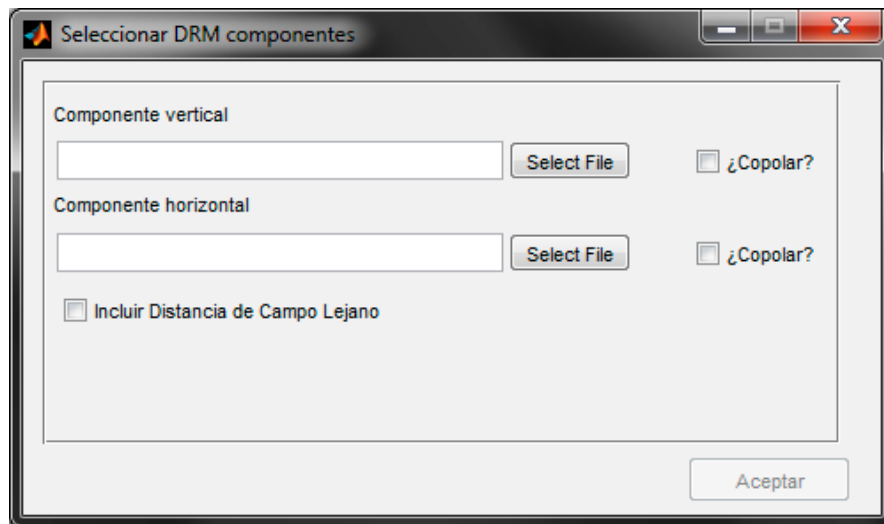
El diagrama de radiación medido contiene la densidad de potencia radiada, generalmente por una antena bajo estudio, en un plano 2D concreto. Este tipo de archivos se sacan en formato de texto plano de la cámara anecoica. Para su posterior representación es necesario acceder a la interfaz gráfica “NewDRGui” (vista en la sección 4.3.3). Se podrán cargar hasta

tres instancias de este tipo y estas podrán ser activadas o no desde el panel de instancias o desde la interfaz “LinesRadButtonVisibilityGui”.

Una vez asignado un título, y el tipo de Archivo a ser representado (DRM en este caso), tal y como se indicó en la sección 4.3.3, hay dos opciones de polarización. El flujo de trabajo será el mismo, pero la forma de procesamiento diferirá.

Por último, el usuario puede definir si la gráfica estará normalizada o no al máximo valor de la componente copolar. En el caso de la componente contrapolar, también estará normalizada al máximo valor de la componente copolar.

Tras pulsar en el botón “Aceptar”, aparecerá una pequeña interfaz en la que el usuario deberá cargar los archivos con las componentes correspondientes a los dos planos (horizontal y vertical). La aplicación discriminará los tipos de archivos a dos: .dat y .txt que serán los más utilizados.

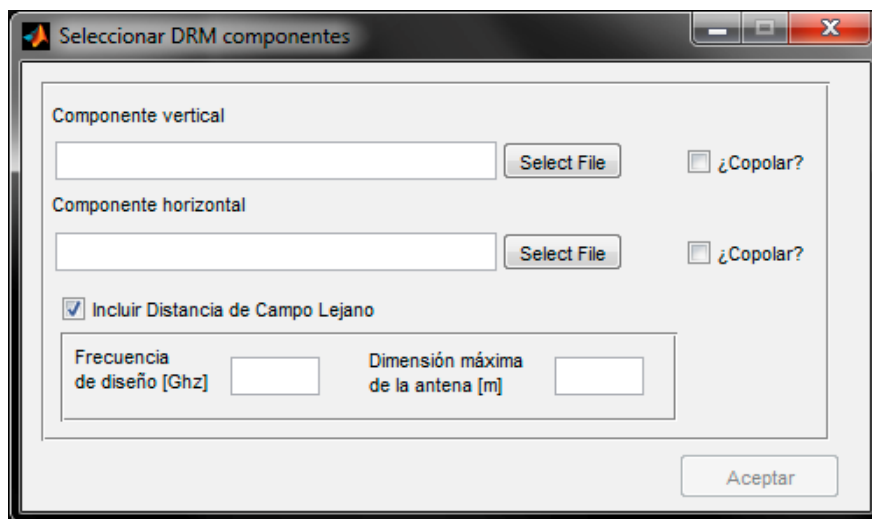


**Figura 4-10:** Interfaz para la selección de las componentes vertical y Horizontal en DRM

Tras seleccionar las dos componentes se deberá seleccionar cuál de las dos es la Copolar mediante los checkbox situados en el lado derecho. Este paso es importante y será el usuario el que decida la componente correcta.

Existe la posibilidad de incluir la distancia de Campo Lejano del diagrama de radiación. Para ello, el usuario deberá hacer click en el checkbox con título “Incluir Distancia de Campo Lejano”. Entonces se desplegarán varios cuadros de texto con las siguientes propiedades:

- *Frecuencia de diseño*, es la frecuencia a la que se ha realizado la medición. Esta deberá indicarse en GHz.
- *Dimensión máxima de la antena*, expresada en metros.



**Figura 4-11:** Propiedades para el cálculo de la distancia de Campo lejano

De esta forma, se realizará el cálculo de la distancia de campo lejano ( $r \geq 2D^2/\lambda$ ), presentado en la Tabla 2-3, donde  $D$  es la dimensión máxima de antena y  $\lambda$  es la longitud de onda de trabajo (o de diseño en este caso). Este cálculo puede resultar muy útil para asegurarse de que la medida en radiación cargada por el usuario ha sido realizada en condiciones de campo lejano. Por otra parte, es necesario destacar que este cálculo no podrá ser realizado a posteriori.

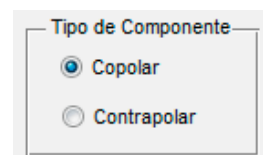
Una vez asignado todo, El botón de “Aceptar” se activará y al pulsar en él comienza el proceso de cálculo y representación en el área Gráfica en la interfaz MAGUI. Las características básicas por defecto de la gráfica son las siguientes:

Atributo	Valor
Color de línea	Aleatorio
Título	“Diagrama de Radiación”
Etiqueta eje X	“[°]”
Etiqueta eje Y	“[dB]”
Tamaño de línea	2
Marker	Ninguno
Tipo de línea	Continua

**Tabla 4-1:** Propiedades de línea de DRM

Otra característica de la representación de los diagramas de radiación es la aparición de un nuevo panel en el Área de configuradores de gráfica de MAGUI llamado “Tipo de Componente”. En él se puede elegir qué componentes serán visibles, Copolar y/o Contrapolar.

En el caso del diagrama de Radiación Medido, cuando se seleccione “Copolar” se mostrará la componente que indicamos como Copolar en la interfaz gráfica de selección de archivos. En caso de seleccionar la componente Contrapolar, se mostrará la contraria.



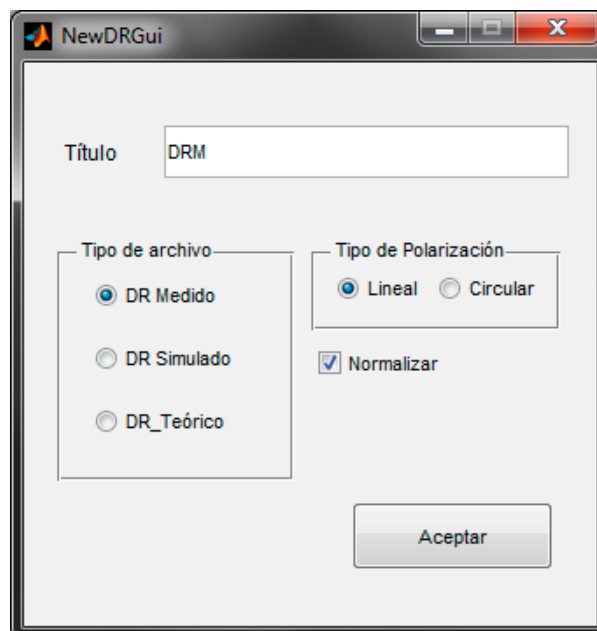
**Figura 4-12:** Panel de tipo de Componente

Por último, en el panel de instancias correspondiente a los diagramas de radiación (“Archivos DR Cargados”) se creará un checkbox en la sección de “DR de Medidas” con el título asignado previamente a la instancia. El checkbox aparecerá activado por defecto.

### **EJEMPLO:**

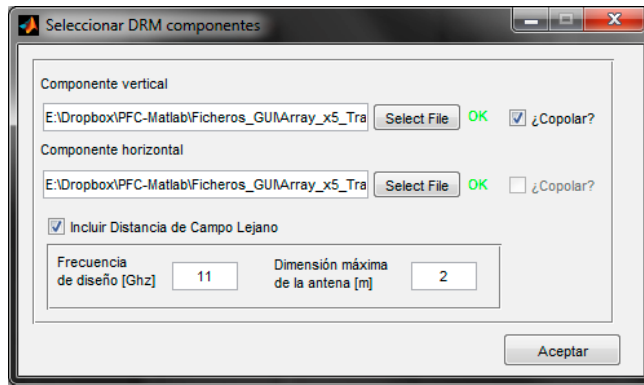
Suponga el usuario que quiere representar un diagrama de radiación medido con polarización lineal y normalizado al valor máximo de la componente copolar:

- En primer lugar el usuario accede a la interfaz gráfica “NewDRGui” del modo que se indicó en la sección 4.3.3.
- Se configuran Título, Tipo de archivo (DRM) y tipo de Polarización tal y como se ve en la figura y se selecciona el checkbox de “Normalizar”. Por último se acepta la configuración.



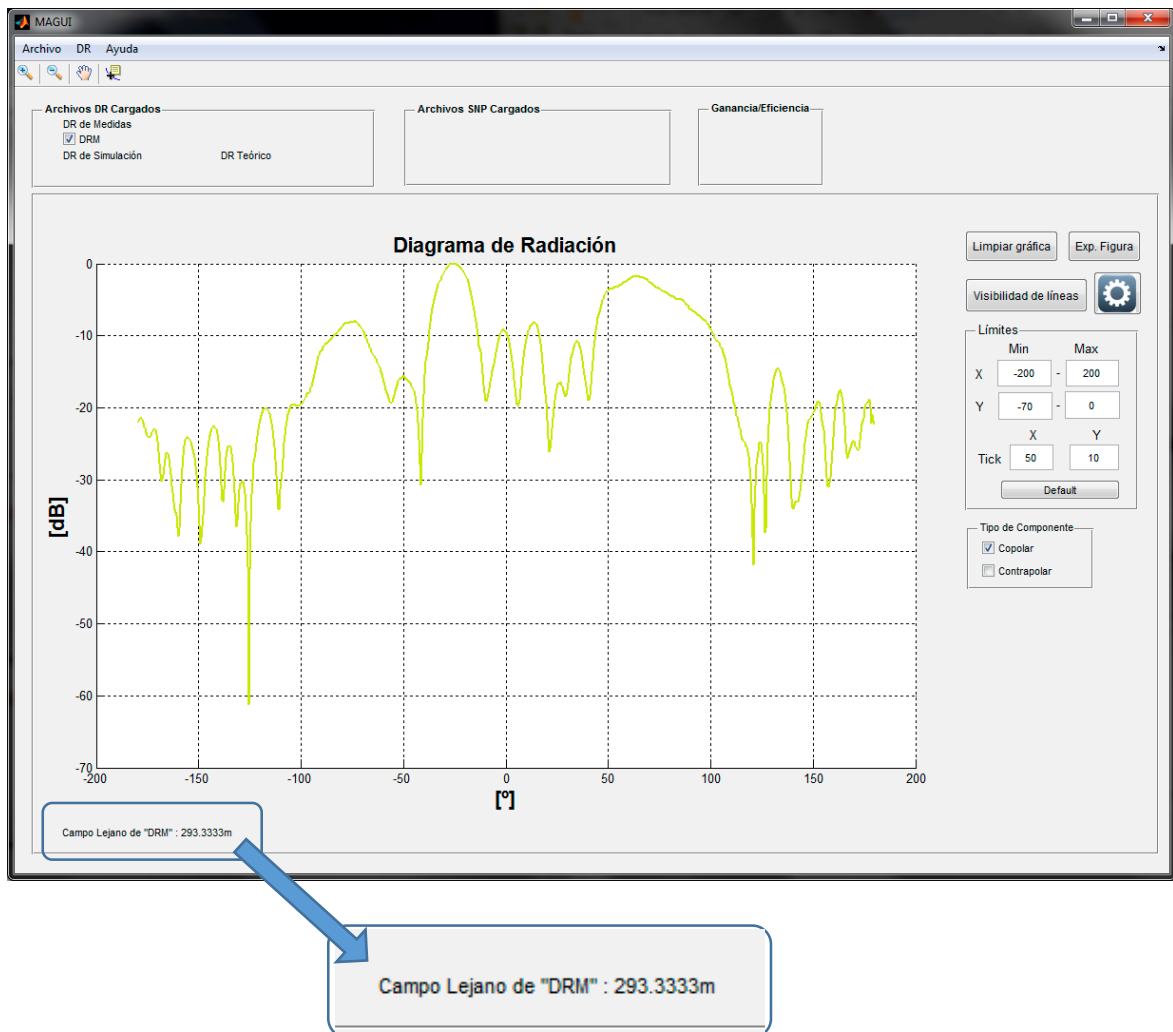
**Figura 4-13:** Configuración de “NewDRGui” para DRM

- Aparecerá la interfaz donde seleccionar las componentes vertical y horizontal del diagrama de radiación medido. Además seleccionamos la componente vertical como la Copolar. En este caso, el usuario también quiere conocer la distancia de campo lejano, por lo que introduce los siguientes parámetros:
  - Frecuencia de diseño: 11GHz.
  - Dimensión máxima de la antena: 2 metros.



**Figura 4-14:** Selección de las componentes vertical y horizontal, así como las propiedades para el cálculo de campo lejano

- Al pulsar el botón “Aceptar”, la gráfica correspondiente se representa en la interfaz gráfica. Además, en la parte inferior del área gráfica aparecerá el cálculo de la distancia de campo lejano.



**Figura 4-15:** Resultado final del flujo de DRM

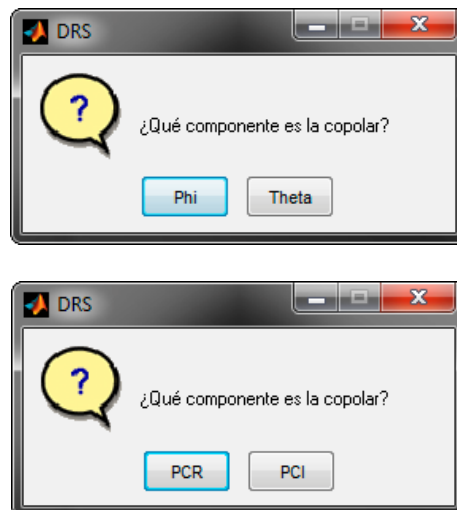
#### 4.4.1.2 Diagrama de Radiación Simulado (DRS)

Los diagramas de radiación simulados son el resultado de una simulación con el software “CST Microwave Studio”, herramienta de simulación electromagnética utilizada por el grupo RFCAS. Esta herramienta permite realizar simulaciones “fullwave” de antenas, generando los diagramas de radiación de estas en cualquier dirección del espacio y anticipando así el funcionamiento de esta antes de su fabricación. Una vez hecho esto, CST Microwave Studio permite la exportación de las representaciones en 2D de los diagramas en texto plano. Estos presentan columnas con datos como la magnitud y fase de la directividad y/o ganancia en las componentes esféricas Phi y Theta, su dirección angular, relación axial, etc... La aplicación permite la lectura e interpretación de estos datos para la representación de estos en 2D y poder compararlos con los obtenidos tras mediciones en la cámara anecoica (DRM, sección 4.4.1.1).

En este caso, el flujo de cara al usuario es más sencillo. Al igual que con el diagrama de radiación medido, el usuario debe de configurar las propiedades de la interfaz “NewDRGui” con la salvedad de haber seleccionado el tipo de archivo a “DRS”.

Una vez pulsado en Aceptar, aparecerá un cuadro de selección de archivo donde el usuario elegirá el archivo correspondiente. En este caso también se hará una discriminación al tipo de archivo a .dat y .txt.

Tras la selección, aparecerá un cuadro de diálogo donde pide al usuario que indique qué componente es la Copolar. Las opciones varían en función de si se ha seleccionado un tipo de polarización lineal o circular. En caso de Polarización lineal nos hará elegir entre las componentes Phi y Theta. En Polarización circular lo hará entre PCR o PCI (Polarización Circular Derecha o Polarización Circular Izquierda, respectivamente)



**Figura 4-16:** Posibles mensajes en función de la polarización

Una vez seleccionada la componente Copolar, la aplicación carga el archivo y realiza las operaciones necesarias para la representación. Finalmente, la gráfica es mostrada en el área gráfica de la interfaz MAGUI.

Las propiedades de la gráfica por defecto son las siguientes:

Atributo	Valor
Color de línea	Aleatorio
Título	“Diagrama de Radiación”
Etiqueta eje X	“[ $\phi$ ]”
Etiqueta eje Y	“[dB]”
Tamaño de línea	2
Marker	Ninguno
Tipo de línea	Continua

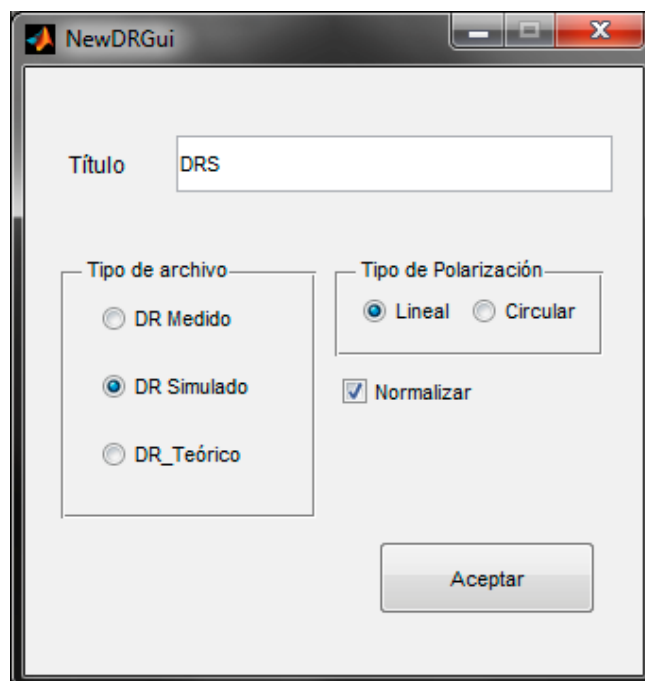
**Tabla 4-2:** Propiedades de línea de DRS

En este caso, también aparecerá el panel de Tipo de Componente con el valor por defecto de la componente Copolar activado. En este caso, la componente Copolar representará la parte de la simulación correspondiente a la componente seleccionada previamente como Copolar (Phi o Theta).

### EJEMPLO:

En este caso, el usuario quiere representar un diagrama de radiación simulado con polarización lineal y normalizado al valor máximo de su componente copolar.

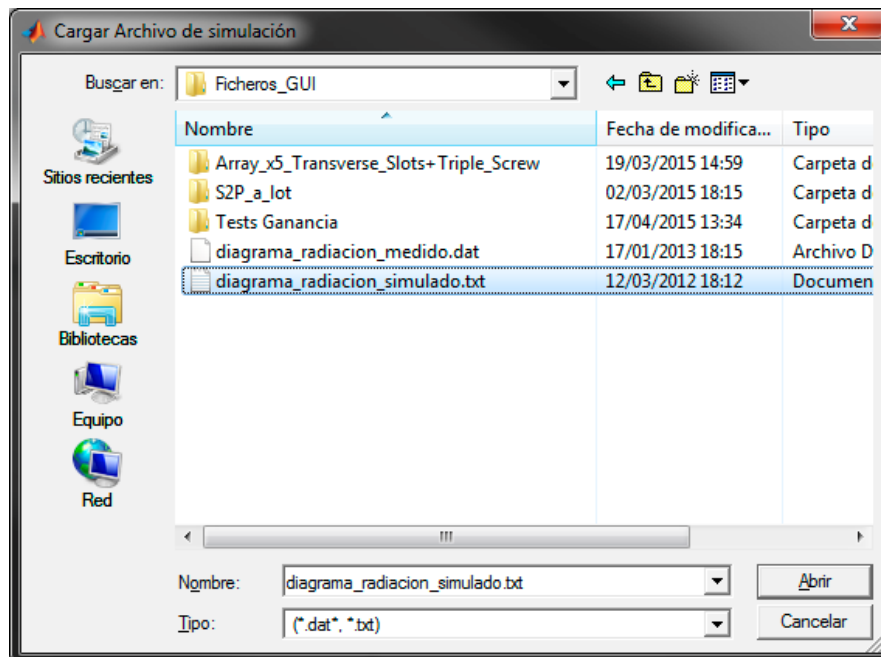
- En primer lugar, desde MAGUI el usuario accede a la interfaz gráfica “NewDRGui” y configura las propiedades con los siguientes valores:
  - Título: “DRS”
  - Tipo de Archivo: DR Simulado
  - Tipo de polarización: Lineal.
  - Normalizar: Si



**Figura 4-17:** Configuración de “NewDRGui” para DRS

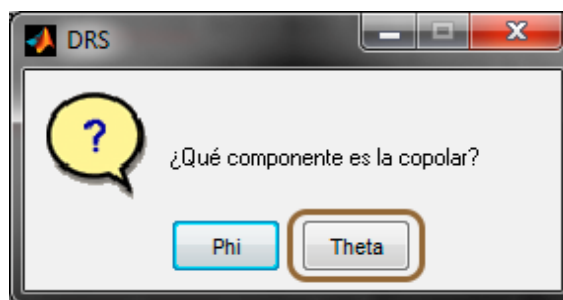


- Tras pulsar en el botón “Aceptar”, nos aparecerá la pantalla de selección de archivo. En este caso el usuario selecciona el archivo “diagrama\_radiación\_simulado.txt” y pulsa en aceptar.



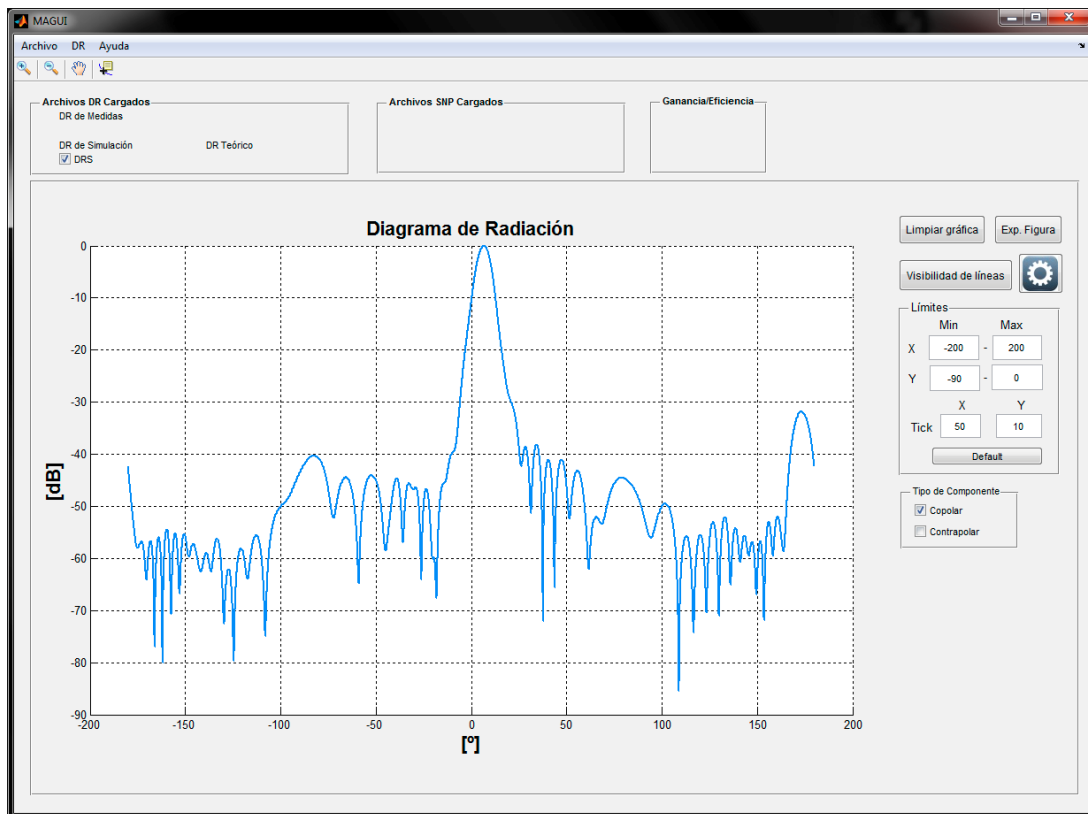
**Figura 4-18:** Selección del archivo del diagrama de radiación simulado

- El siguiente paso es elegir qué componente es la copolar. Es imprescindible que el usuario tenga conocimientos previos sobre cuál es la componente copolar (theta o phi) en el fichero de simulación. En este caso de ejemplo, elegimos la componente Theta como copolar.



**Figura 4-19:** Selección de la componente copolar

- Finalmente, y después de que la aplicación haya realizado los cálculos necesarios, se representa el diagrama de radiación simulado en el área gráfica de la interfaz MAGUI.



**Figura 4-20:** Resultado final del flujo de DRS

#### 4.4.1.3 Diagrama de Radiación Teórico (DRT)

El diagrama de radiación teórico no se obtiene a partir de un archivo, como las otras dos variantes previamente explicadas. En su lugar, mediante una serie de propiedades que debe de introducir el usuario, se modeliza un array lineal de antenas teóricas y la aplicación calcula la forma del diagrama de radiación. A diferencia de los diagramas de radiación Medido y Simulado, el diagrama de radiación Teórico muestra las opciones de polarización y normalización deshabilitadas. Esto es debido a que este tipo de diagrama se representa normalizado en todos los casos y no presenta componentes copolares ni contrapolares. En el proceso de diseño de un array de antenas, el diseñador establece la alimentación, en módulo y fase, de cada una de las antenas que conforman el array. De esta forma, se genera un diagrama de radiación teórico como objetivo de diseño por lo que, de ahí la importancia de esta funcionalidad.

Una vez que el usuario ha configurado las opciones necesarias en la interfaz “NewDRGui” y ha pulsado en “Aceptar” aparecerá una pequeña interfaz donde se pedirán los parámetros que modelizarán el array de antenas.



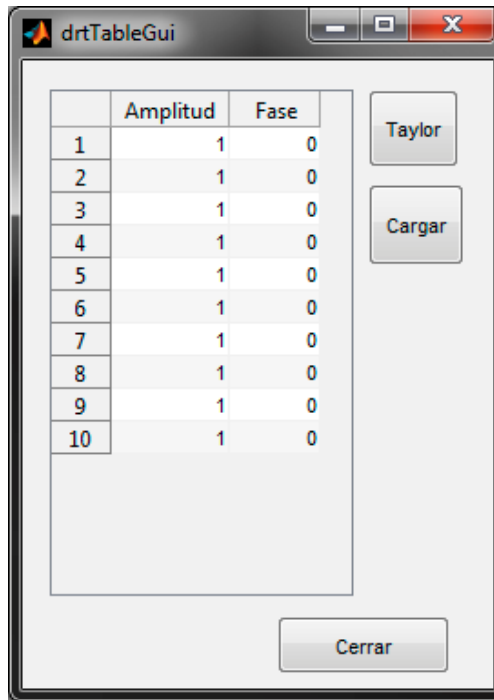
**Figura 4-21:** Configuración de DRT

Las propiedades disponibles son:

- *Número de elementos:* Se refiere al número de elementos que conformará el array de antenas. El límite es de 30 elementos.
- *Separación normalizada:* Es la distancia entre elementos. El valor deberá ser normalizado a un número de longitudes de onda de trabajo (lambdas). Los valores disponibles van desde 0 a 1.
- *Frecuencia:* Es la frecuencia a la que funcionará la antena modelada. El valor debe de ser expresado en GHz.

Al pulsar en “Aceptar” la aplicación calculará el diagrama de radiación resultante y lo representará en el área gráfica de MAGUI. Esta representación se puede modificar en su forma gracias a una tabla con los valores de amplitud y fase de los elementos que conforman la antena teórica. Para ello el usuario puede cambiar cualquier valor tanto de amplitud y fase de cada elemento del array. Una vez cambiado, la aplicación recalcula el diagrama y lo muestra en la gráfica. Los valores de Amplitud están normalizados y el rango disponible será de entre 0 y 1. En el caso de la Fase, esta estará en grados y se podrán introducir valores entre  $-180^\circ$  y  $180^\circ$ .

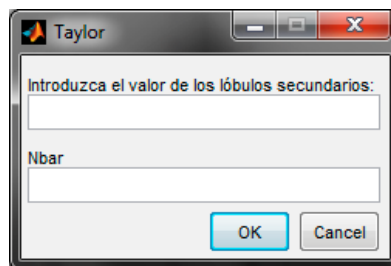
La tabla de valores será representada a una interfaz separada desde la que el usuario puede controlar dinámicamente la forma del diagrama.



**Figura 4-22:** Tabla con los valores de Amplitud y fase de los elementos de DRT

Dentro de esta interfaz existen, además, dos funcionalidades adicionales para el tratamiento de los datos de la gráfica: utilizar una distribución de Serie de Taylor y la opción de cargar un archivo .ary para cargar datos de amplitud y fase previamente calculados en el software EnsSyn1D, que proporciona una funcionalidad similar a la descrita anteriormente.

- *Taylor*: Pulsando este botón, nos aparecerá un cuadro de diálogo en el que se pedirá al usuario ingresar los siguientes parámetros:
  - Valor de los lóbulos secundarios
  - Nbar: Cantidad de lóbulos que quedarán al valor indicado anteriormente.



**Figura 4-23:** Propiedades para el cálculo de Taylor

Una vez introducidos, la aplicación calcula la serie de Taylor correspondiente, utilizando la función *taylorwin* de Matlab, es actualizada en la tabla de valores de amplitud y fase y por último es representada la gráfica resultante.

- *Cargar*: Permite la carga de un archivo con extensión .ary, resultado de la exportación de un cálculo teórico en el software EnsSyn1D. Este tipo de archivo contiene los valores de amplitud y fase de cada elemento. La aplicación lee los datos y los actualiza en la tabla. Por último recalcula y representa la gráfica resultante.

Las propiedades de la gráfica por defecto son las siguientes:

Atributo	Valor
Color de línea	Aleatorio
Título	“Diagrama de Radiación”
Etiqueta eje X	“[°]”
Etiqueta eje Y	“[dB]”
Tamaño de línea	2
Marker	Ninguno
Tipo de línea	Continua

Tabla 4-3: Propiedades de línea de DRT

### EJEMPLO:

El usuario quiere calcular el diagrama de radiación Teórico de un array de antenas de 10 elementos, con una separación de  $0.5\lambda$  entre ellos y a una frecuencia de 10 GHz.

- Desde MAGUI accede a la interfaz “NewDRGui” y selecciona los siguientes valores:
  - Título: “DRT”
  - Tipo de Archivo: DR Teórico

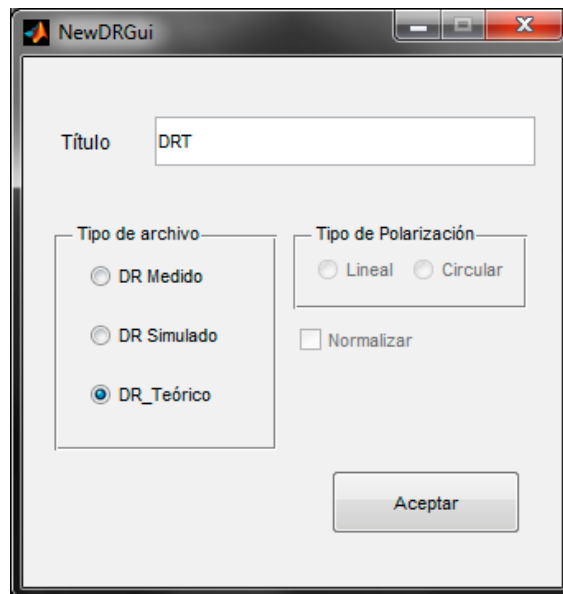


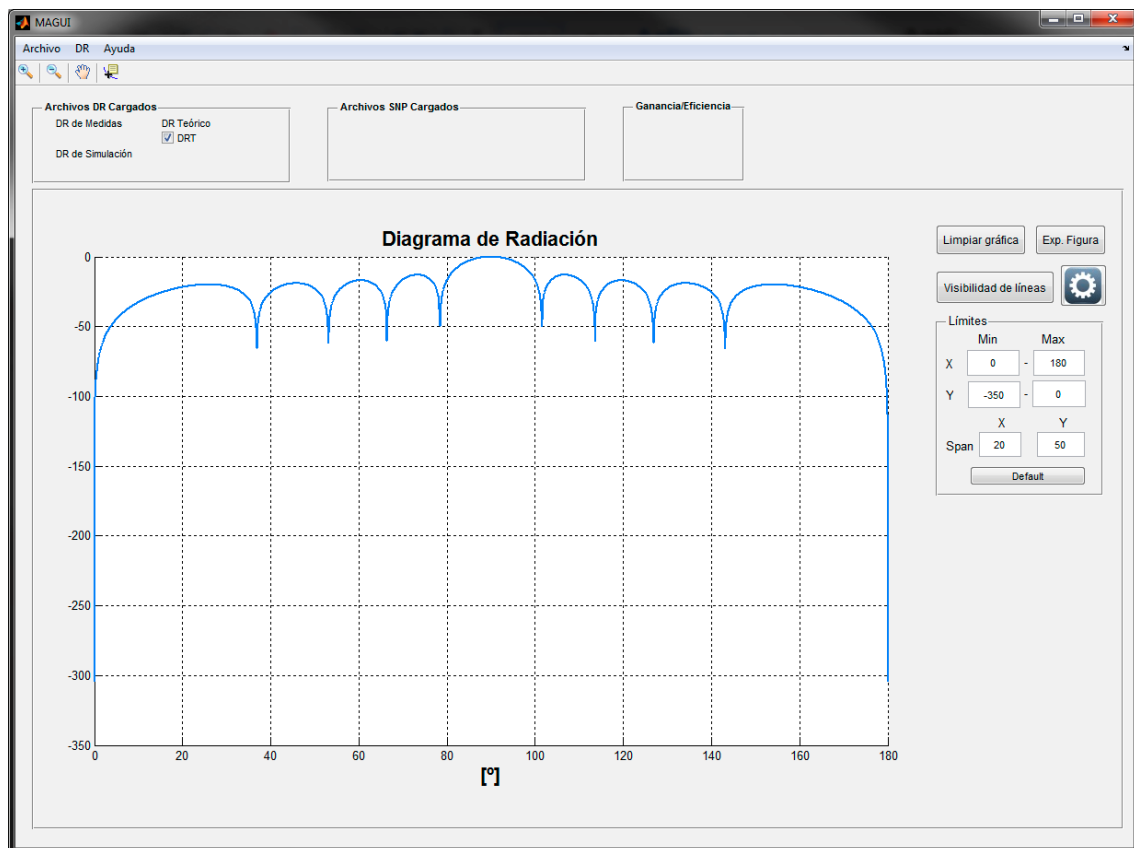
Figura 4-24: Configuración de “NewDRGui” para la representación de DRT

- Tras pulsar en el botón de “Aceptar”, aparecerá la interfaz donde el usuario tiene que elegir los valores para configurar el array de antenas. En este caso, los valores son los siguientes:
  - Número de elementos: 10
  - Separación normalizada: 0.5
  - Frecuencia: 10



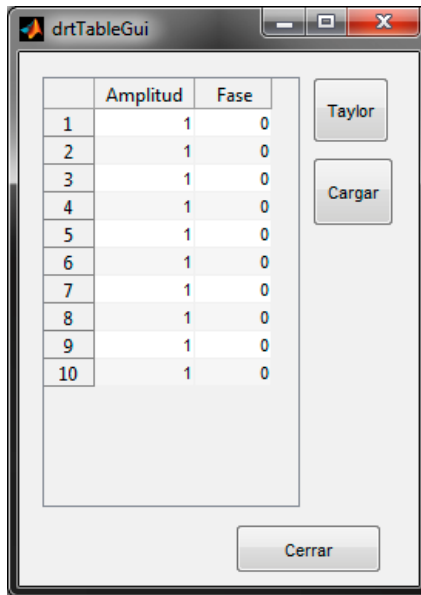
**Figura 4-25:** Propiedades de DRT del ejemplo

- Al pulsar en el botón “Aceptar”, la aplicación calculará el diagrama de radiación resultante y los mostrará en el área Gráfica de MAGUI.



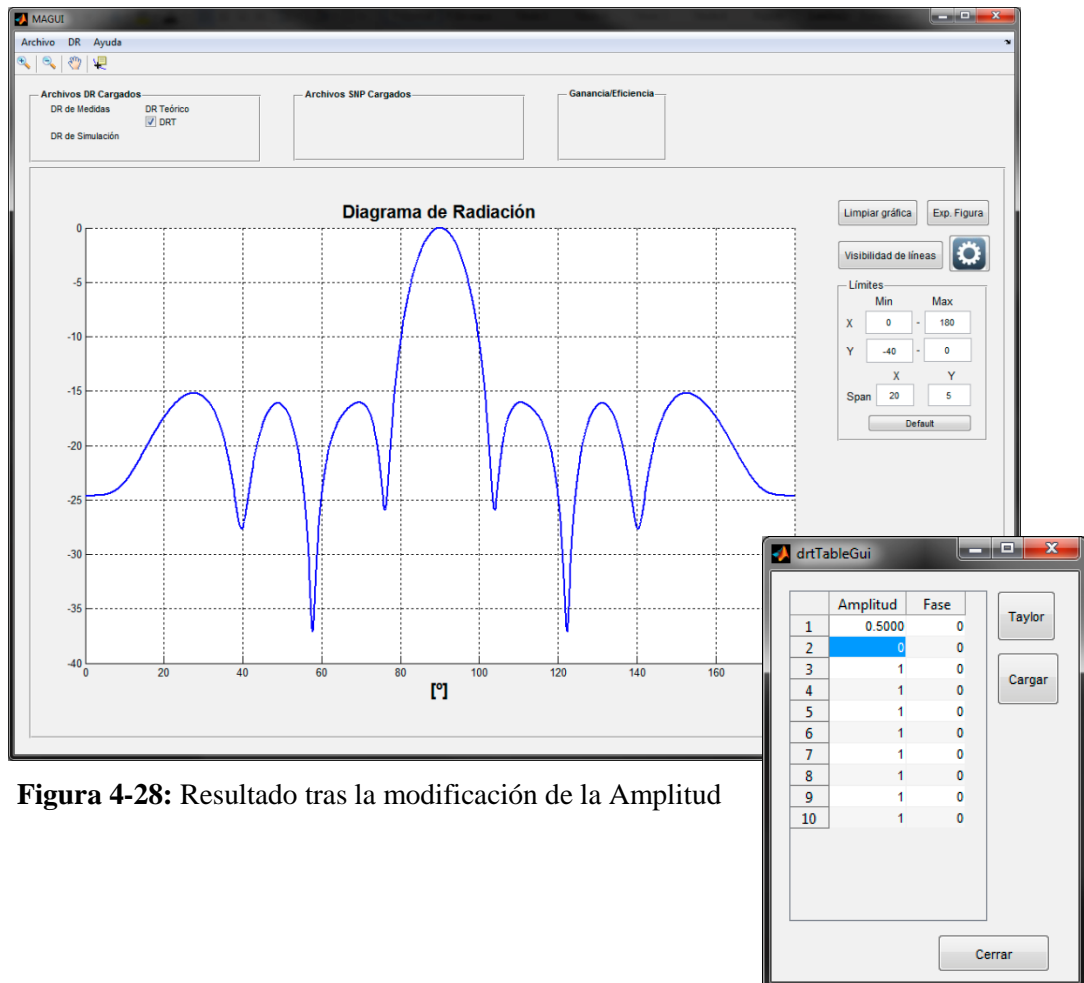
**Figura 4-26:** Resultado final del ejemplo de DRT

- Además, la interfaz con la tabla de valores de Amplitud y Fase de los elementos del array es cargada.



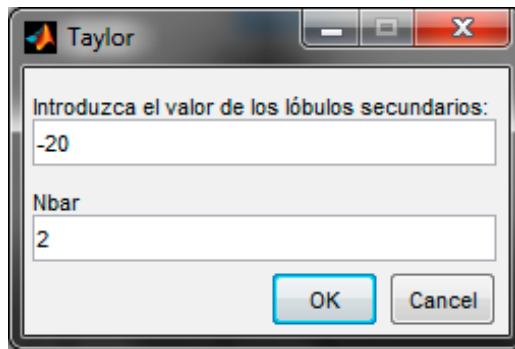
**Figura 4-27:** Tabla de valores de Amplitud y fase resultante del ejemplo

- El usuario quiere acentuar más el lóbulo principal por lo que decide cambiar el valor de amplitud del primer elemento. En este caso, ha elegido un valor de amplitud de 0.5. Tras introducirlo, acto seguido el diagrama de radiación es recalculado y representado.



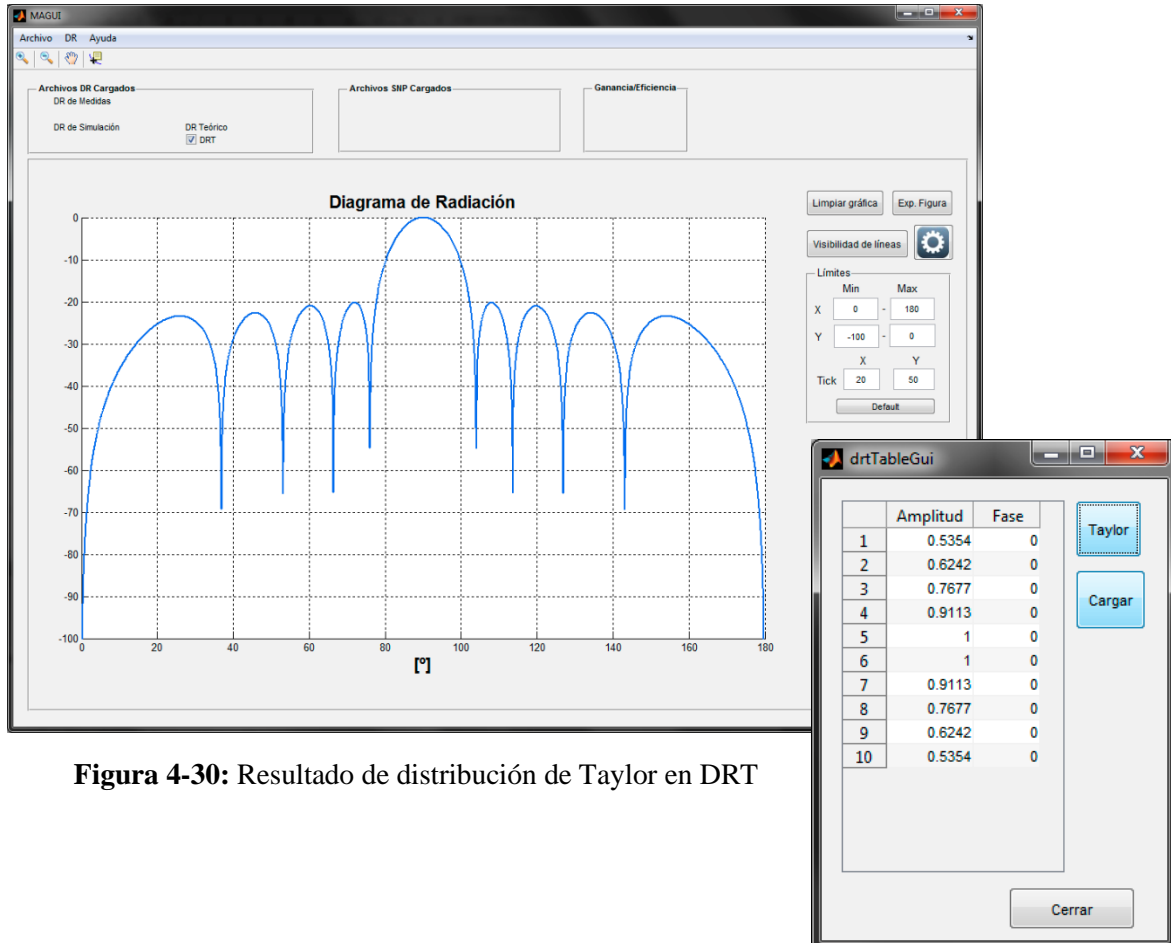
**Figura 4-28:** Resultado tras la modificación de la Amplitud

- En esta ocasión el usuario quiere obtener una distribución de Taylor. Los valores de los dos primeros lóbulos secundarios debe de ser de -20dB. Para ello el usuario hace click en el botón “Taylor” en el la interfaz “DrtTableGui”. En el cuadro de diálogo que aparece, debe de introducir los siguientes datos de acuerdo a los requisitos:
  - Valor de los lóbulos secundarios: -20
  - Nbar: 2



**Figura 4-29:** Cuadro de diálogo de la distribución de Taylor

- Al hacer click en “Aceptar” aparecerá la nueva gráfica con el vector de amplitud actualizado a los nuevos valores.



**Figura 4-30:** Resultado de distribución de Taylor en DRT



## 4.4.2 Parámetros S

En esta sección se explicará los flujos de trabajo que el usuario deberá seguir para la representación de parámetros S mediante archivos Touchstone en formato S2P y/o S1P. La aplicación permitirá la coexistencia de hasta cuatro instancias que se podrán combinar entre archivos S2P y S1P.

### 4.4.2.1 Parámetros S a partir de archivos S2P

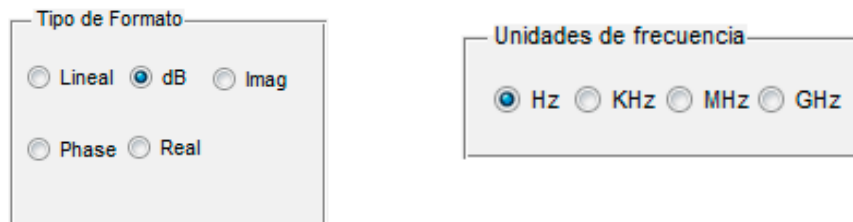
Los archivos S2P incluyen los valores de los siguientes parámetros S: S11, S12, S21 y S22. Gracias a ello, podemos representarlos en líneas diferentes para una mejor visualización.

Para representar parámetros S primero hay que acceder a la interfaz ya comentada “NewSNPGui” (sección 4.3.4).

Tras seleccionar la opción de S2P en el panel de tipo de Archivo y las líneas que queramos que sean visibles desde el principio en el panel de “Líneas Visibles”, el usuario deberá asignar un título a la instancia y por último cargar un archivo de tipo S2P.

Al pulsar en “Aceptar”, la aplicación realiza los cálculos necesarios y representa las líneas que el usuario especificó en la interfaz “NewSNPGui”.

Además de la representación de las líneas, se habilitarán dos nuevos paneles que son propios de este tipo de archivos: El panel de “Tipo de Formato” y el panel de “Unidades de frecuencia”.



**Figura 4-31:** Paneles de “Tipo de Formato” y de “Unidades de frecuencia”

El panel de tipo de formato permite al usuario cambiar la forma de representación de las líneas activas. La aplicación recalculará cada línea (activa o no) de tal manera que no haya discrepancias en el formato de las líneas actuales y de las futuras.

En la tabla 4-4 se muestran los diferentes tipos de Formato junto con el cálculo para obtenerla (siempre partiendo de la señal en unidades naturales) y las unidades de cada tipo.

Tipo de Formato	Fórmula para el cálculo de Y	Unidades
Lineal	Abs(Y)	-
dB	$20 \cdot \text{Log}_{10}(\text{Abs}(Y))$	Decibelios [dB]
Fase	$(180 \cdot \text{Angle}(Y)) / \pi$	Grados [°]
Real	Real(Y)	-
Imag	Imag(Y)	-

**Tabla 4-4:** Tipos de formatos disponibles

El panel de unidades de frecuencia permite representar los parámetros S en alguna de las unidades de frecuencia más utilizadas. Al igual que pasaba con el panel de tipo de formato, el cambio que se realice en el panel de unidades de frecuencia se aplicará a todas las líneas, incluso las nuevas. Así se evita incoherencia en los tipos de unidades. Las opciones disponibles son las siguientes: Hz, KHz, MHz y GHz.

Las propiedades de la gráfica por defecto a la hora de representar archivos de tipo S2P son las siguientes:

Atributo	Valor
Color de línea	Aleatorio
Título	“Parámetros S”
Etiqueta eje X	En función de las unidades del archivo o de la elección del panel de “Unidades de Frecuencia”
Etiqueta eje Y	“[dB]”
Tamaño de línea	2
Marker	Ninguno
Tipo de línea	Continua

**Tabla 4-5:** Propiedades por defecto de línea de S2P

### EJEMPLO:

El usuario quiere representar todos los parámetros S de un archivo S2P.

- En primer lugar, el usuario rellena las propiedades de la interfaz “NewSNPGui” con los siguientes atributos:
  - Título: “S2P”
  - Tipo de Archivo: S2P
  - Líneas Visibles: Todas
- A continuación selecciona el archivo S2P. Si es muy extenso, puede que aparezca una barra de progreso. En ese caso esperar hasta que termine.

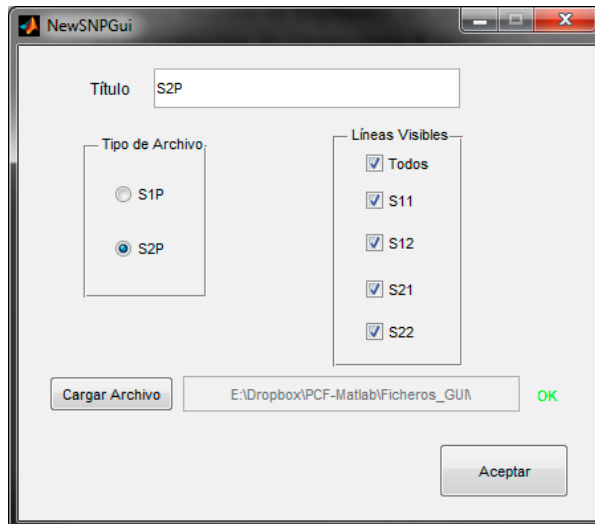


Figura 4-32: Panel “NewSNPGui” relleno con las propiedades de ejemplo

- Al pulsar en “Aceptar”, la aplicación realiza los cálculos necesarios y representa los cuatro parámetros S en el área gráfica de MAGUI.

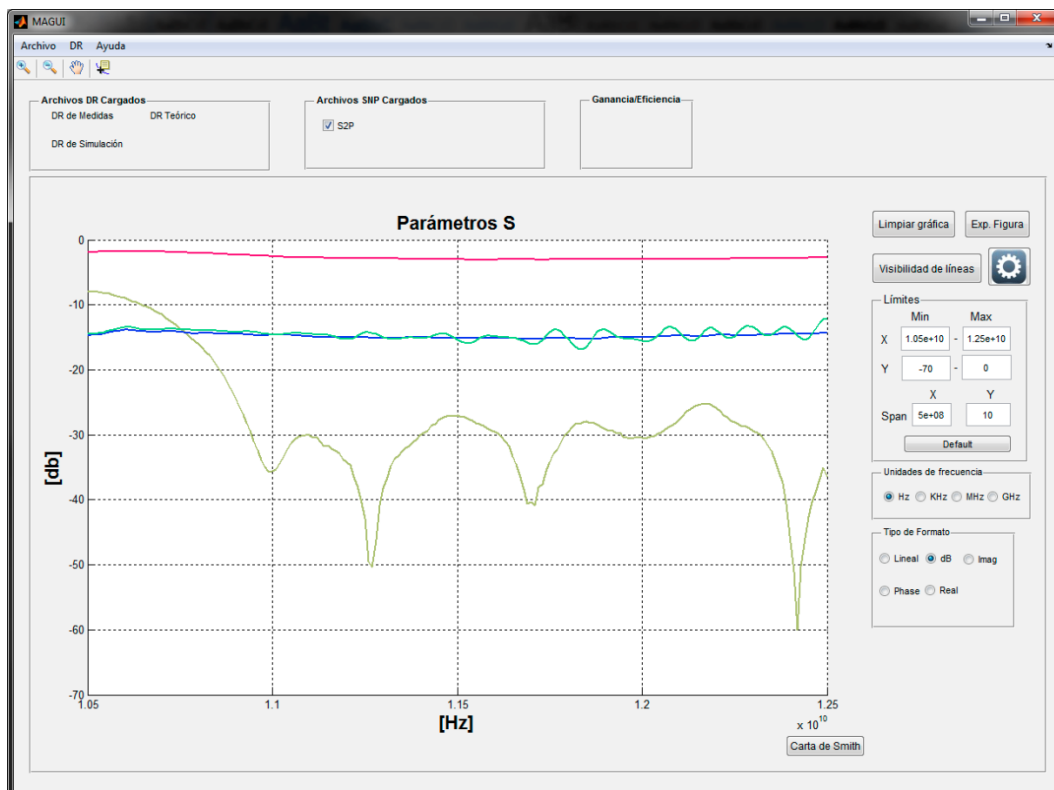
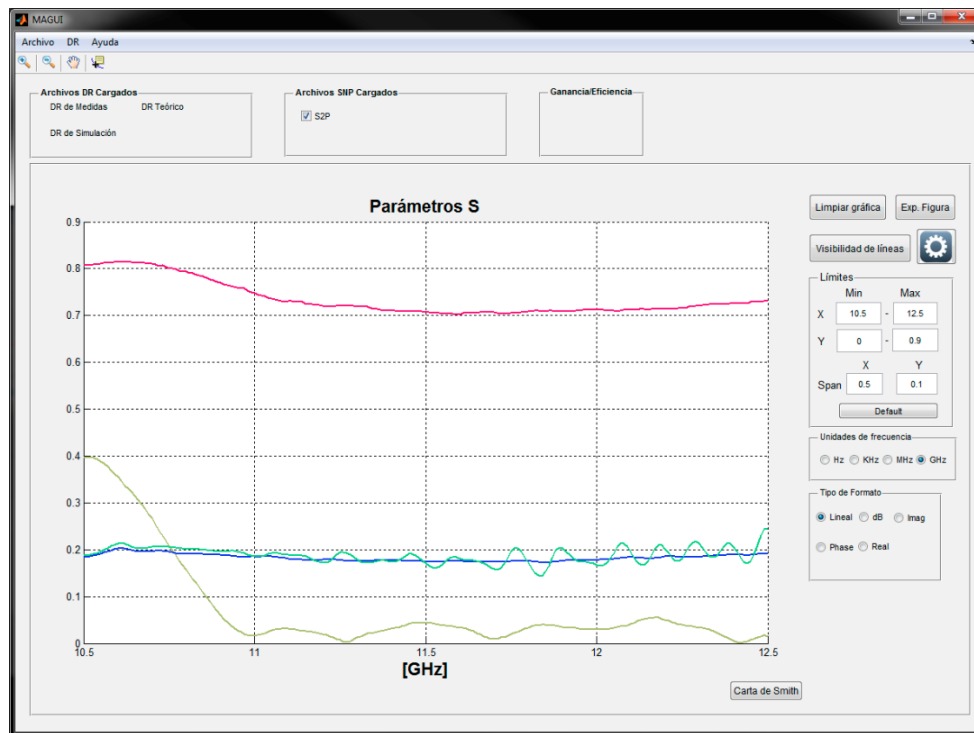


Figura 4-33: Gráfica resultado del ejemplo de S2P

El usuario decide que prefiere la representación en GHz y formato Lineal por lo que sigue los siguientes pasos:

- En el panel de Unidades de frecuencia selecciona la opción GHz. La gráfica es actualizada y la etiqueta del eje X cambia a “[GHz]”. Las líneas no ven afectada su forma.

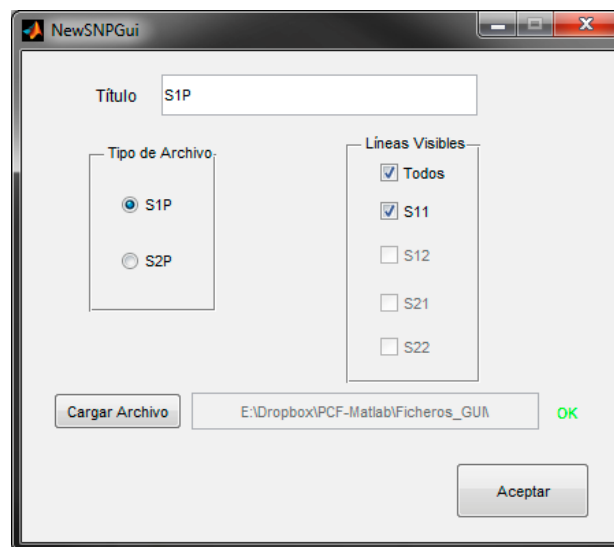
- En el panel de Tipo de formato, el usuario cambia la opción a “Lineal”. En este caso, todas las líneas se recalculan y cambian su forma. Además, en la etiqueta del eje Y desaparece “[dB]”.



**Figura 4-34:** Gráfica resultado tras cambiar el formato y las unidades

#### 4.4.2.2 Parámetros *S* a partir de archivos *S1P*

Es el caso de los archivos *S1P*, solo se representa el parámetro *S11*. La secuencia es la misma que en el caso de utilizar un archivo *S2P* salvo porque en el panel de líneas visibles en la interfaz “NewSNPGui”, se deshabilitará las opciones de los demás parámetros (*S12*, *S21*, *S22*).



**Figura 4-35:** Detalle de la interfaz “NewSNPGui” tras seleccionar *S1P* como tipo de archivo. Nótese que en el panel de líneas visibles solo es posible elegir la opción *S11*.

### 4.4.3 Ganancia y Eficiencia

En esta sección se engloban dos propiedades de las antenas ya mencionadas en las secciones 2.6.4 y 2.6.5. Se ha considerado juntarlos porque la eficiencia a calcular se obtiene a partir de, entre otras cosas, la ganancia calculada. Es por ello que ambas representaciones se pueden obtener partiendo de la misma interfaz gráfica “GainEfGui”. Como vimos en la sección 4.3.5, con “GainEfGui” podemos representar la ganancia únicamente sin la necesidad de representar la eficiencia. No obstante, no está permitido lo contrario, es decir, representar la eficiencia sin representar la ganancia. El motivo de esto es que la mayoría de las opciones de eficiencia requieren de la ganancia medida (la obtenida dentro de esta interfaz).

Por otro lado, dentro de las opciones de representación de la eficiencia se han aislado tres posibles casos, que como veremos en la sección 4.4.3.2, podrán representarse todas juntas o por separado:

- Directividad Simulada vs Ganancia Simulada
- Ganancia Simulada vs Ganancia Medida
- Directividad Simulada vs Ganancia Medida

#### 4.4.3.1 Ganancia

La ganancia obtenida es la propia de la antena utilizada en las mediciones, normalmente en una cámara anecoica. Para obtenerla son necesarios los parámetros S de la antena transmisora y los parámetros S de la bocina utilizada. Además, los cálculos se harán dentro de un rango de frecuencias que deberá especificar el usuario.

Partiendo de la interfaz “GainEfGui” el usuario deberá rellenar las siguientes propiedades dentro del panel de Ganancia, ya explicadas en la sección 4.3.5:

- Tipo de polarización
- Rango de frecuencias
- Archivos S2P de transmisión.
- Archivos S2P de la bocina.

Estos ficheros proporcionan los datos necesarios para poder despejar la Ganancia del balance de potencias en el radioenlace bajo estudio.

Por ello, partiendo de la expresión del balance de potencias tanto de la antena bajo estudio como en la bocina,

$$S_{21Tx} = P_{In} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_P - L_C$$

$$S_{21Boc} = P_{In} + G_{Boc} + G_{Rx} - L_P - L_C$$

Despejando el sistema de ecuaciones obtenemos la siguiente expresión,

$$S_{21Tx} - S_{21Boc} = G_{Tx} - G_{Boc}$$

Y despejando la Ganancia obtenemos la ecuación final utilizada por la aplicación para el cálculo,

$$G_{Tx} = (S_{21Tx} - S_{21Boc}) + G_{Boc}$$

Con:

- $G_{Tx}$ , Ganancia de la antena transmisora.
- $S_{21Tx}$ , Parámetro S21 obtenido del archivo S2P de transmisión.
- $S_{21Boc}$ , Parámetro S21 obtenido del archivo S2P de la bocina.
- $G_{Boc}$ , Ganancia de la Bocina. Este parámetro dependerá de la bocina utilizada y de la frecuencia de trabajo. La aplicación cargará automáticamente este dato de una pequeña base de datos sin que el usuario deba hacer nada.
- $L_p$ , Pérdidas en el espacio libre.
- $L_c$ , Pérdidas introducidas por todos los componentes de la cámara. Están incluidas las pérdidas de los cables, las ganancias de los amplificadores, etc...

Además, si solo quiere obtener la representación de la ganancia, deberá desmarcar el checkbox de Eficiencia, en el panel de Eficiencia.  ¿Eficiencia?

The screenshot shows a software interface titled "Ganancia". It contains the following elements:

- Polarización:** Two radio buttons, "Lineal" (selected) and "Circular".
- Rango de Frecuencia:** Two input boxes separated by a hyphen, followed by "Ghz".
- Archivos S2P de Tx:** A section with two rows. The first row is labeled "Seleccione archivo S2P de Tx (Copolar)" and has an "Elegir" button and an input field. The second row is labeled "Seleccione archivo S2P de Tx (Contrapolar)" and also has an "Elegir" button and an input field.
- Archivos S2P Bocina:** A section labeled "Seleccione archivo S2P de Bocina" with an "Elegir" button and an input field.

Figura 4-36: Detalle del panel de Ganancia dentro de la interfaz “GainEfGui”

Las propiedades de la gráfica por defecto son las siguientes:

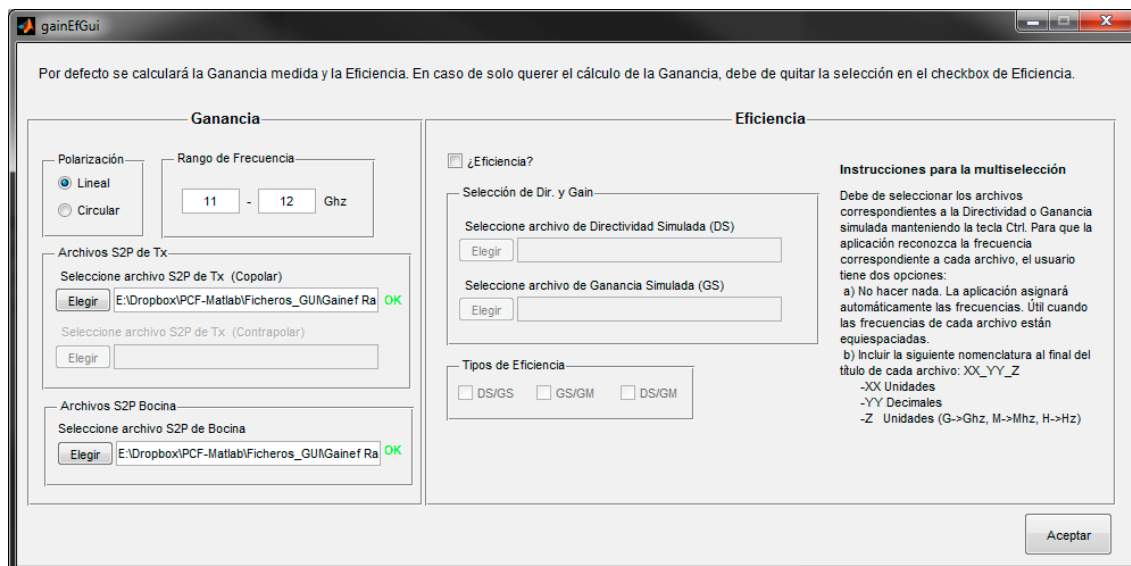
Atributo	Valor
Color de línea	Aleatorio
Título	“Ganancia”
Etiqueta eje X	“[GHz]” por defecto
Etiqueta eje Y	“[dB]”
Tamaño de línea	2
Marker	Ninguno
Tipo de línea	Continua

**Tabla 4-6:** Propiedades por defecto de línea de Ganancia

### EJEMPLO:

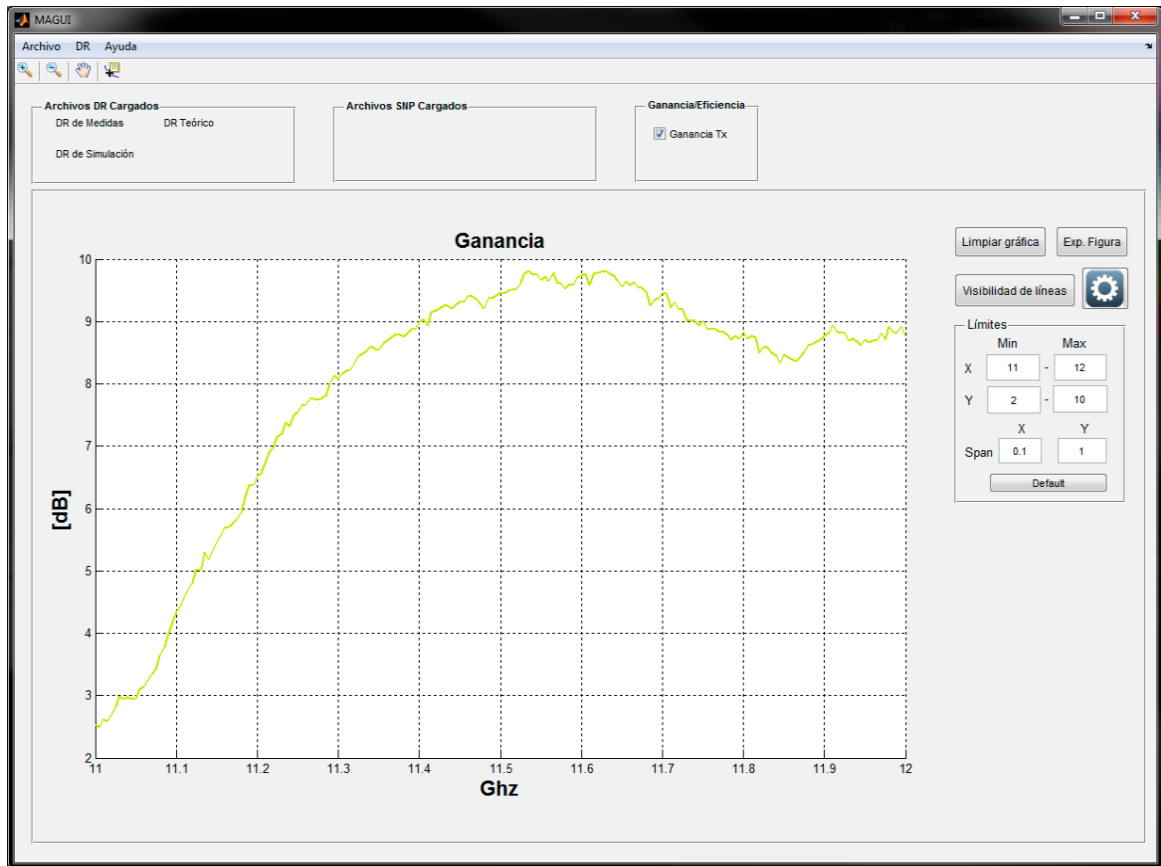
El usuario quiere representar la ganancia resultante de una medición en la cámara anecoica. Para ello dispone de los Archivos S2P, tanto de la antena medida (polarización lineal) como de la bocina de referencia utilizada para realizar la medida, que miden el radioenlace establecido entre ambas. Además, quiere representarla para el rango de frecuencias en el que ha hecho la medición, de 11GHz a 12GHz.

- Partiendo de la interfaz “GainEfGui” el usuario rellena los datos de forma acorde a los requisitos previos:
  - Desmarcar el checkbox de Eficiencia
  - Polarización: Lineal
  - Rango de Frecuencias: 11 – 12 GHz
  - Selección de los archivos S2P de transmisión y bocina.



**Figura 4-37:** Interfaz “GainEfGui” rellena con las propiedades del ejemplo de Ganancia

- A continuación, al pulsar el botón de “Aceptar”, y después de que la aplicación haya calculado la ganancia, esta será representada en el área gráfica de MAGUI.



**Figura 4-38:** Gráfica final resultado del ejemplo del cálculo de ganancia

#### 4.4.3.2 Eficiencia

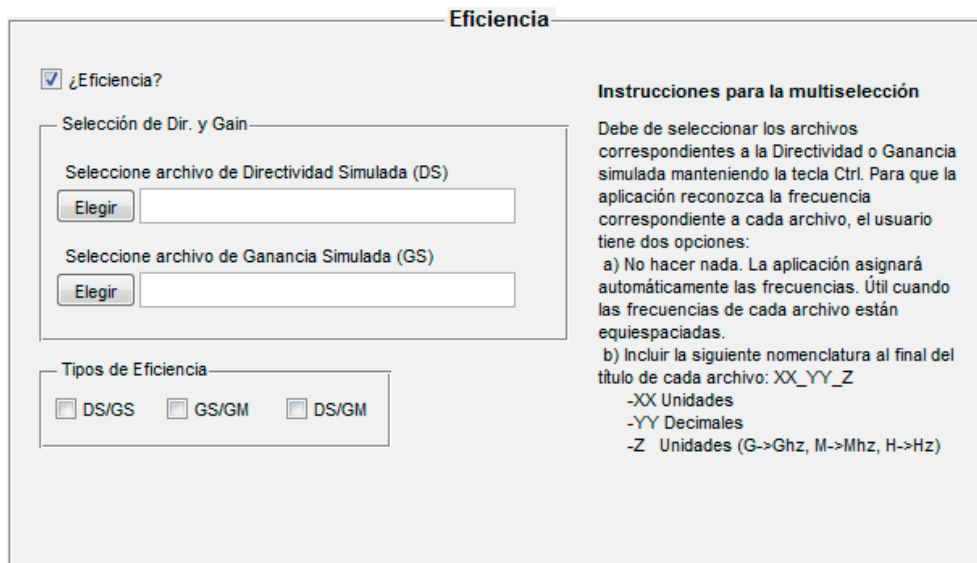
En este apartado se explicará cómo representar la eficiencia de un sistema. Como se indicó en la sección 4.4.3, hay tres posibles variantes de eficiencia disponible en la aplicación:

- Directividad Simulada vs Ganancia Simulada
- Ganancia Simulada vs Ganancia Medida
- Directividad Simulada vs Ganancia Medida

En el panel de eficiencia de la interfaz “GainEfGui” tenemos las siguientes propiedades ya comentadas en la sección 4.3.5:

- Activación de Eficiencia
- Selección de Archivos de Directividad y Ganancia Simuladas con CST Microwave Studio.
- Tipo de eficiencia





**Figura 4-39:** Detalle del panel de Eficiencia de la interfaz “GainEfGui”

Se recuerda al usuario que no será posible el cálculo de eficiencia por separado al de ganancia. Esto es debido a que en la mayoría de las opciones de eficiencia es necesario el cálculo previo de la ganancia medida.

Para el cálculo de la eficiencia son necesarios varios archivos que contenga el diagrama de radiación de la antena simulado con CST Microwave Studio en directividad y/o ganancia. Cada uno de estos deberá contener datos de directividad o ganancia para una frecuencia específica. Hay dos maneras de que la aplicación asigne la frecuencia correcta a cada archivo:

- Mediante la detección de un código que el usuario deberá incluir al final del título de cada archivo. Este código tiene la siguiente estructura:
  - “título\_XX\_YY\_Z”
  - **XX**: Unidades de frecuencia
  - **YY**: Decimales de frecuencia
  - **Z**: Unidades de frecuencia, siendo
    - G→GHz
    - M→MHz
    - H→Hz
  - *Ejemplo*: directividad\_11\_10\_G significa que es el archivo correspondiente a la frecuencia 11,1 GHz.
- Automáticamente asignando un valor de frecuencia equidistante a cada fichero. Es decir que, si por ejemplo, el usuario indica un rango de frecuencia de 11 a 12 GHz e introduce 11 archivos, el primer archivo se le asociará la frecuencia 11 GHz, al segundo 11,1 GHz etc... La aplicación elegirá esta opción en caso de no detectar el código descrito más arriba en, al menos, uno de los archivos introducidos. También se mostrará un mensaje de alerta indicando que se ha elegido esta opción.

Por último, en el panel de “Tipos de Eficiencia” encontramos los ya mencionados en la sección 4.4.3.

Es posible la representación de uno o varios tipos de Eficiencia a la vez. Para ello el usuario debe de marcar los checkbox correspondientes.

Una vez se pulse el botón “Aceptar” el o los tipos de eficiencia seleccionados serán representados en el área gráfica de MAGUI.

Las líneas de eficiencia podrán coexistir con la de ganancia dentro del área gráfica y cada tipo tendrá un eje Y diferenciado. Para la ganancia, el eje Y estará representado a la izquierda del área gráfica mientras que el de eficiencias estará en el margen derecho. Esto implica que cada tipo de archivo está en un “axes” diferente, y se deberán controlar por separado aunque esto será profundizado más adelante.

Las propiedades de la gráfica por defecto son las siguientes:

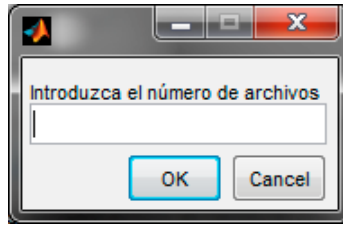
Atributo	Valor
Color de línea	Aleatorio
Título	“Ganancia - Eficiencia”
Etiqueta eje X	“[GHz]” por defecto
Etiqueta eje Y (derecha)	“[%]”
Tamaño de línea	2
Marker	Ninguno
Tipo de línea	Continua

**Tabla 4-7:** Propiedades de línea por defecto de Eficiencia

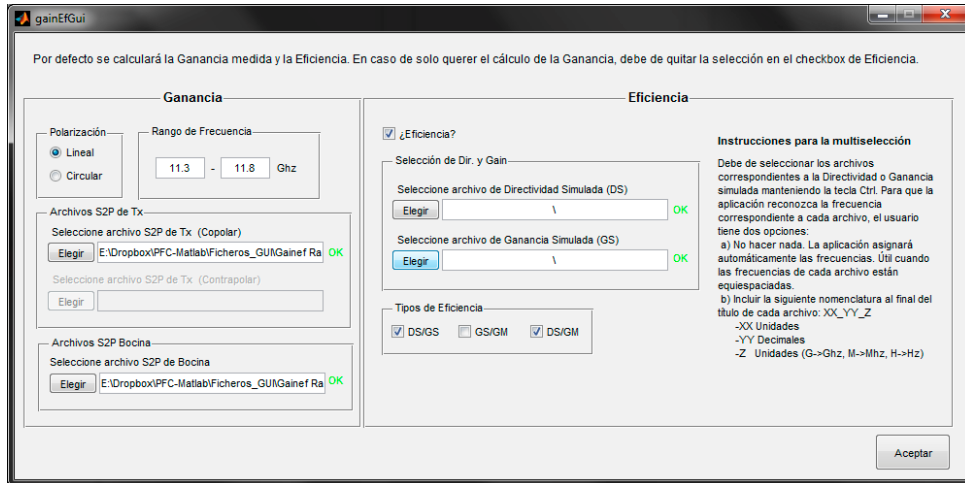
### **EJEMPLO:**

El usuario quiere representar las eficiencias de tipo Directividad Simulada vs Ganancia Simulada (DS/GS) y Directividad Simulada vs Ganancia Medida (DS/GM). Para ello utilizará 6 archivos de directividad y ganancia simuladas. Decide no añadir ningún código a los títulos ya que las frecuencias de cada archivo están equiespaciadas. El rango de frecuencias para la representación será desde 11.3 a 11.8 GHz.

- En primer lugar, el usuario rellena las propiedades de la interfaz “GainEfGui”, tanto las del panel de ganancia como de eficiencia con los parámetros previamente descritos:
  - Tipo de polarización: Lineal
  - Rango de frecuencias: 11.3 – 11.8 GHz
  - Se cargan los archivos S2P de la antena de transmisión y de la bocina.
  - El checkbox de eficiencia debe de estar activo.
  - Se añaden 6 archivos de Directividad simulada y 6 de Ganancia simulada. Cuando se pulsa en el botón “Elegir”, aparece un cuadro de diálogo en el que pide al usuario que introduzca el número de archivos a introducir en cada caso.
  - Tipos de Eficiencia: DS/GS y DS/GM.

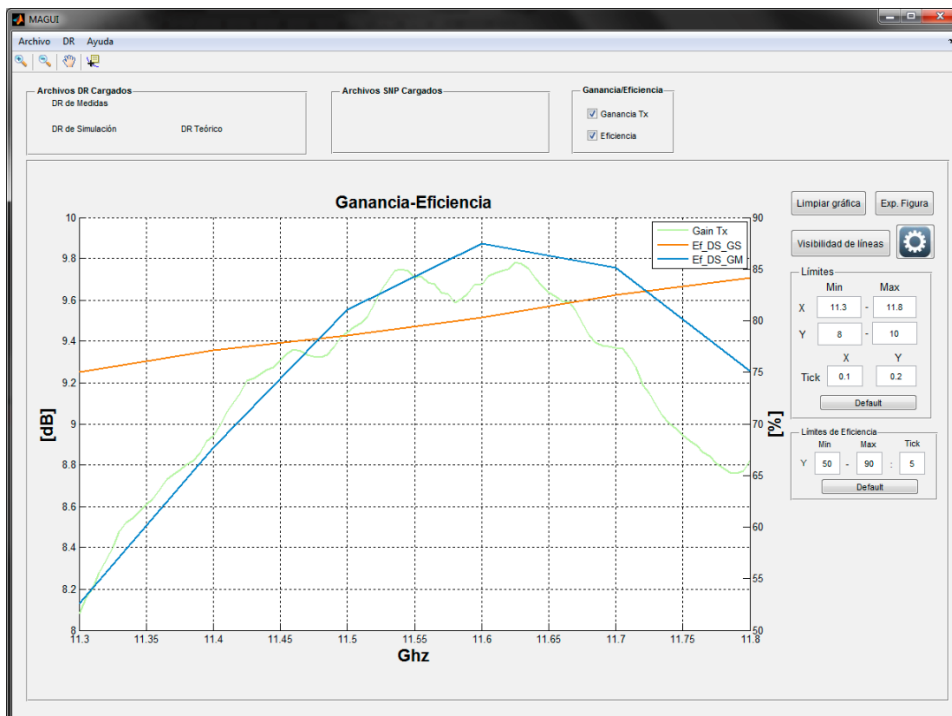


**Figura 4-40:** Cuadro de diálogo para introducir el número de archivos que se van a cargar



**Figura 4-41:** Interfaz “GainEfGui” rellena con las propiedades del ejemplo.

- Al pulsar en el botón “Aceptar”, la aplicación realizará los cálculos de la ganancia y de las eficiencias y los mostrará en el área gráfica de MAGUI.



**Figura 4-42:** Gráfica final con el resultado del cálculo de la ganancia y de las eficiencia propuestas en el ejemplo (DS/GS) y (GS/GM)

#### 4.4.4 Otras Funcionalidades

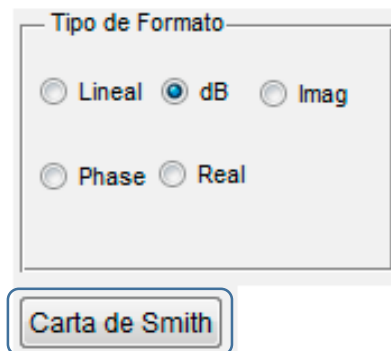
Existen otras funcionalidades que permiten al usuario realizar modificaciones o cambios de representación dependiendo del tipo de instancia que esté activa. A pesar de tener relación con un tipo específico de instancia, se han separado en esta sección debido a que estas no acaban en la creación o representación de un nuevo tipo de instancia. Entre ellas se pueden encontrar: representación de carta de Smith, exportación a una figura externa, desactivación de todas las instancias a la vez para dejar el área gráfica despejada, etc.

A continuación se describirán una a una con ejemplos de uso en aquellas que supongan un flujo más complejo.

##### 4.4.4.1 Representación en carta de Smith

Esta utilidad solo está disponible cuando una instancia de tipo SNP está activa. Permite la representación en carta de Smith de los parámetros S que el usuario elija, ya sea de una sola instancia o la combinación de varias.

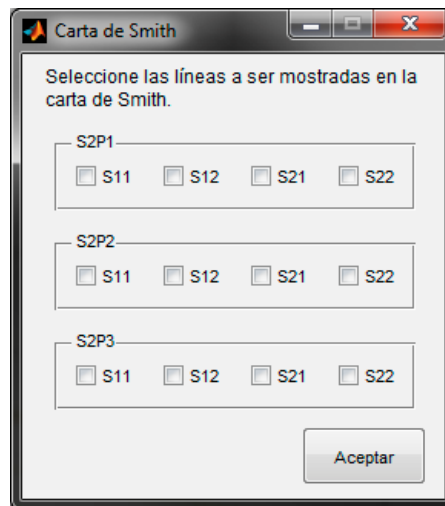
Para poder acceder a la funcionalidad, cuando una o varias instancias de tipo de Archivo SNP estén activas, se hará visible un botón debajo del panel de “Tipo de Formato” en la interfaz principal MAGUI.



**Figura 4-43:** Detalle del botón para acceder a la funcionalidad de la Carta de Smith

Cuando el usuario pulsa el botón, se carga una nueva interfaz que contiene todos los parámetros S de todas las instancias SNP cargada, sin importar si están activas o no.

El usuario debe de elegir los parámetros que quiere representar en carta de Smith y pulsar en el botón “Aceptar”.



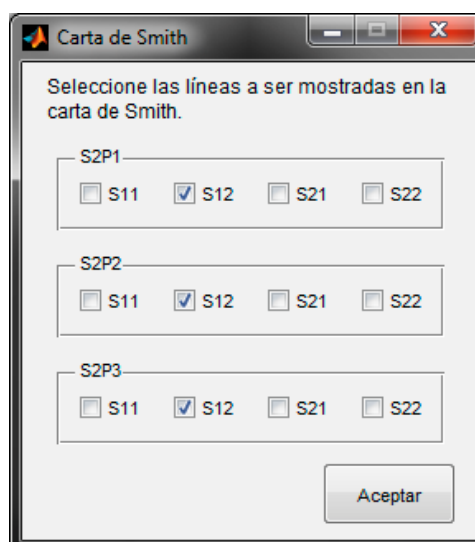
**Figura 4-44:** Ejemplo de interfaz de Carta de Smith cuando hay tres instancias de archivos S2P cargadas.

La representación en carta de Smith se realizará en una figura independiente del área gráfica de la interfaz MAGUI y no se podrán modificar las propiedades de las líneas que lo conformen mediante la interfaz “GraphConfGui”. En su lugar, el usuario deberá utilizar las herramientas que incluye Matlab en sus figuras.

### **EJEMPLO:**

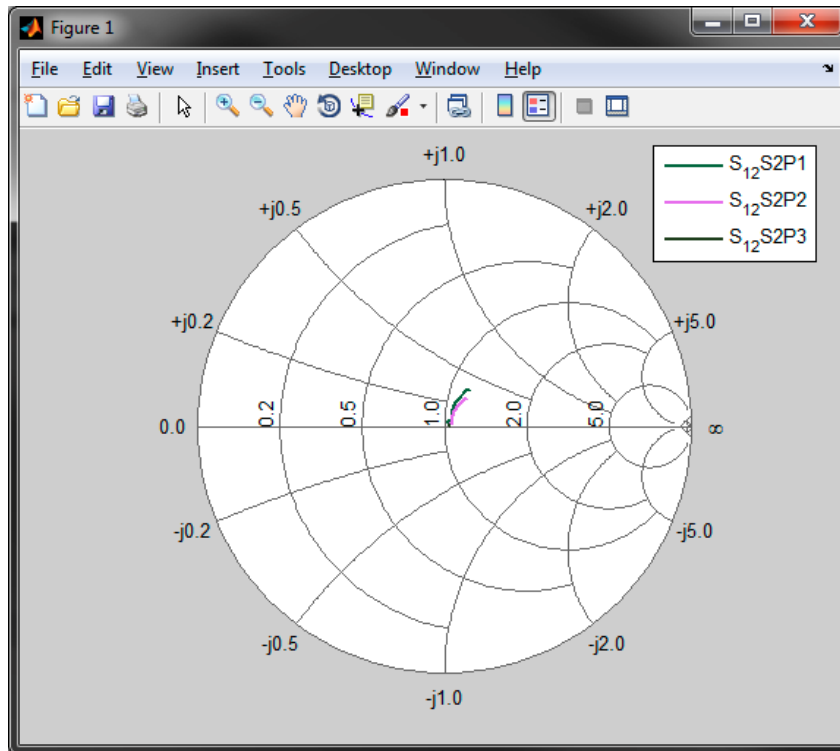
El usuario ha cargado previamente tres archivos de tipo S2P y ha llamado a las instancias: “S2P1”, “S2P2” y “S2P3” respectivamente. Quiere representar los parámetros S12 de cada una de ellas en una carta de Smith para compararlos.

- En primer lugar el usuario accede a la interfaz donde se muestran todos los parámetros S disponibles. Para ello pulsa en el botón “Carta de Smith” en la interfaz MAGUI.
- Una vez que la interfaz se ha cargado, selecciona los parámetros S12 de cada instancia.



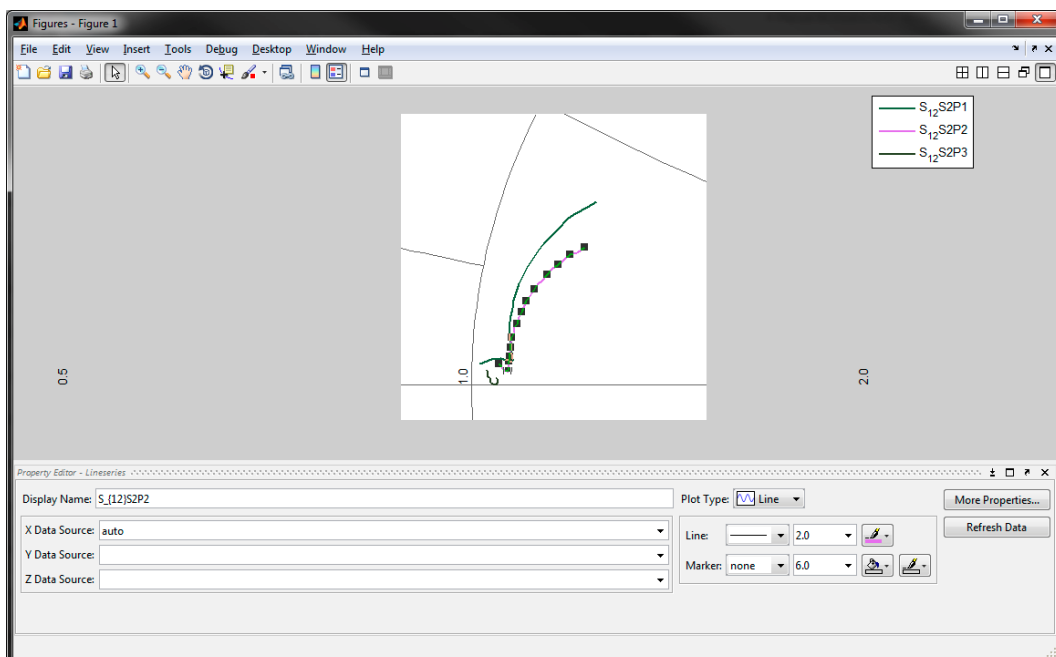
**Figura 4-45:** Interfaz de Carta de Smith con los parámetros de ejemplo

- Al pulsar en “Aceptar” se crea una nueva figura donde se representan las tres líneas. Además también se generará una leyenda con los nombres genéricos de cada línea.



**Figura 4-46:** Resultado final de la carta de Smith del ejemplo.

- El usuario quiere ahora cambiar las propiedades de las líneas. Para ello, en el menú contextual de la figura, accede a View→Property Editor. La interfaz que aparece permite la modificación de las propiedades básicas de una línea.



**Figura 4-47:** Interfaz de Matlab para cambiar las propiedades de las líneas de la Carta de Smith

#### 4.4.4.2 Exportación a otra figura

En diversas ocasiones, el usuario puede necesitar manejar la gráfica con otras funcionalidades más específicas proporcionadas nativamente por Matlab. Gracias al botón “Exportar Figura”, todas las líneas visibles en el área gráfica en MAGUI se copiarán, junto a sus propiedades, a una nueva figura propia de Matlab. Estas líneas son totalmente configurables mediante las herramientas de Matlab. Los cambios realizados en la interfaz “graphConfGui” solo tendrán efecto en las gráficas situadas en el área gráfica de MAGUI y nunca en la nueva figura.

Este paso es imprescindible para exportar la gráfica a un archivo de imagen.

#### EJEMPLO:

El usuario ha cargado un diagrama de radiación medido y otro diagrama de radiación simulado y solo ha dejado visibles sus componentes copolares. Ahora quiere exportar la gráfica a un archivo con formato .jpg.

- Tras haber realizado la carga de los archivos y haberle dado el formato adecuado, el usuario pulsa el botón “Exportar Figura”, localizado en el área de configuradores de gráfica. En ese momento, se creará otra figura con una copia del área gráfica.



Figura 4-48: Detalle del botón para exportar a otra figura.

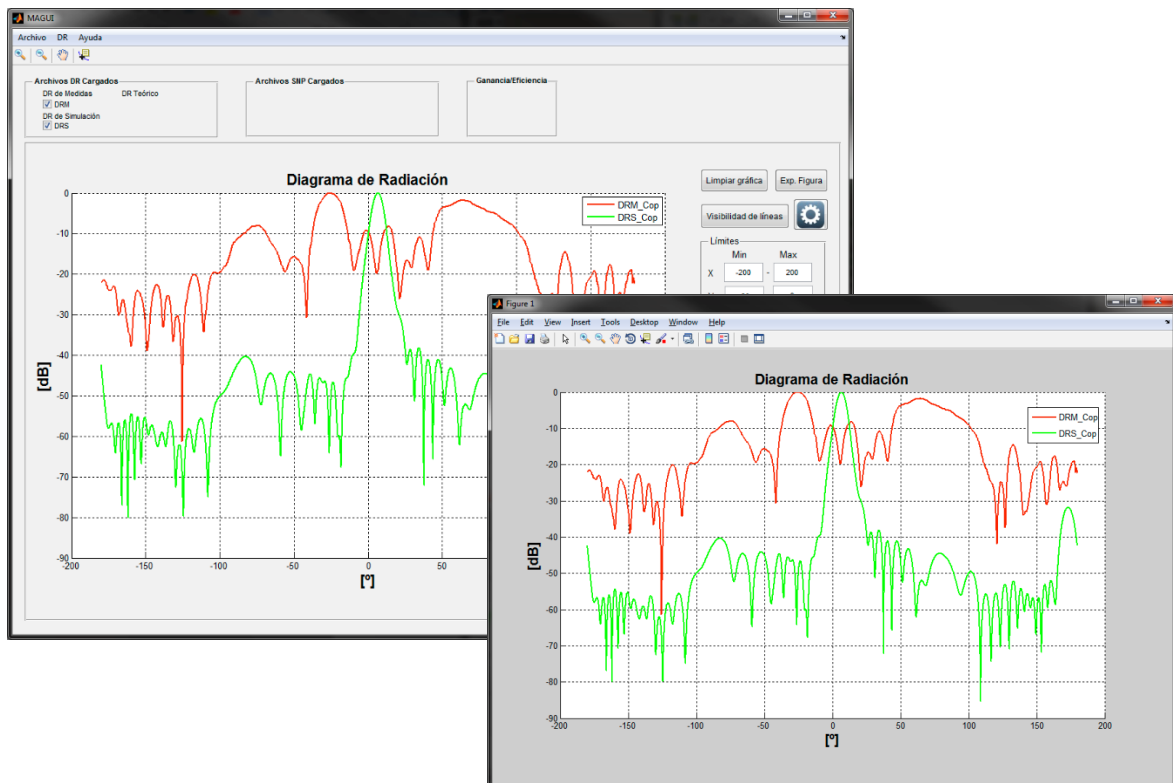

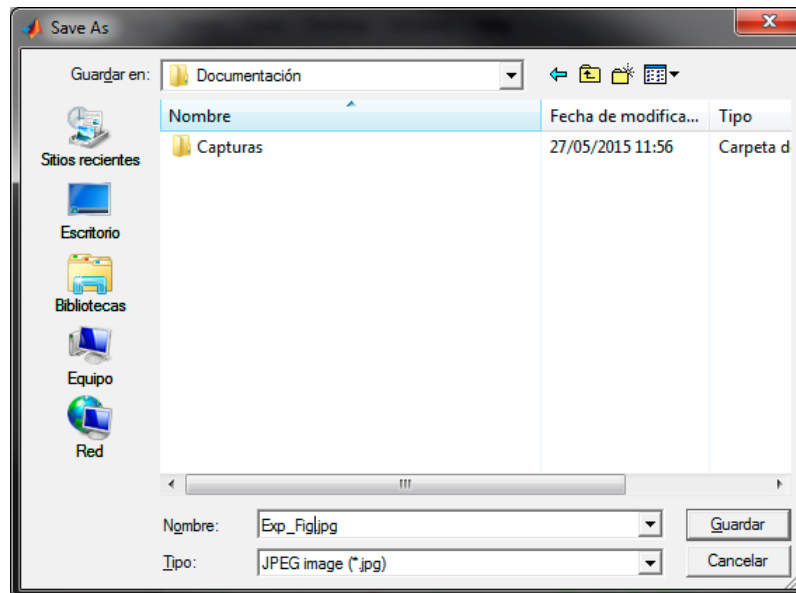


Figura 4-49: Tras pulsar en el botón “Exp. Figura” se creará una nueva figura con una copia exacta de lo mostrado en el área gráfica de MAGUI.

- Para guardar el archivo en .jpg, el usuario hace click en icono de “Guardar como” . Tras esto, aparecerá una ventana dónde el usuario deberá de elegir el nombre del archivo, así como el tipo y la localización de este. Para este ejemplo se ha utilizado:
  - Nombre: “Exp\_Fig.jpg”
  - Tipo: JPGE




**Figura 4-50:** Ventana de selección de archivos

- Cuando se pulse en Guardar, la imagen generada se guardará en la ruta especificada.

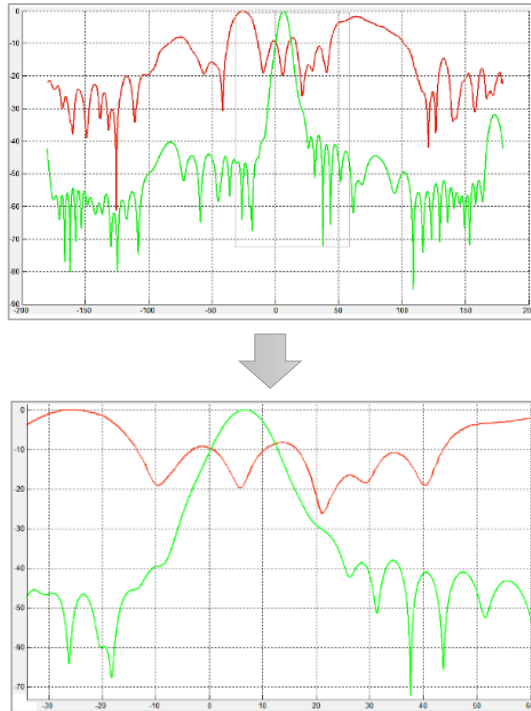
#### 4.4.4.3 Herramientas de visualización

Estas herramientas, localizadas debajo del menú contextual de la interfaz principal MAGUI, permiten al usuario modificar la visualización del área gráfica.

A continuación se describirán más en profundidad cada una de las acciones.

-  **Zoom +:** Permite la magnificación de un área en concreto del área gráfica. Cuando se utiliza, los límites indicados en el panel de “Límites” de MAGUI también se actualizarán.

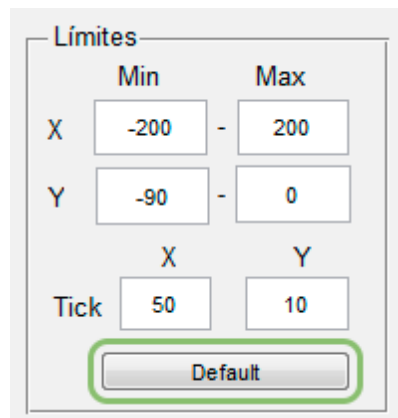





**Figura 4-51:** El área gráfica antes (arriba) y después (abajo) de aplicar un Zoom +

Para volver a los límites por defecto, el usuario tiene dos opciones:

- Mediante el botón “Default” situado en el panel de límites.



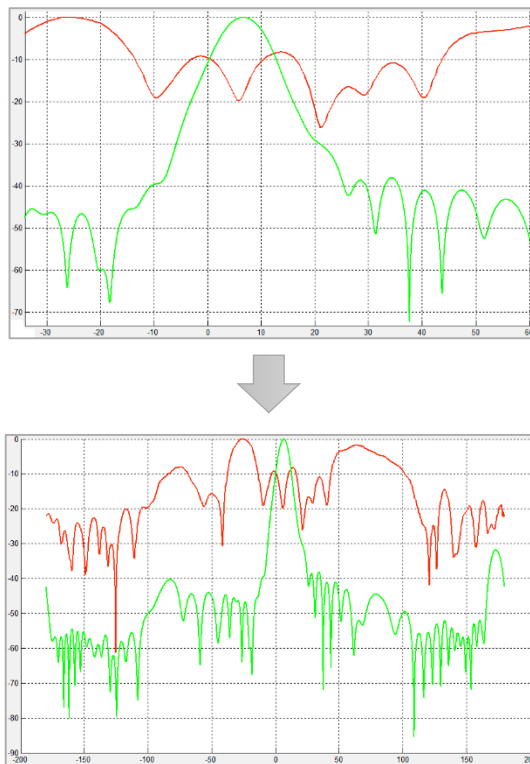
**Figura 4-52:** Detalle del botón default del panel de límites en MAGUI

- Mediante las opciones propias de Matlab, accesibles mientras esté seleccionado el botón . Para ello, el usuario debe pulsar el botón derecho del ratón sobre el área gráfica y seleccionar la opción “Reset to Original View”.





**Figura 4-53:** Menú contextual tras hacer click con el botón derecho del ratón en el área gráfica

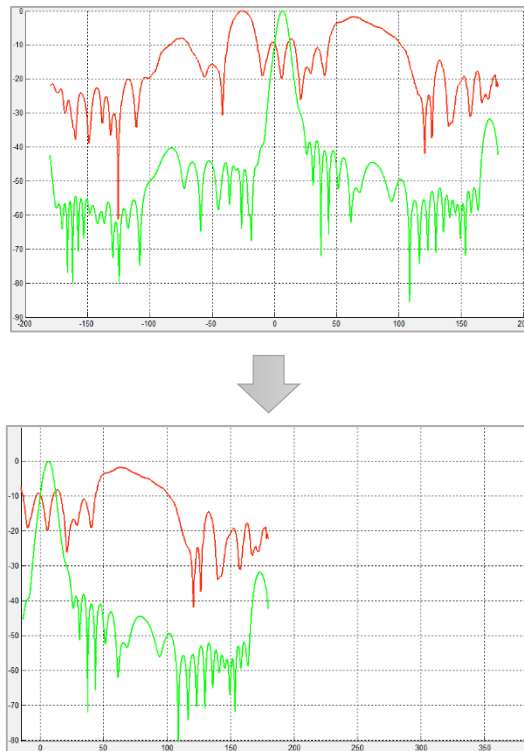
-  **Zoom -** : Realiza la acción contraria al Zoom +, ampliando la imagen.



**Figura 4-54:** El área gráfica antes (arriba) y después (abajo) de aplicar un Zoom -


Los límites también se actualizan cuando se quita la selección del botón . Para recuperar los límites por defecto se utilizan los mismos métodos explicados en la utilidad de Zoom +.


-  **Pan:** Gracias a esta herramienta, el usuario puede desplazarse por la gráfica. Al igual que Zoom + y Zoom -, el panel de Límites se actualizará cuando se realice cualquier desplazamiento.

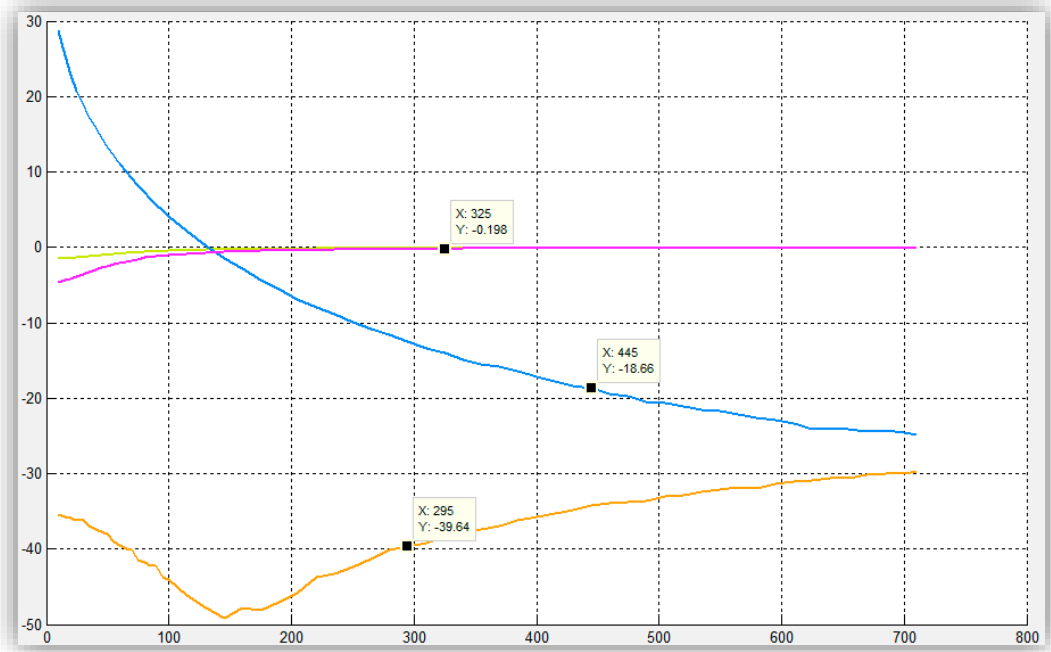


**Figura 4-55:** El área gráfica antes (arriba) y después (abajo) de aplicar un desplazamiento con la herramienta de Pan.

Recuperar los límites por defecto sigue los mismos criterios que en las herramientas anteriores.

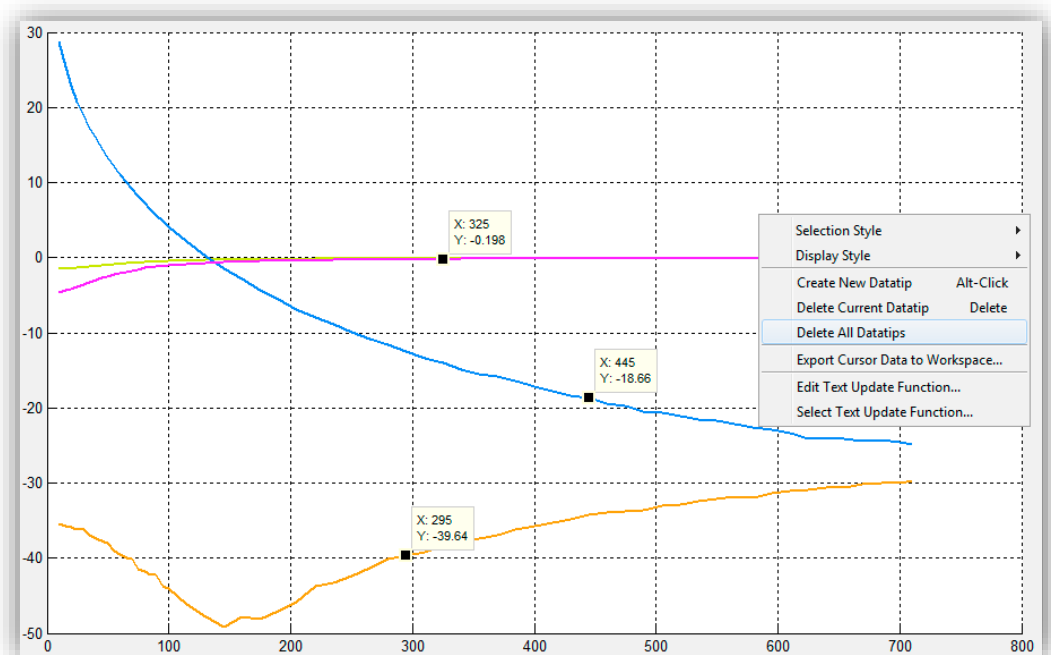
-  **Cursor:** Permite al usuario colocar un cursor en punto específico de una línea, mostrando las coordenadas de este punto dentro de los ejes.

Una vez colocado, es posible moverlo con las teclas de dirección del teclado para ir saltando al punto adyacente. Además, el usuario puede colocar más de un cursor en una misma línea o en otra diferente. Para ello, hay que acceder a las opciones que proporciona Matlab haciendo click con el botón derecho en el área gráfica con el botón de cursor  activo. Dentro, el usuario debe de pulsar la opción “Create New Datatip” y acto seguido hacer click con el botón izquierdo en el punto de la línea en el que se quiera colocar el nuevo cursor.



**Figura 4-56:** Ejemplo de la colocación de tres cursores en diferentes líneas del área gráfica

Para eliminar el cursor, hay que volver a entrar a las opciones de Matlab con el botón derecho del ratón en el área gráfica y seleccionando la opción “Delete Current Datatip” para borrar el último cursor seleccionado o “Delete All Datatips” para borrar todos los existentes.



**Figura 4-57:** Detalle del menú contextual para eliminar los cursores

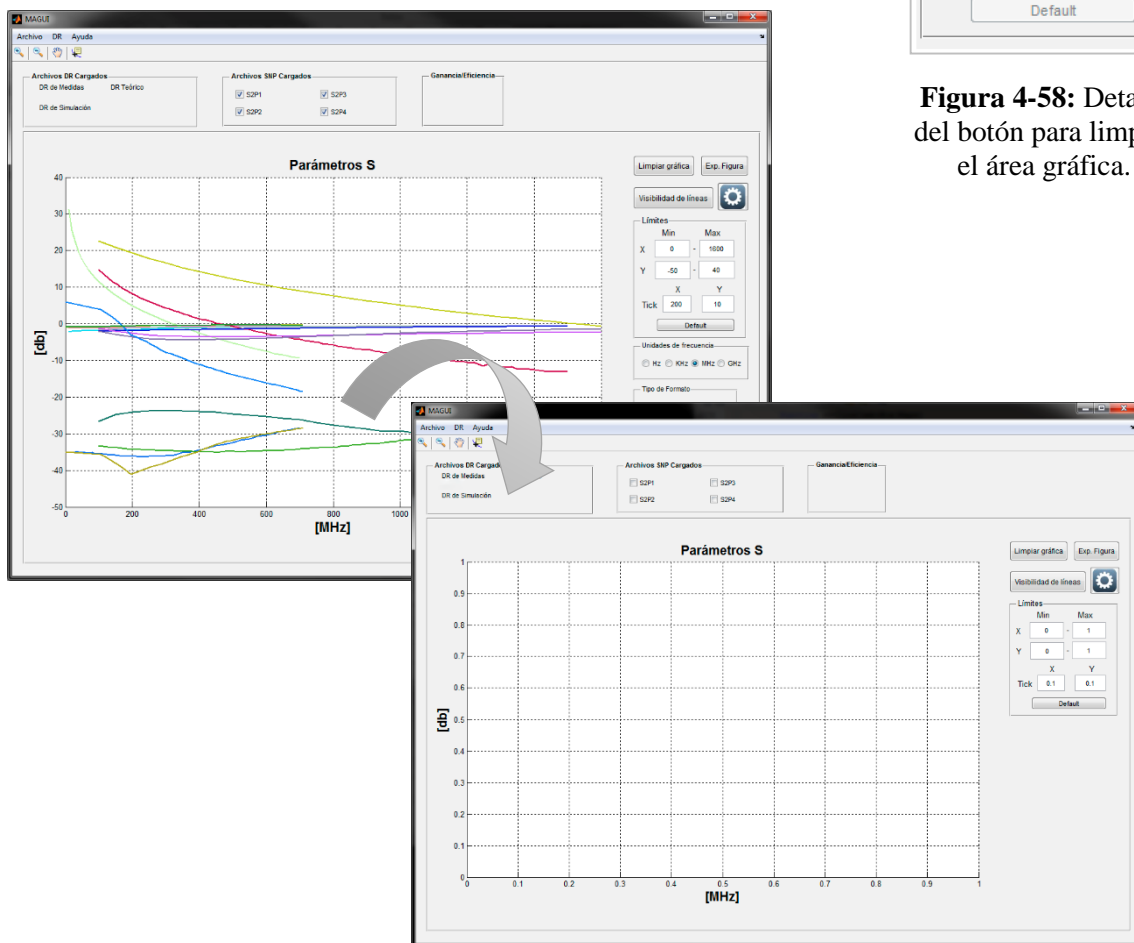
#### 4.4.4.4 Despejar Gráfica

Cuando el usuario ha cargado un gran número de archivos y quiere despejar el área gráfica, en lugar de ir desactivando una por una las diferentes instancias, podrá utilizar la utilidad de “Limpiar Gráfica” que desactivará todas las instancias. Para esto, en el área de configuradores de página se encuentra el botón “Limpiar Gráfica”.

Las instancias no son eliminadas y el usuario podrá volver a activarlas manualmente desde los paneles de instancias.



**Figura 4-58:** Detalle del botón para limpiar el área gráfica.



**Figura 4-59:** Detalle del antes (arriba a la izquierda) y del después (abajo a la derecha) tras haber pulsado el botón de “Limpiar Gráfica”.

#### 4.4.5 Superar el número máximo de instancias

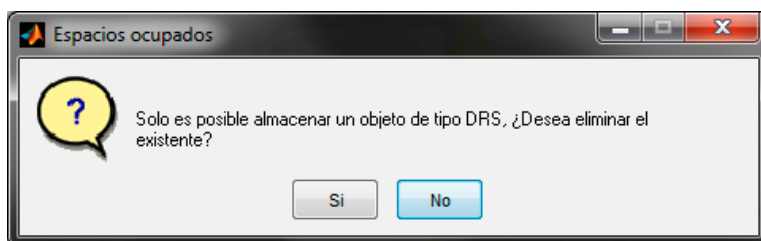
Como se ha ido indicando a lo largo del texto, la aplicación tiene un límite en el número de instancias que el usuario puede tener cargadas simultáneamente. Este número dependerá del tipo de instancia. En la tabla 4-8 se recogen los diferentes tipos de instancia con sus respectivos límites de instancias.

Tipo de instancia	Límite
<b>DRM</b>	3
<b>DRS</b>	1
<b>DRT</b>	1
<b>SNP</b>	4
<b>Ganancia</b>	1
<b>Eficiencia</b>	1

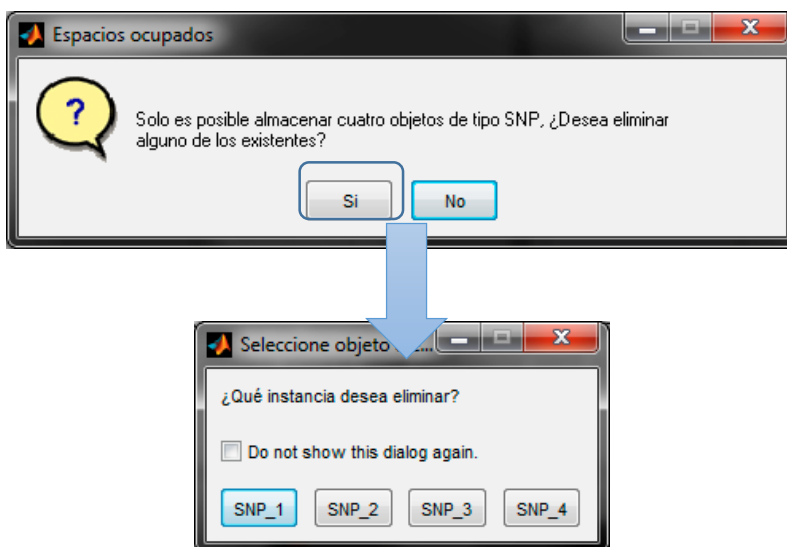
**Tabla 4-8:** Límites de instancias dependiendo del tipo

Cuando el usuario intenta cargar un nuevo archivo y ya había alcanzado previamente el número máximo de instancias de ese tipo de archivo, la aplicación mostrará un cuadro de diálogo en el que el usuario puede elegir si desea reemplazar la ya existente por la nueva o si, por el contrario, desea conservarla. En caso de que el tipo de instancia sea mayor que uno, el usuario podrá elegir qué instancia será eliminada en caso de querer reemplazarla por la nueva.

A continuación se muestran algunos ejemplos:



**Figura 4-60:** Ejemplo de cuadro de diálogo cuando se supera el límite de instancias de un tipo de archivo con 1



**Figura 4-61:** Ejemplo de cuadro de diálogo cuando se supera el límite de instancias de un tipo de archivo con límite de instancias mayor que 1. En este caso, al pulsar en “Si” (arriba), aparece otro cuadro de diálogo (abajo) dónde el usuario debe de elegir la instancia existente a eliminar

# **5 Integración, pruebas y resultados**

---

## **5.1 Introducción**

En este punto se indicará la metodología seguida para el testeo de la aplicación. Así como las fases por las que pasó el proyecto a nivel de QA (Quality assurance).

## **5.2 Metodología de pruebas**

En este apartado se desarrollará la metodología seguida por el autor a la hora de “depurar” la aplicación.

En primer lugar, se ejecutaban pruebas unitarias a cada función o nueva GUI que se desarrollaba con el objetivo de asegurarse del correcto funcionamiento de cada “pieza”. Para ello, y en función del tipo de desarrollo, se diseñaban diferentes flujos de trabajo en los que única y exclusivamente se viera involucrada la parte desarrollada.

Las pruebas de integración, permitían al autor comprobar la interconexión entre los diferentes “módulos” y su correspondiente funcionalidad. Para ello, se diseñaron flujos completos de trabajo en los que interactuaran las diferentes partes. Se consideraba que el flujo funcionaba correctamente cuando este arrojaba resultados esperados en cada uno de los pasos y se daba por buena la batería de pruebas cuando todas arrojaban un resultado esperado.

Cuando se desarrollaba funcionalidad nueva era imprescindible probar los flujos de trabajo previos. Esto era especialmente importante cuando los desarrollos intervenían de manera directa a una de las funciones u objetos ya terminados. En ese caso se rediseñaban los flujos de trabajo (en caso de ser necesario) y se repetían las pruebas.

En cada una de las fases, en caso de necesitarlo, se utilizaban ficheros con datos previamente analizados por medio de otras herramientas o scripts y con resultados ya conocidos.

## **5.3 Fase Alpha**

La fase Alpha fue ejecutada por el autor principalmente. El tutor también realizó pruebas de manera exhaustiva. De esta fase se obtuvo gran cantidad de mejoras y nuevos desarrollos, en principio no contemplados en el primer diseño del proyectos.

## **5.4 Fase Beta**

Cuando el desarrollo inicial de la aplicación se dio por finalizado y se pasó la fase Alpha, era imperativo que, previamente a la defensa de este proyecto, se permitiera al grupo de RFCAS probar la aplicación y obtener así fallos que no se detectaron en las fases previas e incluso posibles mejoras que ayudaran al grupo.

Después de hacer una demostración de la aplicación, se obtuvieron bastantes posibles mejoras y una importante cantidad de fallos detectados. Después de la corrección de estos, se estudió la inclusión de todas las mejoras propuestas. No obstante, y pese a que se

introdujeron la mayoría, otras fueron inviables de cara a la conclusión del proyecto y por ello fueron descartadas, quedando como posible trabajo futuro, que se desarrollará en la sección 6.2.

## **5.5 Resultados**

El carácter de este proyecto impide desarrollar unas conclusiones más típicas a un proyecto de investigación y es por ello que los resultados obtenidos de las pruebas solo demuestran el buen funcionamiento de la aplicación.

En cada una de las fases de pruebas, en caso de necesitarlo, se utilizaban ficheros con datos previamente analizados por medio de otras herramientas o scripts, con resultados ya conocidos. De esta manera, la comparación directa entre el resultado ya conocido y el resultado arrojado tras la ejecución de una prueba en la aplicación, era la manera de comprobar si era correcto o no.



## **6 Conclusiones y trabajo futuro**

---

### **6.1 Conclusiones**

En este proyecto se ha diseñado, desarrollado y probado una aplicación capaz de manejar archivos de medidas de la cámara anecoica de la EPS (UAM), así como otros obtenidos de fuentes como analizadores de redes o programas como CST Microwave Studio o EnsSyn1D para su posterior representación y tratamiento de tal manera que el usuario pueda obtener capturas totalmente personalizables para incluirlas en otros trabajos.

También ofrece la funcionalidad necesaria para poder utilizarse como una herramienta con la que comparar resultados de pruebas teóricas, simuladas y/o medidas.

Desde sus inicios, el proyecto aunaba dos condiciones que lo hacían especialmente interesante. Por un lado, resultaba una utilidad importante que iba a resultar en una mejora de rendimiento a la hora de trabajar con los datos de la cámara anecoica, evitando la, a veces, ardua tarea de la realización de scripts personalizados. Y por otra, el reto de realizar una aplicación partiendo de cero utilizando un tipo de programación en la que el autor era totalmente novato.

Antes de su defensa, se presentó una demostración a los miembros del RFCAS de cara a un testeo más orientado al usuario final. De aquí, se extrajo tanto una exhaustiva depuración de errores así como una serie de propuestas que, en su mayoría se convirtieron en mejoras desarrolladas y otras, que bien debido a falta de tiempo o a una complejidad excesiva, se quedaron como posible trabajo futuro, desarrollado en la siguiente sección (6.2).

### **6.2 Trabajo futuro**

Este proyecto se centra en satisfacer la mayor parte de las necesidades que los miembros del departamento de radiofrecuencia (RFCAS) puede tener a la hora de tratar los datos obtenidos de la cámara Anecoica de la EPS, así como otros ya comentados a lo largo del texto. No obstante, y debido a las peculiaridades de cada tipo de proyecto, las posibilidades de ampliación y mejora son considerables. El código de la aplicación ha intentado ser, en la medida de lo posible, lo más abierto a estas mejoras que pudiera llegar por parte del departamento o de otro estudiante. Se ha cuidado el etiquetar cada función así como el comentar cada punto que pudiera llevar a equívoco.

Al final del proyecto, las mejoras propuestas por aquellos que probaron la aplicación intentaron ser introducidas, pero debido a la falta de tiempo, no todas pudieron ser implementadas, quedando estas como posibles mejoras de futuro.

Entre ellas, la posibilidad de añadir un número considerable de diagramas de radiación medidos, de una vez, sin necesidad de ir uno por uno. Creímos conveniente que, a falta de tiempo para un desarrollo tan extenso, quedara en la posibilidad de tener hasta tres instancias.

Otra mejora radica en la posibilidad de crear perfiles de usuario de tal manera que el programa se adaptara a las preferencias de un usuario específico. Esto se traduce en, por ejemplo, una gama de colores para un tipo de archivo específico, tamaños de línea, markers, etc... que por defecto la aplicación asignaría. Esto es especialmente útil cuando la aplicación es utilizada para obtener gráficas para publicaciones u otro tipo de trabajo que requiera una configuración específica de las propiedades de las líneas o de la gráfica.

Posibilidad de que el usuario cargue un número de instancias ilimitadas tanto de diagramas de radiación como de SNP. Esto sería especialmente útil para aquellos que trabajen con una cantidad importante de estos.

Capacidad para el cálculo de la relación axial de la antena, pudiendo así medir la pureza de la polarización circular de una antena.

Otra funcionalidad interesante sería la posibilidad de que un usuario pudiera cargar un diagrama de radiación medido en campo cercano y mediante una serie de cálculos, la aplicación pudiera corregir el diagrama para estimar su forma de haber sido medida en campo lejano.

También sería útil la implementación de una utilidad para el cálculo de directividad de una antena medida. Para ello, es necesario integrar el campo radiado en varios planos Phi del espacio. Con esta técnica, también se podría calcular cual sería la directividad teórica de la antena asociada al diagrama de radiación teórico.

Relacionada con la anterior, y gracias a la posibilidad del cálculo de la directividad medida (DM) y de la Directividad Teórica (DT) de una antena, se podrían calcular nuevos tipos de eficiencia a las ya implementadas.

La optimización de la aplicación es otro de los posibles trabajos futuros. Pese a eso, el volumen de información manejado por la aplicación no es muy elevado y raras veces se verá reducido de manera notable el rendimiento. No obstante y si en futuras versiones se añade funcionalidad que permita el trabajo con grandes volúmenes de datos, puede hacerse patente la necesidad de mejorar en este aspecto.

Por último, y con una proyección de más a largo plazo, sería muy interesante desarrollar un método de comunicación entre la aplicación y el analizador de redes de la cámara anecoica a través de su módulo GPIB para controlar las medidas que se realicen en la cámara anecoica. De esta forma se podrían configurar baterías de medidas sobre una antena que se realizaran automáticamente sin necesidad de que el operador de la cámara anecoica tuviera que ejecutarlas una a una.

Todo esto siempre atendiendo las necesidades de los usuarios (miembros del grupo RFCAS) para aumentar y mejorar la funcionalidad de la interfaz.

# Referencias

---

- [1] Matlab Documentation, <http://es.mathworks.com/help/>
- [2] David García Valverde, “Diseño de un array lineal de parches sobre guía de sustrato integrado para banda Ku”, Escuela Politecnica Superior, UAM, Julio 2012
- [3] Sergio Casas Olmedo, “Diseño de un array lineal de parches sobre guía rectangular para banda Ku”, Escuela Politecnica Superior, UAM, Julio 2013
- [4] Register, Andy H., “A guide to MATLAB object-oriented programming ”, Chapman & Hall/CRC, 2007
- [5] Smith, Scott T. “Matlab advanced gui development”, Dog Ear, 2006.
- [6] Marchand, Patrick “Graphics and GUIs with MATLAB, 3rd Edition”, Chapman & Hall/CRC, 2003
- [7] B.-K. Chung and H.-T. Chuah “Modeling of RF Absorber from Application in the design of Anechoic Chamber”, Progress In Electromagnetics Research, PIER 43, 273-285, 2003.
- [8] Pablo Sánchez Olivares “Diseño de array lineal plano con guía de alimentación en sustrato integrado para banda Ku”, Escuela Politecnica Superior, UAM, Septiembre 2011.



## Anexos

---

### A Listado de métodos de los objetos Principales y Secundarios

En este anexo se podrá encontrar el listado completo de todos los métodos desarrollados para la aplicación objeto de este PFC junto con una pequeña descripción de la funcionalidad de estos. Estarán ordenados alfabéticamente para una mejor consulta aunque este orden no corresponda con el original en el código de la aplicación.

Además, se incluirán todas las funciones desarrolladas para las GUIs, en caso de haberlas.

### Controller

- *AxRatio*: Calcula el Axial Ratio y lo representa.
- *calculateNewFormat*: Realiza el cálculo del vector al nuevo tipo de formato.
- *circTransf*: Realiza las operaciones para el cálculo de la polarización circular.
- *errCheck*: Captura alguna de las posibles excepciones no controladas y muestra un error acorde a la necesidad de la aplicación.
- *getGainEf*: Obtiene los datos de la ganancia y eficiencia y realiza los cálculos y representaciones pertinentes.
- *getLineVisibility*: Comprueba si la propiedad de visibilidad de una línea está activa, y procede.
- *getM*: Obtiene los datos de medida almacenados en Maco.MR
- *getS*: Obtiene los datos de simulación almacenados en Maco.MR
- *getSNP*: Obtiene los datos de medida de parámetros S y los almacena para pintarlos.
- *getSmithChart*: Realiza las acciones necesarias para la representación de la carta de smith de los parámetros S seleccionados en una nueva figura.
- *getT*: Obtiene los datos teóricos almacenados en Maco.MR
- *linePropActions*: Realiza una acción en función de un parametro en evnt. Todo relacionado con las estructuras que contienen los datos de las propiedades de las líneas activas.
- *linePropFill*: Establece las propiedades de línea
- *MaguiController*: CONSTRUCTOR de la clase MaguiController.
- *ReadGainEf*: Lee los datos correspondientes a los archivos necesarios para el posterior cálculo de ganancia y/o eficiencia.
- *readM*: Lee los datos de un archivo de diagrama de radiación de medidas.
- *readS*: Lee los datos de un archivo de diagrama de radiación de simulación.
- *readSNP*: Lee los datos de un archivo de parámetros S.
- *readT*: Lee los datos rellenos en la GUI, y calcula el diagrama de radiación teórico. También guarda los datos en el objeto DRT.
- *reallocateObject*: Vuelca el contenido de la instancia temporal en la correcta.
- *setNewFormat*: Realiza la conversión de formato de una línea en función de lo elegido.

- *updateDensityMarker*: Se encarga de manejar la densidad de markers y actualizarla en la gráfica. También se encarga de cambiar propiedades como el tamaño de marker, el color de relleno de marker y el color del contorno del marker.
- *updateVisibilityList*: Actualiza las variables que indican la visibilidad de la línea o líneas correspondientes a una instancia.

## Presenter

- *axesDefault*: devuelve a los valores por defectos a los boxes de los límites, así como al valor de los axes.
- *axisGraphConf*: Funcion que cambia las propiedades de la gráfica dependiendo de la interacción con la GUI. Se pueden modificar los siguientes atributos:
  - Grid
  - Título
  - Etiqueta del eje x
  - Etiqueta del eje y
- *calculate\_GainEf*: Hace de enlace entre la GUI "GainEfGui" y el método "getData". Realiza las operaciones previas como comprobación de posibles instancias activas, etc.
- *call\_drtSelect*: Extrae los Handles de la GUI 'drtSelectGui' y los añade a la propiedad GuiHandles.
- *call\_drtTable*: Extrae los Handles de la GUI 'drtTable' y los añade a la propiedad GuiHandles.
- *call\_gainEfGui*: Extrae los Handles de la GUI 'call\_gainEfGui' y los añade a la propiedad GuiHandles
- *call\_graphConf*: Extrae los Handles de la GUI 'graphConf' y los añade a la propiedad GuiHandles
- *call\_linesRadButtonVisibilityGui*: Extrae los Handles de la GUI 'linesRadButtonVisibilityGui' y los añade a la propiedad GuiHandles
- *call\_newDRGui*: Extrae los Handles de la GUI 'newDRGui' y los añade a la propiedad GuiHandles.
- *call\_newSNPGui*: Extrae los Handles de la GUI 'newSNPGui' y los añade a la propiedad GuiHandles.
- *call\_selectFilesGui*: Extrae los Handles de la GUI 'cutGui' y los añade a la propiedad GuiHandles.
- *Call\_smithGui*: Extrae los Handles de la GUI 'smithGui' y los añade a la propiedad GuiHandles
- *changeDensityMarker*: Se comunica con la función "UpdateDensityMArker" del objeto Controller para la modificación de la densidad del marker.
- *changeDispName*: Se encarga de cambiar el Display Name de una línea en función de lo introducido en el campo correspondiente de la GUI "graphConf".
- *changeFormatType*: Permite cambiar el tipo de representación. Las opciones disponibles son: Lineal,dB,Phase,Real,Imag.

- *changeMarkerProps*: Se comunica con la función "updateCurrentProps" del objeto Controller para la modificación de ciertas propiedades del Marker (Tamaño, color de relleno y color de contorno).
- *changeXdata*: Realiza la operación de cambiar las unidades en todas las líneas activas.
- *checkAndSetLinesLoadedActive*: Chequea qué instancias están activas y activa los paneles correspondientes en la GUI "linesRadButtonVisibilityGui". Luego revisa las líneas que están visibles y pone el valor 1 en el radiobutton correspondiente.
- *checkCurrentFileType*: Comprueba qué tipo de instancia está activa y en caso de no poder coexistir (DR vs SNP por ejemplo), desactiva las contrarias. De esta manera nos aseguramos que unidades y formato coincida entre los mismos tipos de archivos.
- *chooseLine*: Obtiene el tag de la línea que se ha seleccionado en el combobox de la GUI "graphConfGui".
- *clearGraph*: Invisibiliza todas las líneas.
- *createLegend*: Crea una leyenda solo con las líneas activas (visibles).
- *currentAxesLimits*: Toma los valores actuales de los axes y los reescribe en los boxes. Esto es por si hay algún error.
- *defaultProps*: Vuelve a los valores por defecto de las propiedades de una línea.
- *deleteHandles*: Elimina los handles de la o las líneas que pertenezcan a una instancia.
- *disableInstanceLinesVisibility*: Tomamos las líneas a las que quitar la visibilidad de la instancia correcta.
- *drmGetData*: Realiza operaciones necesarias para la representación de DRM. Entre ellas, selección de copolar, cálculo de la distancia de campo lejano, etc.
- *enableInstanceLinesVisibility*: Tomamos las líneas a visibilizar de la instancia correcta.
- *enableRadioProps*: Activa los radiobuttons de la GUI "GraphConfGui".
- *enableLimitBoxes*: Activa los boxes para los límites cuando una gráfica existe.
- *exportGraph2Figure*: Exporta los elementos, así como sus propiedades existentes en el área gráfica de MAGUI a una figura externa.
- *fillLineProps*: Establece los radiobuttons de la GUI "GraphConfGui" en función de las propiedades de la línea.
- *getData*: Llama al objeto Controller para extraer los datos almacenados en los objetos secundarios que se quieren representar.
- *getLineTag*: Construimos el tag de la línea que necesitamos.

Ejemplos:

```
SNP -> 'S111_titulo_line
DR -> 'DRM1_titulo_line'
```

- *getSmith*: Se encarga de pedir al usuario qué parámetros S se van a mostrar en la carta de Smith y los envía a la función "getSmithChart" del objeto Controller para su representación.
- *graph2LimitsDefault*: Devuelve los ajustes de límites y span del axes 2 a los de por defecto.

- *graphConfMain*: Realiza todo el proceso tras seleccionar una línea en el combobox de la GUI “GraphConfGui”.
- *graph\_plot*: Se encarga de la representación de la o las líneas.
- *invisibleLine*: Hace invisible una línea en función del tipo de archivo.
- *isCorrectTitle*: Hace las comprobaciones pertinentes para determinar si un texto introducido en el campo de "Título" de algunas GUIs (newDRGui o newSNPGui entre otras) tiene el formato adecuado.
- *isLastCheckedInstance*: Comprueba si, dentro de los paneles de instancias en MAGUI, al desactivar una instancia, esta es la última o no. Es especialmente útil para ocultar paneles que solo deben de estar visibles cuando una instancia está activa.
- *lineColor*: En función del radiobutton elegido en el graphConf GUI, se cambiará el color de la línea de la gráfica.
- *lineMarker*: En función del radiobutton elegido en el graphConf GUI, se cambiará el tipo de línea.
- *lineStyle*: En función del radiobutton elegido en el graphConf GUI, se cambiará el tipo de línea.
- *lineWidth*: Permite cambiar el grosor de línea.
- *loadGainEf*: Llama a los métodos del objeto RespGainEf para la carga de los datos desde los ficheros seleccionados.
- *loadM*: Permite seleccionar el archivo de diagrama de radiación de medidas que se va a cargar. Extrae su nombre y dirección y lanza el evento ReadM para la clase MaguiController
- *loadS*: Permite seleccionar el archivo de diagrama de radiación de simulación que se va a cargar. Extrae su nombre y dirección y lanza el evento ReadS para la clase MaguiController
- *loadSNP*: Permite seleccionar el archivo SNP que se va a cargar. Extrae su nombre y dirección y lanza el evento ReadSNP para la clase MaguiController
- *loadT*: Realiza toda la gestión de generación del objeto DRT con los datos proporcionados y/o modificados.
- *locateProperFileTypePanel*: Se encarga de comprobar las instancias cargadas y de seleccionar la adecuada para el nuevo fichero a cargar.
- *MaguiPresenter*: CONSTRUCTOR de la clase MaguiPresenter.
- *markerTag*: En función del Marker elegido, obtenemos el tag del handle del radiobutton.
- *newSNP*: Se encarga del proceso de crear un nuevo objeto de tipo SNP así como la configuración de este a nivel visual.
- *noActiveLinesCheck*: Comprueba que no haya sido seleccionada ninguna línea en el combobox de la GUI “GraphConfGui”.
- *searchHandles*: Busca un handle dentro de GuiHandles por el tag. Si se encuentra, se devuelve el índice que ocupa dentro, si no, se devuelve un 0.
- *searchLine*: Hace una búsqueda dentro del cell de líneas visibles y añade al cell las visibles.
- *searchLineProperties*: Busca las propiedades de la línea seleccionada en el combobox de la GUI “GraphConfGui”.



- *selectCopXcopComp*: Cuando un usuario interactúa con el panel "copXcopPanel", esta función se encarga de realizar las acciones necesarias para activas/desactivar las componente copolar/contrapolar. Además controla la sincronización con otras GUIs como "linesRadButtonVisibilityGui"...
- *selectVHComponents*: LLama a la GUI "selectFilesGui" para seleccionar las componentes vertical y horizontal de un DRM.
- *setAsHz*: Transformación previa al cambio de unidades. Pasamos a Hz para después cambiar a la elegida en el método unitOperation.
- *setAxesLimits*: cambia los valores de los axes en función de los valores introducidos en los campos de texto del panel de Limits de MAGUI.
- *setAxesSpan*: Realiza los cambios de span en los axis correspondientes.
- *setCopXcopPanelProps*: Modifica ciertas propiedades dle panel "copXcopPanel" en MAGUI. Entre ellas la posición y visibilidad. Esto es para colocar adecuadamente el panel en función del tipo de instancia activa.
- *setGraphProps*: Cuando se abra la GUI "GraphConfGui", esta función se encargará de establecer los controles al valor actual de las líneas/axis.
- *setLineComboBox*: Actualiza las líneas activas en el combobox de graphConf (en caso de haberlas). También pone el valor de este en el neutro ('Select line' o 'No active lines') y deshabilita los controles de línea.
- *setRadiobuttonsVisibility*: Se encarga de habilitar/deshabilitar los radiobuttons de la gráfica
- *setUnitFormatPanelProps*: Inicializa el panel de cambio de unidades y de tipo de formato solo en caso de que no haya sido inicializado antes. Además actualiza el valor en caso de ser necesarios.
- *styleTag*: En función de la propiedad, obtenemos el tag del handle del radiobutton.
- *tagnameLine*: Adjudica un tag al handle de line y lo guarda en Mape.GuiHandles.
- *unitOperation*: Transformación final a las unidades seleccionadas en el panel ubicado en MAGUI.
- *updateGraph2Limits*: Realiza los ajustes de límite y span introducidos por el usuario al axes 2 que contiene las gráficas de eficiencia.
- *updateLegend*: Actualiza la leyenda. Toma todas las líneas activas y se las pasa a la función legend, lo que nos permite tener solo las líneas visibles.
- *updateLineVisRadioButtonState*: Actualiza el estado del control de la visibilidad de línea localizado en la gui lineRadButtonVisibilityGui.
- *visibleLine*: Hace visible una línea en función del tipo de archivo.
- *widthTag*: En funcion de la propiedad, obtenemos el tag del handle del radiobutton.
- *writeAxesLimits*: Se encarga de escribir los nuevos valores en los campos de texto del panel de Límites de MAGUI, esta función es llamada por otras para hacer el trabajo de escritura.
- *writeFarField*: Calcula y hace visible el valor de campo lejano correspondiente con la instancia representada.

## Object

- *getCurrentLineProps*: Se encarga de obtener las propiedades de una línea almacenada en la estructura linesProp.
- *getDefaultLineProps*: Se encarga de obtener las propiedades de una línea almacenada en la estructura linesProps.
- *MaguiObject*: CONSTRUCTOR de la clase MaguiObject.
- *readGainEf*: Crea un objeto de tipo RespGainEf que se encarga de leer y obtener los datos de los archivos necesarios para el cálculo de ganancia y eficiencia.
- *readMH*: Crea un objeto de tipo RespDRM que lee un archivo de medidas y lo guarda en él.
- *readMV*: Crea un objeto de tipo RespDRM que lee un archivo de medidas y lo guarda en él.
- *readS*: Crea un objeto de tipo RespDRS que lee un archivo de simulación y lo guarda en él.
- *readSNP*: Crea un objeto de tipo RespSNP que se encarga de leer y obtener los datos de un archivo SNP.
- *readT*: Crea un objeto de tipo RespDRT que lee un archivo de Medidas teóricas y lo guarda en él.
- *reallocateTempObject2Current*: Se encarga de volcar la información de la instancia temporal en la correcta
- *storeLineProps*: Se encarga de guardar las propiedades de la línea en la estructura linesProps del objeto correspondiente.
- *updateCurrentProps*: Actualiza las estructuras de propiedades actuales de las líneas en sus objetos correspondientes.

## RespDRMV

- *read\_DRMfile*: Almacena los parámetros S21 (Magnitud y Fase), el azimut, frecuencia de medida y elevación a partir de un fichero de medidas de lacámara anecoica de la EPS.
- *RespDRMV*: CONSTRUCTOR de la clase RespDRMV.
- *set\_DRMdatafile*: Almacena los parámetros S21 (Magnitud y Fase), el azimut, frecuencia de medida y elevación a partir de un fichero de medidas de la cámara anecoica de la EPS.

## RespDRMH

- *read\_DRMfile*: Almacena los parámetros S21 (Magnitud y Fase), el azimut, frecuencia de medida y elevación a partir de un fichero de medidas de lacámara anecoica de la EPS.
- *RespDRMH*: CONSTRUCTOR de la clase RespDRMH.

- *set\_DRMdatafile*: Almacena los parámetros S21 (Magnitud y Fase), el azimut, frecuencia de medida y elevación a partir de un fichero de medidas de la cámara anecoica de la EPS.

## RespDRS

- *read\_DRSfile*: Almacena los parámetros S21 (Magnitud y Fase), el azimut, frecuencia de medida y elevación a partir de un fichero de simulación.
- *RespDRS*: CONSTRUCTOR de la clase RespDRS.
- *set\_DRSdatafile*: Almacena los parámetros S21 (Magnitud y Fase), el azimut, frecuencia de medida y elevación a partir de un fichero de simulación.

## RespDRT

- *read\_DRTfile*: Almacena los parámetros necesarios para la representación de una instancia DRT.
- *RespDRT*: CONSTRUCTOR de la clase RespDRT.

## RespGainEf

- *calculate\_eficiency*: Calcula la/s eficiencia/s correspondiente/s.
- *calculate\_gainTx*: Calcula la ganancia de la antena transmisora.
- *readMultiEf*: Gestiona la multi selección de archivos de directividad simulada y ganancia simulada. Obtiene el máximo de cada fichero y la guarda en un vector que se utilizará para el cálculo de eficiencia.
- *read\_GainFiles*: En función del rango de frecuencias ingresado, se tomará uno o varios archivos de ganancia de la bocina y se extraerán los datos correspondientes a ese rango de frecuencias.
- *read\_S2Pfile*: Carga y obtiene los datos de los ficheros S2P de la antena de transmisión y la bocina.
- *calculate\_eficiency*: Carga y obtiene los datos de los ficheros de directividad simulada y ganancia simulada necesarios para el cálculo de eficiencia.
- *resizeLengthVectors*: Se encarga de redimensionar los vectores obtenidos (si fuera necesario) en función del rango de frecuencias introducido por el usuario para que coincidan sus dimensiones.
- *RespGainEf*: CONSTRUCTOR de la clase RespGainEf.
- *set\_SNPdatafile*: Almacena los parámetros S, su formato y sus frecuencias asociadas a partir de un fichero SNP.

## RespGainEf

- *read\_SNPfile\_2*: Almacena los parámetros S de la respuesta de un filtro, su formato y sus frecuencias asociadas a partir del identificador de un fichero SNP previamente abierto.
- *RespSNP*: CONSTRUCTOR de la clase RespSNP.
- *set\_SNPdatafile*: Almacena los parámetros S, su formato y sus frecuencias asociadas a partir de un fichero SNP.

## B Control de versiones

En este anexo se hará un pequeño control de versiones donde se describirá la evolución de la aplicación a lo largo de los diferentes desarrollos. Pese a que la aplicación ha ido evolucionando constantemente y el número de versiones tendería a infinito, se hará un resumen de aquellos puntos más importantes. Además es una manera excelente de ver el progreso a nivel gráfico de, sobre todo, la GUI principal MAGUI.

Para asignar la versión se seguirá la siguiente nomenclatura:

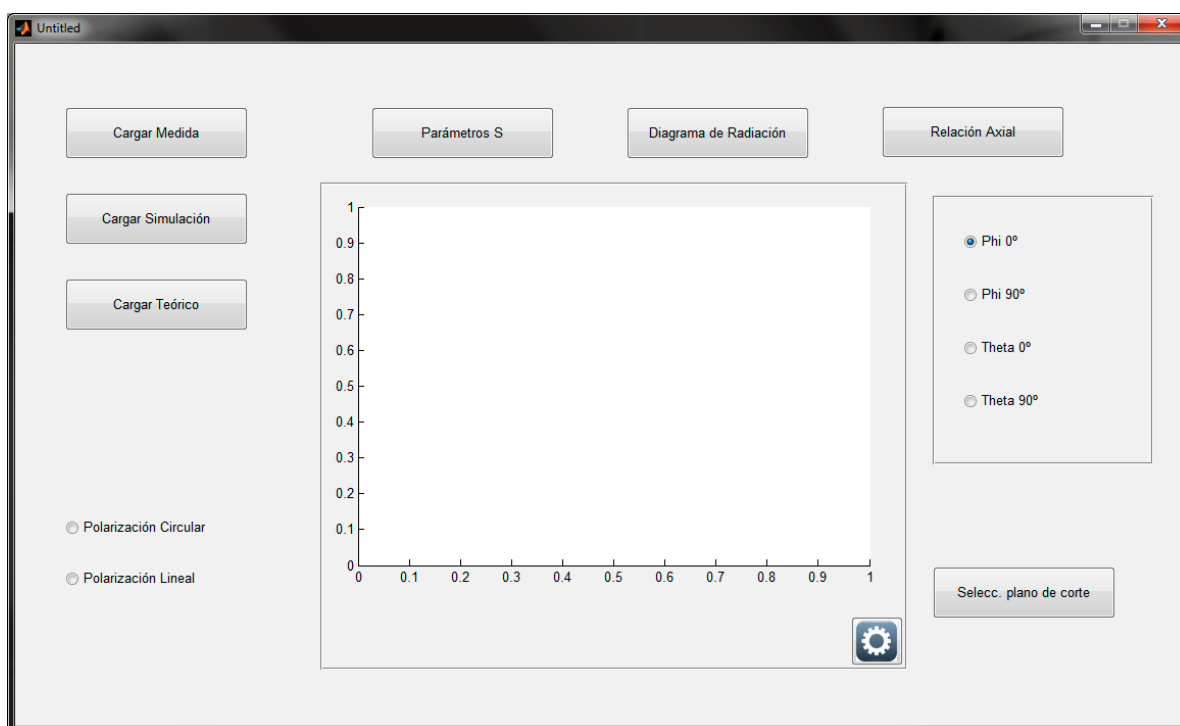
**X.Y**

Donde:

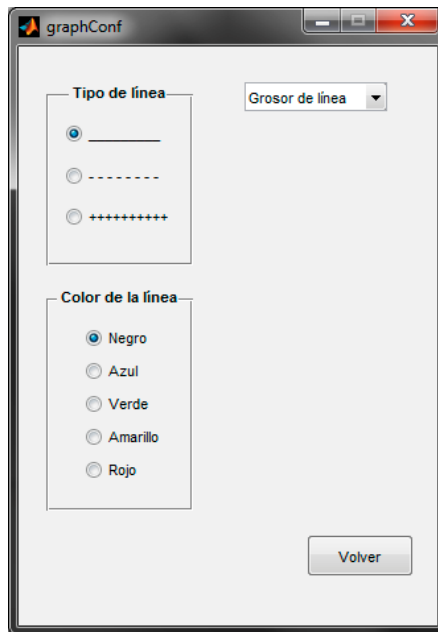
- X: Cambio mayor que implica modificaciones masivas a nivel lógico y visual. Empezará por 1.
- Y: Cambio menor que implica pequeños cambios de funcionalidad o adicción de alguna GUI. En este caso empezará por 0.

### Versión 1.0

Primera versión de la aplicación. Permitía representar diagramas de radiación medidos y simulados, parámetros S y modificar las propiedades más básicas de las líneas. Muy inestable y con una pobre experiencia de usuario.



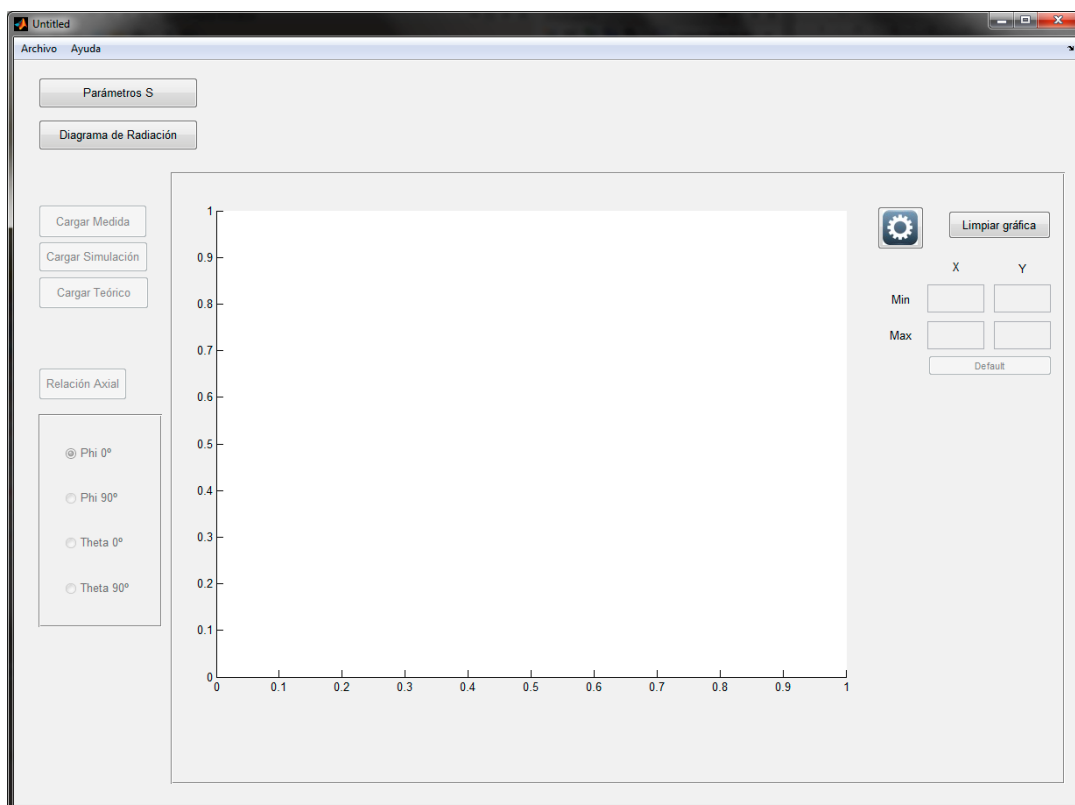
**Figura B-0-1:** Versión 1.0 de la aplicación.



**Figura B-0-2:** Versión 1.0 de la GUI “GraphConfGui”

## Versión 1.1

Rediseño a nivel gráfico de MAGUI haciendo el área gráfica mayor. La funcionalidad seguía siendo la misma pero más estable y con una experiencia de usuario completamente mejorada. Añadida funcionalidad de limpiar gráfica, panel de límites y la primera versión del menú contextual.



**Figura B-0-3:** Versión 1.1 de la aplicación

## Versión 2.0

Cambios importantes tanto en diseño como en funcionalidad. Añadidos iconos de visualización. Ahora todas las nuevas representaciones se realizan desde el menú contextual. Se han creado las GUIs “NewDRGui” y “NewSN2Gui” para manejar las nuevas representaciones. Adición de multiinstancia en archivos de tipo S2P además de otras funcionalidades menores. Se acerca al aspecto final.

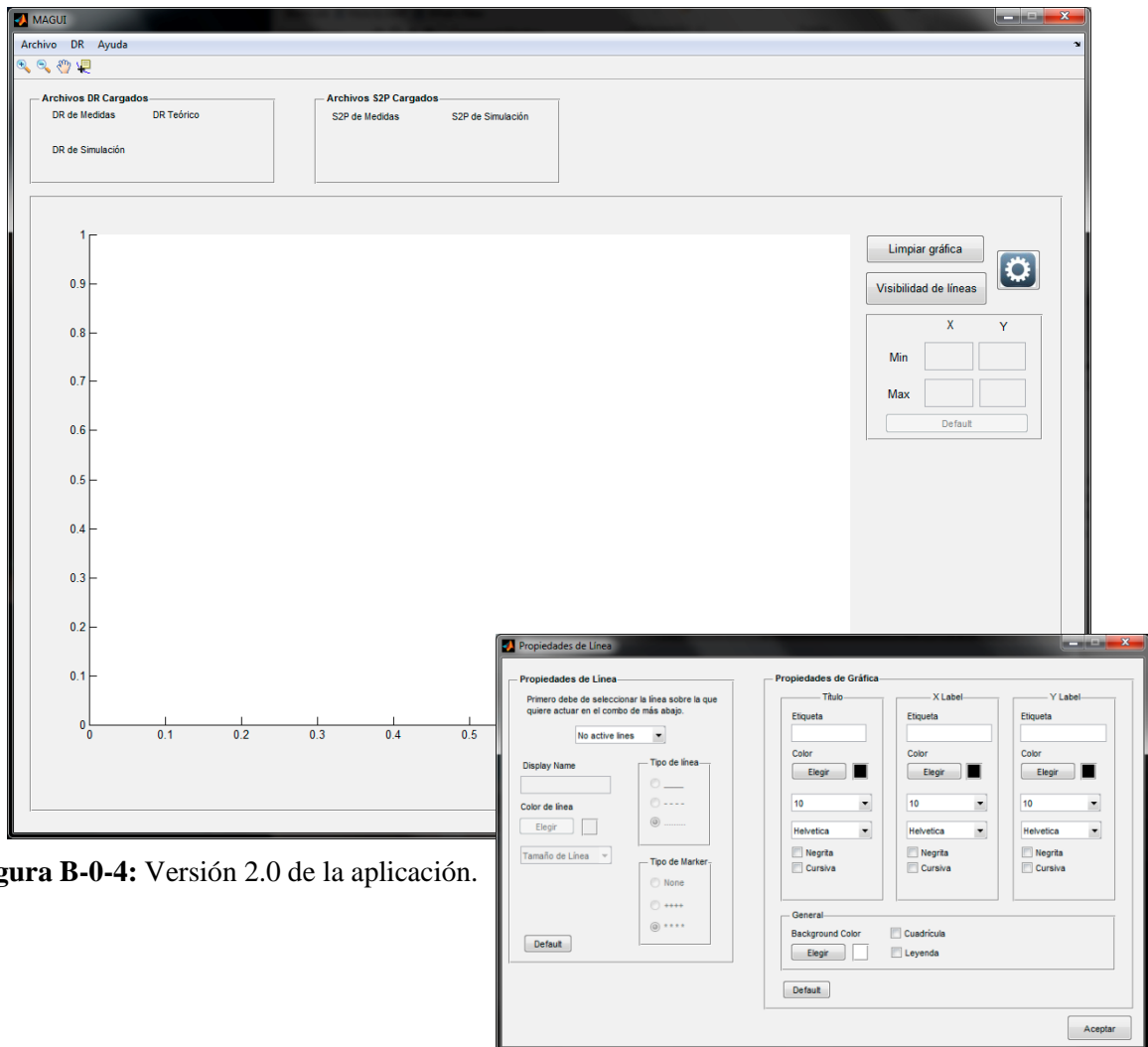
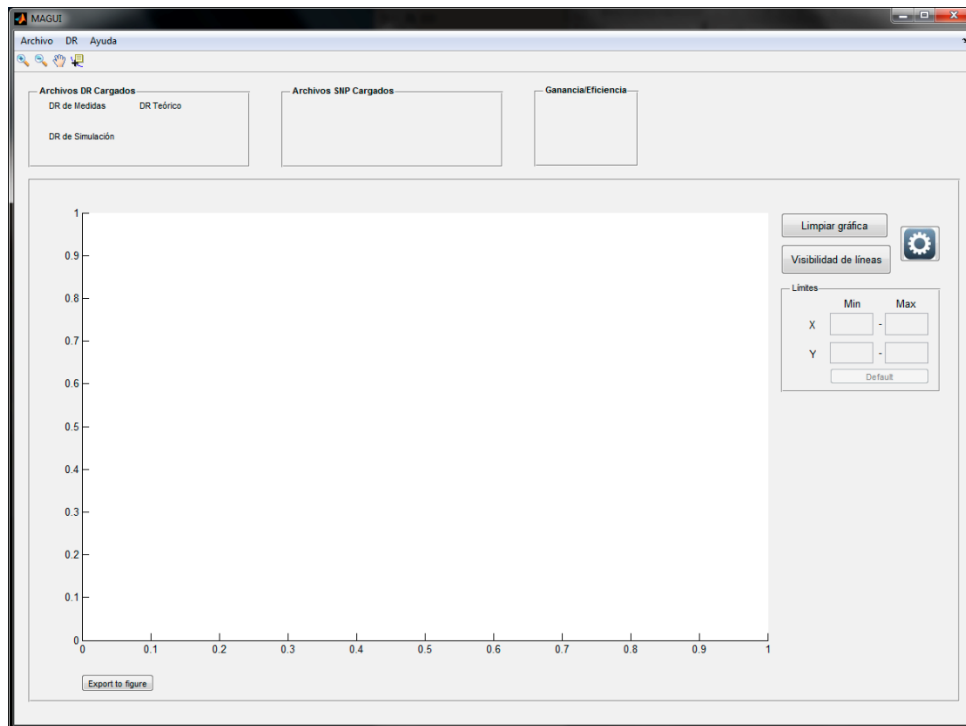


Figura B-0-4: Versión 2.0 de la aplicación.

## Versión 2.1

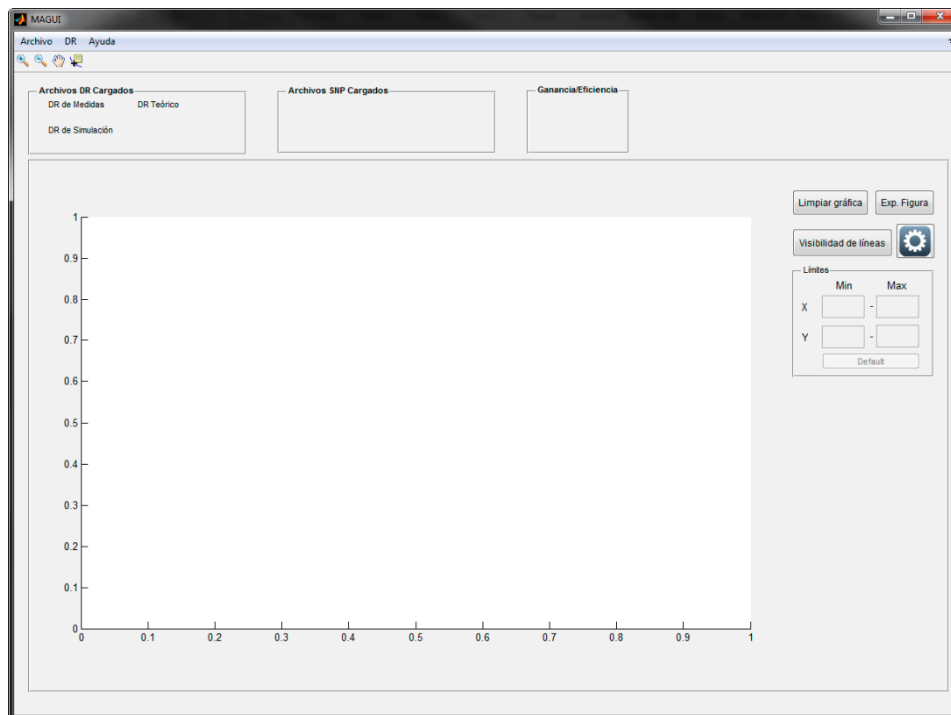
Añadida representación de ganancia y eficiencia, exportación a figura, versión final de representación de diagramas de radiación teórico, control de la densidad de markers, así como otras funcionalidades menores.



**Figura B-0-5:** Versión 2.1 de la aplicación

## Versión 2.2

Esta es considerada la versión final. Se ha terminado de añadir funcionalidades como la multiinstancia de DRM, adicción de la medida de campo lejano, control extenso de errores y refinamiento de la experiencia de usuario.



**Figura B-0-6:** Versión 2.2 y final de la aplicación



## C Requisitos del sistema

Después de que el autor, en conjunto con las personas que ayudaron a las pruebas de la aplicación objeto de este PFC, probara la aplicación en diversos sistemas, se llegó a la conclusión de que eran necesarios unos requerimientos mínimos tanto a nivel software como a nivel hardware para que la aplicación funcionara adecuadamente. Aunque son meramente orientativos y posiblemente la aplicación funcione con sistemas inferiores, la experiencia de usuario puede no ser satisfactoria.

Por ello se recogen en la siguiente tabla las características más importantes y sus valores mínimos:

Característica	Requisito mínimo	Observaciones
<b>Resolución de pantalla</b>	1200 x 800 pixeles	Una resolución menor provoca una mala visualización de la interfaz gráfica.
<b>Procesador</b>	Al menos Doble núcleo con frecuencia de 1,6 GHz o superior:  <b>Intel:</b> Pentium Dual Core Intel Core Duo Intel Core 2 Duo  O superior...  <b>AMD:</b> Athlon 64 x2 Phenom Athlon II Phenom II  O superior...	El rendimiento con procesadores de un solo núcleo será muy inferior.
<b>Sistema Operativo</b>	Windows XP Windows Vista Windows 7 Windows 8 / 8.1	No se ha probado con plataformas Linux ni Mac, por lo que se desconoce su funcionamiento.
<b>Memoria Ram</b>	2GB	Dependiendo de la plataforma, con 1 Gb puede ser suficiente.
<b>Matlab version</b>	R2012 o superior	Versiones inferiores pueden presentar problemas de compatibilidad con algunas funciones o incluso ni lanzar la aplicación.
<b>Espacio en Disco Duro</b>	~10 MB	

**Tabla C-0-1:** Requisitos mínimos recomendados



## PRESUPUESTO

### 1) Ejecución Material

- Compra de ordenador personal..... 1.000 €
- Licencia Matlab R2014 Standard ..... 2.000 €
- Alquiler de impresora láser durante 6 meses ..... 50 €
- Material de oficina ..... 150 €
- Total de ejecución material ..... 3.200 €

### 2) Gastos generales

- 16 % sobre Ejecución Material ..... 512 €

### 3) Beneficio Industrial

- 6 % sobre Ejecución Material ..... 192 €

### 4) Honorarios Proyecto

- 1000 horas a 18 € / hora..... 18.000 €

### 5) Material fungible

- Gastos de impresión..... 200 €
- Encuadernación..... 10 €

### 6) Subtotal del presupuesto

- Subtotal Presupuesto..... 22.114 €

### 7) I.V.A. aplicable

- 21% Subtotal Presupuesto ..... 4.643,94 €

### 8) Total presupuesto

- Total Presupuesto..... 26.757,94 €

Madrid, Septiembre de 2015

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Santiago Garrido Valenciano  
Ingeniero de Telecomunicación



## **PLIEGO DE CONDICIONES**

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de una aplicación en Matlab para la interpretación de datos obtenidos de la cámara anecoica de la EPS (UAM). En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

### **Condiciones generales**

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.

2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.

3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.

4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.

5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.

6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.

7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.

9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.

11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.

13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.

15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.

16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.

20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del

contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.

23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrata" y anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

### **Condiciones particulares**

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.

2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.

3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.

4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.

5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.

6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.

7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.

8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.

9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.

10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.

11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.

12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.