

1. Introducción

Cuando se trabaja con antenas, siempre aparece la pregunta de cómo probar las mismas sin tener que acudir al terreno para montarlas, medirlas y comprobarlas.

Con el avance de la computación, ha surgido también un nuevo concepto en el campo de las antenas, y es la simulación de las mismas mediante ordenador. Para este cometido existen multitud de programas, la mayor parte de ellos de pago. Quizás el más conocido sea NEC, en sus diversas versiones, y que a su vez, es el que más potencia presenta a la hora de las simulaciones. Pero el problema de los mismos estriba en su alto costo económico. Concretamente la versión de NEC-4 costaba a finales del año 2006 sobre 900 euros. Claro está que, para un uso profesional, bien vale ese desembolso, pero para un uso de aficionado podemos intentar buscar alternativas más económicas pero no por ello menos eficientes. Esto es lo que nos ofrece el programa MMANA. Como radioaficionado conocía la existencia del programa MMANA, pero nunca me había atrevido a usarlo por parecerme demasiado complejo. Por cuestiones que no viene al caso me vi necesitado de su uso y ello me llevó un esfuerzo en su aprendizaje, pues la bibliografía acerca del mismo es más bien reducida y, aunque existe en inglés, en español es casi nula, con algún pequeño tutorial sobre materias muy concretas que no viene a desarrollar todo el potencial que esta herramienta informática nos da.

Al no ser las instrucciones de funcionamiento del mismo muy escasas, me vi obligado a buscar características de funcionamiento de programas similares e ir aplicándolas a éste, para así, ir extrayendo conclusiones. Los resultados obtenidos son los que se muestran a continuación, y dado que, como se ha manifestado antes, el programa es de libre uso y distribución, se puede considerar un pequeño tutorial destinado a futuros proyectistas en el campo de las antenas, que busquen un simulador económico, de poco tamaño y con un consumo de recursos aceptable, pero eficaz en su cometido.

Quiero dejar bien claro que no he sido capaz de conocer todos los mecanismos que este programa dispone, pero sí de usar los que necesitaba para mi aplicación. En este tutorial me ceñiré a definir todas estas utilidades, y el único objetivo con el que redacto el mismo es poner en conocimiento de todos las mismas, de una forma clara y concisa, a fin de que cualquiera pueda adentrarse, por sí mismo, en el uso del programa y que otros, con más conocimientos y preparación, acaben de completar este tutorial, dejando de ser eso mismo para convertirse en un manual en toda regla. Si eso se logra algún día, daré por más que bien empleado el tiempo usado en redactar esto que, amable lector, ahora tienes en tus manos.

2 Editor de tabla para el diseño de la antena y sus definiciones

El aspecto de esta pantalla es:

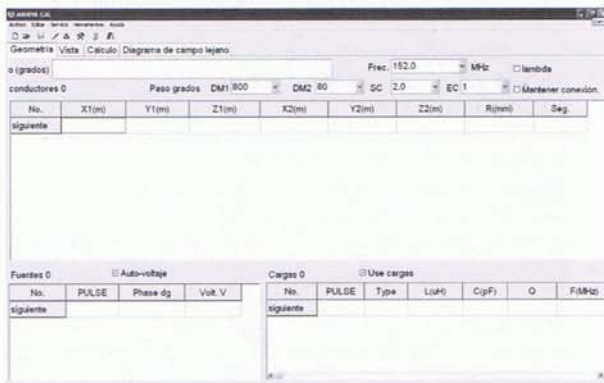


Figura A1: Pantalla del editor de tabla de diseño

Aquí podemos apreciar claramente los distintos elementos que componen nuestra antena a analizar. Como toda representación de antenas, se hace sobre tres ejes coordenados: X, Y, Z, y las medidas se han de dar sobre el mismo de la siguiente forma:

X = valores de frente, espalda de una antena (ganancia, atenuación en dirección)

Y = eje de referencia para antenas con varios elementos.

Z = altura de la antena con respecto al suelo.

Antes de empezar a trabajar con el programa hay que hacer constar que a la hora de diseñar nuestra antena, deberemos tener en cuenta ciertas convenciones.

Se debe situar los elementos, lo más centrados posible sobre el eje de coordenadas. Si nuestro elemento mide 10 metros, y se trata de un dipolo de media onda horizontal para la banda de 20 metros, debemos situarlo a -5 metros sobre un eje y a 5 metros sobre el otro eje. Esto nos dibujará una línea que tendrá 10 metros de larga que es lo que queremos analizar.

Usaremos el eje Y como eje paralelo. Para el caso de dipolos horizontales al suelo, éste será el eje de referencia. Todos los elementos se dibujarán paralelos al mismo. Siguiendo con el ejemplo del punto anterior, nuestro dipolo de debería situar sobre el eje Y1 con un valor de -5 y sobre el eje Y2 con un valor de 5.

Se usará el eje X para señalar la dirección al frente y a la espalda. Los valores positivos de X indicarán la parte frontal, mientras que los negativos, la parte trasera. Si nuestra antena está compuesta de un único elemento, entonces el valor de este eje será de 0.

El eje Z siempre indicará la altura.

Siempre trabajaremos del lado izquierdo al derecho de cualquier elemento. El lado izquierdo siempre tendrá un valor más negativo, mientras que el derecho, lo tendrá más positivo. Esta convención nos ayudará a resolver problemas y a modelar de una forma más consistente.

Sitúa el elemento activo de la antena en X = 0. Si la antena dispone de reflector, ubica éste en el valor negativo de X, que será la distancia equivalente al espacio entre el elemento activo o dipolo y el reflector. Lo mismo, pero en valores positivos para el/los elemento/s director/es.

Para mantener los elementos realmente identificados, debemos adoptar otra convención referente al orden en como deben aparecer reflejados en la tabla.

Ordena los elementos empezando por el reflector, luego sitúa el elemento activo o dipolo, y a continuación, el/los director/es.

Una vez tenido en cuenta lo anteriormente dicho, podemos ver los ejes coordenados si, sin añadir datos a la pantalla de introducción de los mismos, picamos sobre la pestaña "Vista". Obtendremos entonces la siguiente representación:

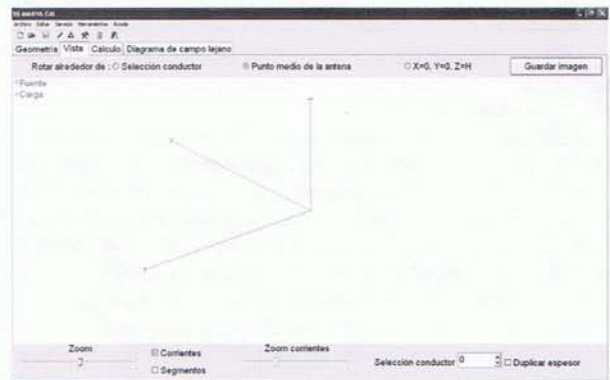


Figura A2: Pantalla "Vista" del editor de tabla de diseño

Como vemos, la interface está totalmente en castellano, lo cual ayuda notablemente al uso de la misma.

Para empezar a trabajar tendremos que introducir los datos. Esto lo haremos desde la pestaña "Geometría" donde podemos elegir si queremos darle la medida en metros, tal como muestra la figura 1 o en longitudes de onda (λ). Una vez introducidos los datos para, por ejemplo, una yagi de tres elementos, como la que vienen usando actualmente en las pruebas de radiogoniometría deportiva (caza del zorro) tendríamos lo siguiente:

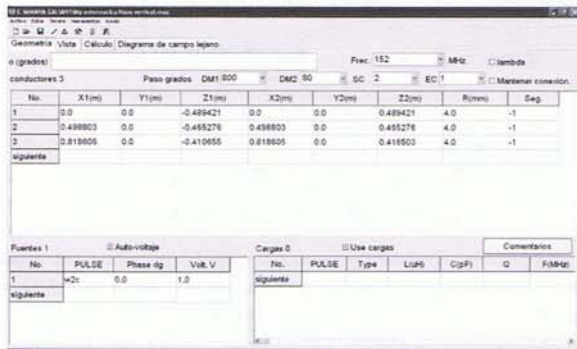


Figura A3: Pestaña "Geometría" del editor tabla de diseño

Siguiendo con el análisis de nuestra antena base, sobre la que vamos a comparar, podremos ver la representación de la misma en los ejes coordenados, picando nuevamente sobre la pestaña "Vista" mostrándonos a continuación esto:

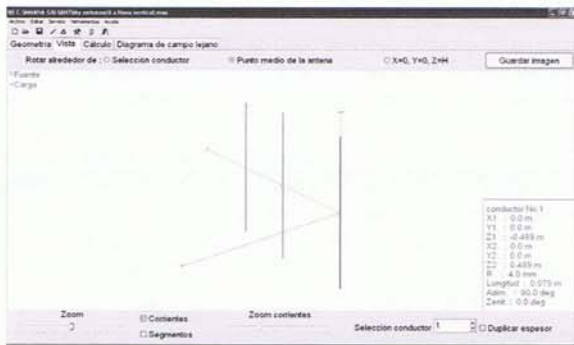


Figura A4: Vista del diseño de nuestra antena

Aquí ya vemos completamente el aspecto que nuestro diseño presenta. Además, podemos ver un detalle de los distintos conductores que la forman. Como vemos, los mismos están formados por un "hilo" o por una "varilla" de diámetro constante. Esto en la realidad no suele suceder así, pues para la construcción de antenas yagi, por norma general, se utilizan varillas de distinto diámetro, unas dentro de otras, siendo la mayor la que se inserta en el centro, y menores las que van hacia los extremos. Esto se puede especificar en la pantalla "Geometría" vista anteriormente, de la siguiente forma:

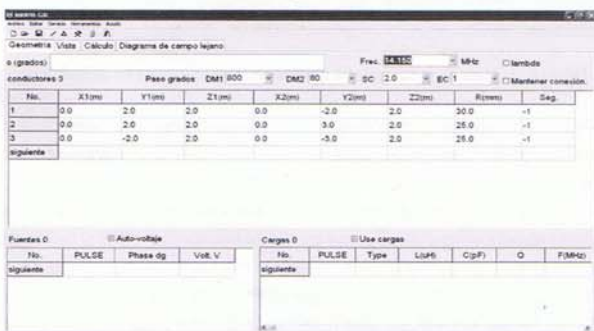


Figura A5: Introducción de datos en la pantalla "Geometría"

Como podemos observar, en la casilla del radio (R(mm)) tenemos dos diámetros: 30 y 25 mm. El primer diámetro lo forma el tramo central del dipolo, mientras que el diámetro de 25 mm. es el que tienen los tramos del dipolo que están en los extremos. Esto se puede apreciar mejor utilizando la "Vista" del programa:

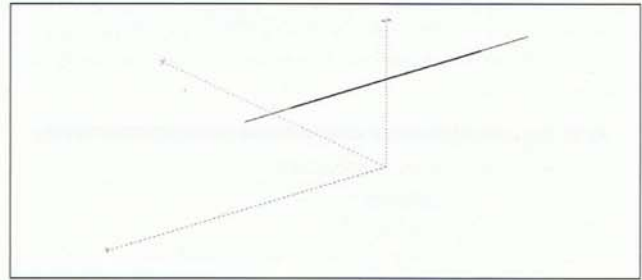


Figura A6: Visualización de un dipolo usando dos diámetro de tubo.

Como se puede ver en la figura, los extremos son más "finos" indicándonos que el diámetro del tubo utilizado es menor. Esto nos será de gran utilidad cuando deseemos simular cualquier antena en condiciones reales.

3 Cálculo de nuestra antena y optimización de la misma

El cálculo de la antena lo podremos realizar desde la pestaña "Cálculo" que presenta el siguiente aspecto:

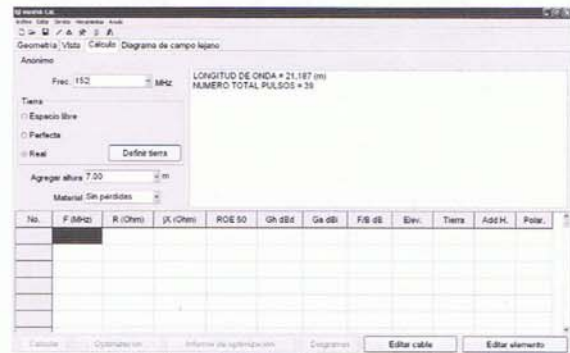


Figura A7: Pantalla "Cálculo" de la tabla de editor de diseño

Tenemos un apartado llamado "Tierra" que es donde podemos modelar nuestra tierra para luego, sobre ella, simular la antena. Podemos escoger entre "Espacio libre", "Perfecta" y "Real". Las dos primeras opciones no nos dejan introducir datos, y son las menos recomendables a la hora de modelar. Yo, tras algunas pruebas y consultas de manuales, he decidido utilizar la opción de "Real" con los parámetros de constante dieléctrica de 13 y conductividad de 5 mS/m. Todo esto se puede apreciar en la figura número A8.

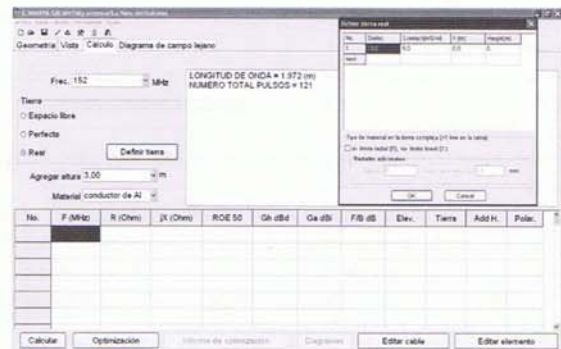


Figura A8: Pantalla de definición de parámetros de nuestra tierra

Como podemos observar, tenemos también dos opciones más disponibles: *calcular* y *optimización*.

- *Calcular*.- Este botón nos permite saber si nuestro diseño es correcto o no. Con esta opción, tras haber insertado los datos en la pantalla "Geometría" y tras comprobar en la pestaña de "Vista" que nuestro diseño se adapta a lo que deseamos, podemos comprobar la realidad del mismo. Para ello vamos a usar la antena yagi de tres elementos, diseñada anteriormente, como antena tipo. Tras esta operación, obtenemos los siguientes datos:



Figura A9: Resultado obtenido tras el cálculo.

De esta pantalla podemos extraer la siguiente información:

- R (Ohm).- 49,556 Ω
- jX (Ohm).- 2,388 Ω
- ROE 50.- 1.05 : 1
- Gh dBd.- — (sin datos)
- Ga dBi.- 9,51 dB
- F/B dB.- 18,73 dB
- Elev.- 7,4°
- Tierra.- Real
- Add H.- 3 m.
- Polar.- vert.

Ahora vamos a explicar lo que significa cada uno de ellos:

- R (Ohm).- Se refiere a la impedancia que presenta la antena.
- jX (Ohm).- Hace referencia a la reactancia que presenta la antena.
- ROE 50.- Es la ROE (Relación de Ondas Estacionarias, en inglés SWR) que presenta nuestra antena sobre una impedancia de 50 Ω
- Gh dBd.- Es la ganancia sobre un dipolo que muestra nuestra antena. Este dato se extrae del parámetro Ga dBi restándole 2,15 dB. No se muestra si elegimos la opción de tierra real a la hora de realizar nuestros cálculos.
- Ga dBi.- Es la ganancia sobre una antena isotrópica (antena ideal que radia igual en todas las direcciones del azimut) que presenta nuestra antena.
- Elev.- Es el valor que presenta el azimut del ángulo de elevación para el campo lejano.
- Add H.- Nos muestra la altura que nosotros hemos añadido al diseño original. Este campo se puede variar desde la opción sita a la derecha "Agregar altura"
- Polar.- Muestra el tipo de polarización elegida. En nuestro caso, la vertical.

También, en la parte superior de la pantalla podemos ver un resumen del cálculo de nuestra antena, donde se nos muestran los datos que se han utilizado para calcular las tensiones e intensidades que por ella circularán y que, a posteriori, servirán para realizar y obtener los resultados que hemos mostrado con anterioridad.

- *Diagramas*.- Mediante esta opción obtendremos la imagen siguiente, en la que podemos ver nuestros diagramas de radiación y con ellos

saber si el diseño realizado cumple nuestras expectativas en lo que, a lóbulos se refiere.

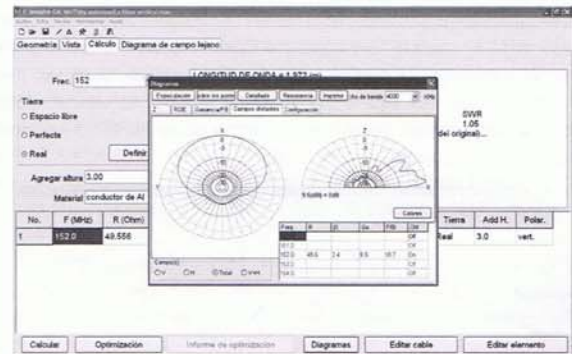


Figura A10: Vista de los diagramas de radiación

Una vez en esta pantalla podemos ampliar un poco nuestra análisis sobre la antena eligiendo, para ello, en la parte superior derecha nuestro ancho de banda (en kHz), y una vez fijado, analizando nuevamente la antena mediante la opción "Especulación", que nos indicará los datos de nuestra antena (R, jX, Ga, F/B) en una frecuencia inferior a la de trabajo. Si queremos conocer con más detalle como se comportará en el margen del ancho de banda que habíamos seleccionado, no tendremos más que decirle que nos haga un análisis "Detallado".

En esta pantalla también podemos ver la impedancia a lo largo del ancho de banda, picando sobre la pestaña "Z", la ROE picando sobre la pestaña "ROE" y una gráfica de la ganancia en función de la relación delante/atrás picando sobre la pestaña "Ganancia F/B".

- *Optimización*.- Esta función es una de las más interesantes de este programa, pero no debemos esperar que realice funciones "milagrosas" dado que tiene unos límites.

Quando hemos diseñado una antena de nuevo, y vemos que ésta no se adapta a lo que esperábamos de ella, podemos pedirle al programa que realice una adaptación de la misma, a fin de que nuestra antena entre en el margen de funcionamiento que nosotros deseamos. Para ello tenemos el botón de "Optimización". Si pulsamos sobre él encontraremos la siguiente pantalla:

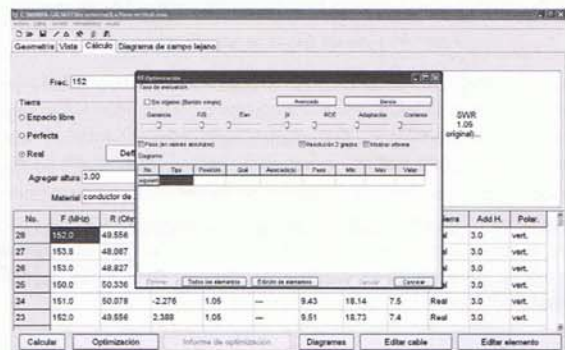


Figura A11: Vista de la pantalla de ajustes de los parámetros de optimización

Aquí es donde podemos indicarle al programa nuestros objetivos en la optimización, dado que, según lo que nos interese, podremos incidir más o menos en unos aspectos que en otros.

La opción que el programa usa "por defecto" es la que aparece en la parte superior izquierda, y que recibe el nombre de "Sin objetivo (Barrido simple)", de todos modos, no es la más adecuada, ya que no sabemos muy bien qué es lo que hará el programa con nuestra antena.

El las teclas corredizas que tenemos más abajo podemos indicarle al programa cual es nuestra prioridad. Mover el "botón" corredizo ha-

cia a la derecha implica un aumento en la prioridad, mientras que moverlo hacia la izquierda, supone una disminución en la misma. El programa aplicará el porcentaje de nuestro interés, acorde a lo que le indiquemos con los mismos.

Una vez hecho esto, debemos indicarle sobre qué o cuáles elementos queremos actuar. Esto es interesante si sabemos que a alguno de los componentes de nuestra antena no vamos a poder acceder con facilidad (por su tamaño, por su ubicación en el conjunto torre-antena, etc.)

Cuando ya lo tenemos todo seleccionado y decidido, sólo tenemos que pulsar el botón "Calcular" para que empiece a trabajar, y una vez finalice (puede tardar varios minutos, dependiendo de la complejidad que le hayamos pedido) nos mostrará los resultados obtenidos en la pantalla "Cálculo", preguntándonos antes si deseamos o no guardar el informe de optimización como un archivo para poder usar con posterioridad. Esto es interesante, pues luego, podemos ver los resultados sin necesidad de volver a realizar la optimización, optimización que, como ya indicamos, puede durar algunos minutos.

Mientras el ajuste del tamaño y las distancias de nuestra antena se realiza (en eso consiste la optimización) podemos ver los resultados en la pantalla superior. Cuando se alcance un objetivo óptimo, ese resultado vendrá marcado por un asterisco al final, con lo que sabremos que nos estamos acercando al fin deseado. Una vez terminado, y mediante el botón "Informe de optimización" podremos ver los resultados completos, buscando incluso por los valores que queramos, y siempre nos mostrará aquellos resultados que cumplan lo que le pedimos, pero que a su vez, hayan sido marcados como 100%, es decir, que se haya obtenido la optimización en los valores que le habíamos marcado.

4 Diagrama de campo lejano

Esta es la última de las pestañas que tenemos en el programa, y en la que únicamente se muestran datos si se han realizado cálculos, caso contrario, tiene este aspecto:

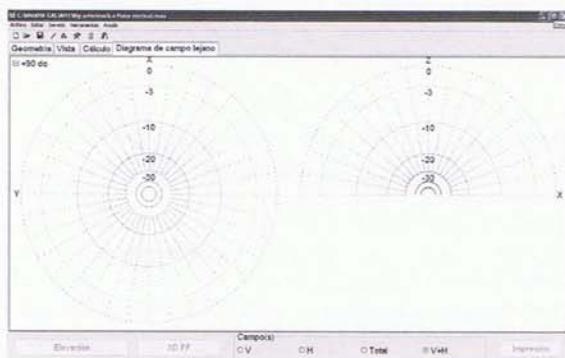


Figura A12: Vista de la pantalla "Campo lejano"

Utilizando nuevamente nuestra antena yagi de tres elementos, esta pestaña nos mostraría lo siguiente:

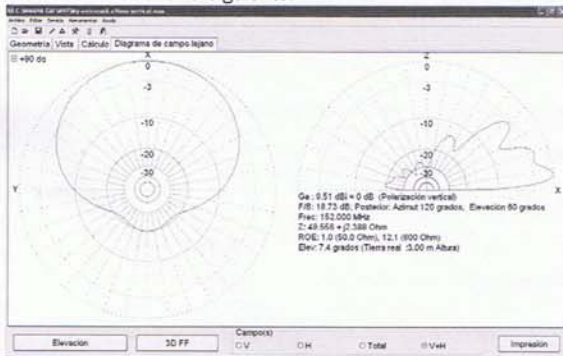


Figura A13: Vista de la pantalla "Campo lejano" tras la realización del cálculo de la antena.

Aquí podemos apreciar el lóbulo de radiación que la antena presenta y los datos más relevantes de la misma en la leyenda que figura en la parte inferior del plano vertical. Pero es que, además, si lo deseamos, podemos variar el azimut del lóbulo de radiación para el campo lejano mediante el botón "Elevación", así como obtener una represen-

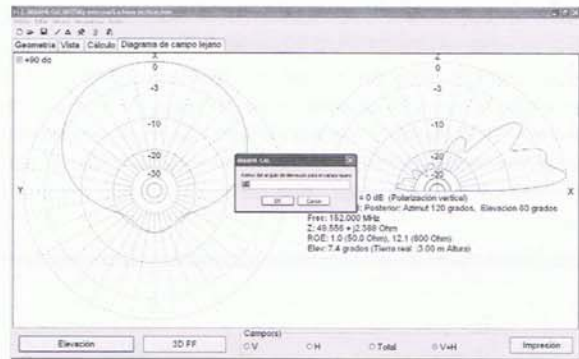


Figura A14: Pantalla para variar el azimut del lóbulo de radiación.

tación en 3 dimensiones de estos mismos gráficos, tal y como se muestra en la figura siguiente:

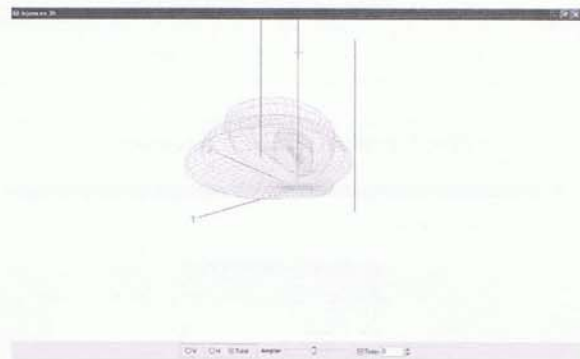


Figura A15: Visión del lóbulo de radiación en 3D.

De todos modos, una de las utilidades más importante de esta sección del programa MMANA-GAL es la posibilidad de poder comparar diagramas de campos lejanos entre antenas, a fin de poder elegir cual es la que mejor se adapta a nuestras necesidades. Para poder llevar adelante esta utilidad, primero tendremos que haber guardado el trabajo como un archivo con la extensión *.mab, desde el menú "Archivo" -> "Grabar campos lejanos *.mab" tal y como se muestra en la imagen siguiente. Una vez hecho esto, podremos entonces, comparar

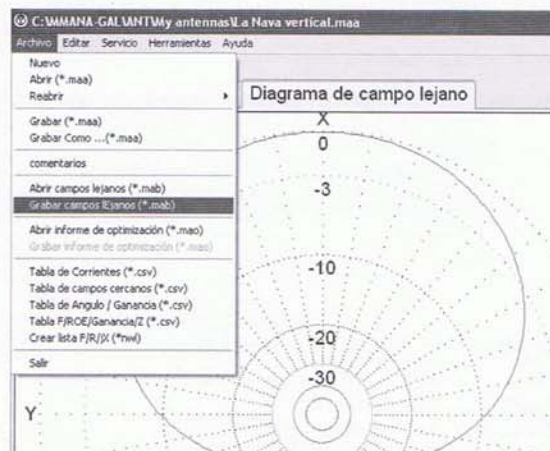


Figura A16: Procedimiento para abrir archivos de campos

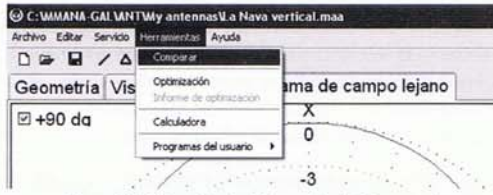


Figura A17: Ubicación de la herramienta "Comparar"

este resultado con otros que hubiéramos guardado con anterioridad, con esta misma forma de proceder, utilizando para ello el menú "Herramientas" -> "Comparar". Tras realizar esta operación, obtendremos la siguiente pantalla en la que tendremos que picar sobre el botón "Cargar archivo *.mab" y elegir entre los que tengamos y queramos comparar.

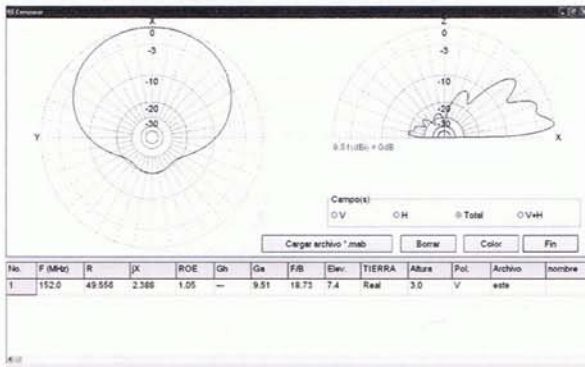


Figura A18: Pantalla de comparación de antenas.

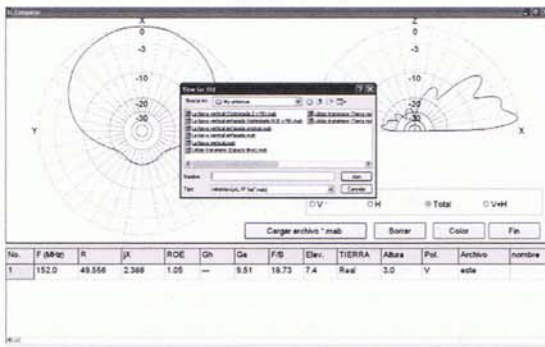


Figura A19: Procedimiento de carga de archivos .mab

Hecho esto, nos encontraremos que el programa va dibujándonos, a distintos colores, los diagramas de campo lejano, de las distintas antenas que hayamos guardado, y de un solo vistazo podremos, entonces, comparar las mismas, para ver cual de todas es la que más se adapta a nuestras necesidades.

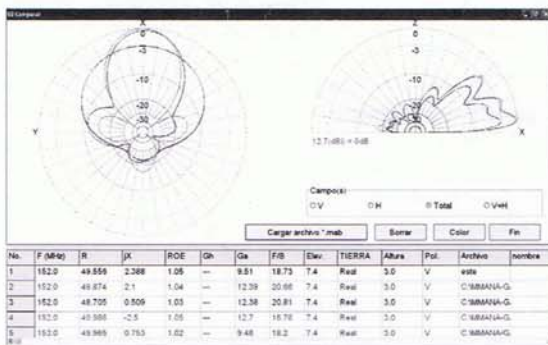


Figura A20: Resultado de la comparativa de campos lejanos.

5 Cálculo de diversos elementos de adaptación

El programa presenta una herramienta de diseño de elementos de adaptación para conseguir que la transición entre el punto de alimentación de la antena bajo estudio y el de la línea coaxial a utilizar sea el óptimo.

Estos cálculos normalmente se realizan a mano, utilizando fórmulas conocidas y basándonos principalmente en las características de adaptación de líneas coaxiales bajo ciertas circunstancias, lo que técnicamente se conoce como transformadores de impedancias.

Mediante esta herramienta podremos evitarnos esta tarea, únicamente acudiendo al menú "Servicios" y dentro del mismo seleccionando la opción "Opciones y configuración" tal como se muestra en la fi-

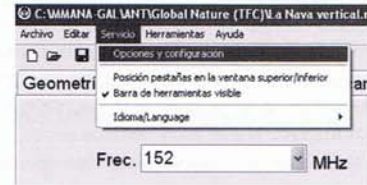


Figura A21

gura A21. Para poder hacer uso de la misma, primero tenemos que haber realizado el cálculo de la antena tal como se explicó en el apartado 3 de este anexo. Siguiendo con el ejemplo que hemos venido usando todo el tiempo, tras realizar el cálculo de la misma, vemos que en la pantalla que nos muestra la figura A22, obtendríamos los siguientes

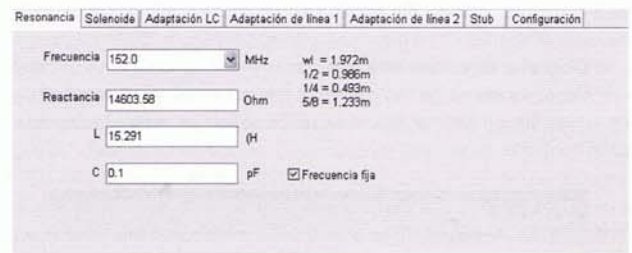


Figura A22: Datos de resonancia de nuestra antena.

resultados para la frecuencia de resonancia. Además, podemos ver la longitud de onda para la frecuencia de diseño, así como submúltiplos de la misma (expresados en metros) que nos pueden ser de utilidad para recálculos que queramos realizar. Concretamente nos muestra la longitud a $\frac{1}{2} \lambda$, $\frac{1}{4} \lambda$ y $\frac{5}{8} \lambda$. Con estos parámetros podemos construir cualquier elemento de adaptación que necesitemos. Pero tenemos más información si pinchamos en el resto de pestañas. Concretamente si nos vamos a la pestaña contigua, la marcada como "Solenoido", mostrada en la figura A23, veremos todos los datos necesarios para

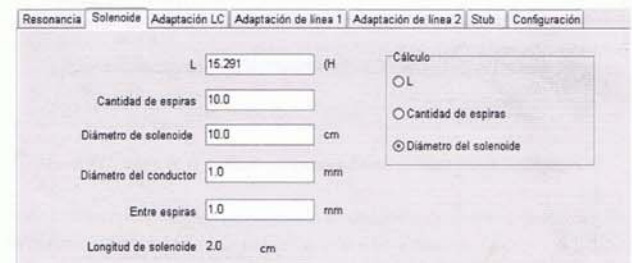


Figura A23: Datos de la bobina adaptadora

poder construimos nuestra bobina, y con ella poder adaptar el circuito. Si seguimos, y picamos ahora sobre la pestaña marcada como "Adaptación LC" tal como podemos ver en la figura A24, tendremos la información necesaria para poder construir un adaptador LC, tanto en serie como en paralelo, pudiendo elegir, en la misma pestaña por cual de los

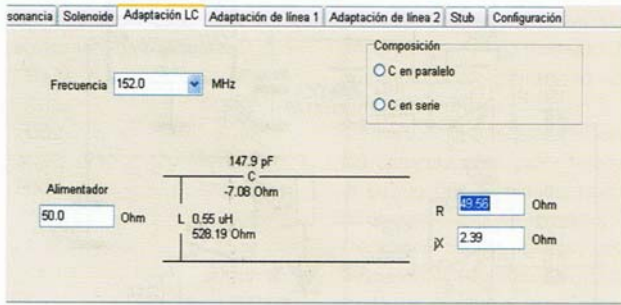


Figura A24: Datos para la adaptación con bobina y condensador

dos nos decantamos. Siguiendo con las pestañas, llegamos ahora a la correspondiente a la "Adaptación de línea 1" donde podemos ver los datos de nuestra antena (Z_i) junto a una serie de parámetros sobre el resto de líneas a utilizar que nos pueden ser de utilidad a la hora de diseñar nuestros distintos elementos de adaptación, esto se muestra en la figura A25. Lo mismo vamos a tener, pero para el caso de querer realizar una adaptación en serie o en paralelo, cuando piquemos so-

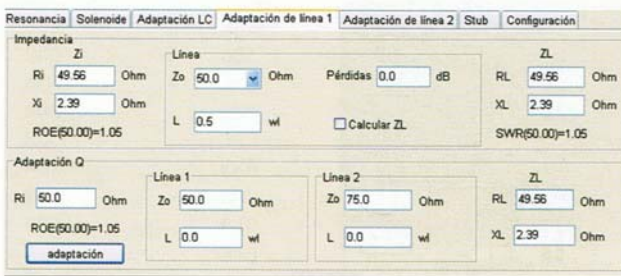


Figura A25: Datos de las distintas líneas de nuestro sistema

bre la pestaña "Adaptación de línea 2". Y por último tenemos la pestaña que, quizás, dentro de estas opciones de ajuste de líneas se use, y es la que corresponde con "Stub", donde si picamos podremos observar los datos de la frecuencia de trabajo, el tipo de línea con la que deseamos realizar la adaptación, incluida una de "usuario" en la que se le pueden dar los valores necesarios (velocidad de propagación en la línea e impedancia de la misma), tal como podemos ver en la figura A26. Con todo esto, y tras elegir si queremos que nuestro stub esté en serie o en paralelo con la línea, para poder realizar la adaptación tendremos el resultado de la misma en la parte inferior, donde tendremos la longitud de la línea que tendremos que introducir para que esto se lleve a cabo. Aquí hay que tener presente que se nos muestra la frecuencia de resonancia marcada como F_0 y que, a veces, no va a coincidir con nuestra frecuencia deseada, dado que el programa va a tratar de compensar la reactancia que nuestra antena presente, para

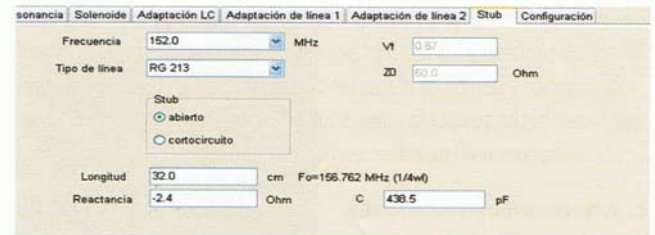


Figura A26: Datos para la construcción de un stub

así llevar a buen fin la adaptación. Siempre nos queda el recurso de realizar este cálculo a mano, con las fórmulas tradicionales y que todos conocemos.

Ya por último, en la pestaña "Configuración" tenemos datos del sistema, mostrándonos la relación delante/detrás, la impedancia con su ROE, y algunos parámetros más de interés.