



Taller: 4nec2

Profesor - Javier Silva
Ayudante - Catalina Sierra

1. ¿Qué es 4nec2?

4nec2 es un *software* para el diseño y análisis de antenas que nos permite crear modelos detallados de antenas, simular su comportamiento y analizar cómo las ondas electromagnéticas interactúan con estas y su entorno.

2. Instalación

Para la instalación se debe descargar el archivo comprimido que contiene el ejecutable del programa, disponible en Canvas del curso. Con eso será suficiente para que puedan empezar a usar 4nec2.

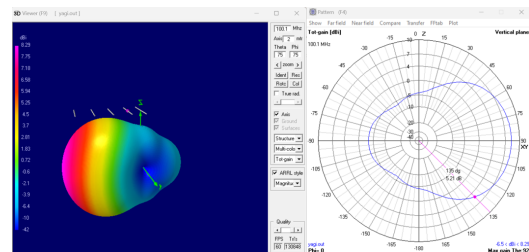


Figura 1: Diseño de una antena Yagi y su patrón de radiación usando 4nec2

3. ¿Cómo partimos?

Abrimos el programa. Este contiene diferentes pestañas dedicadas a análisis específicos, pero la pestaña principal es **Main**, que se despliega al abrir el programa.

3.1. Antena Dipolo de media onda

El dipolo de media onda es una **antena que consiste en dos conductores rectos de igual longitud, colineales y con una alimentación en el centro**. Cada brazo del dipolo tiene una longitud de un cuarto de la longitud de onda de la frecuencia de operación, para que así la longitud total de la antena sea “media onda”.

Vamos a abrir el archivo **Example1.nec** disponible en `\4nec2\models`. En este caso tendremos una frecuencia de operación $f = 300[\text{MHz}]$ y por ende $\lambda = f/c = 1[\text{m}]$, por lo cual la longitud de ambos segmentos (sumada) es de aproximadamente de $l = 0,5[\text{m}]$.

Patrón de radiación: Pasos a seguir

1. En la ventana **Main**, clickeamos el ícono de una carpeta amarilla, justo debajo de **File**, que permite abrir un archivo NEC, y buscamos el archivo **Example1.nec**.
2. Tras esto se deberían abrir las pestañas **F3** y **F4**, de **Geometry** y **Pattern**, respectivamente, como se muestra en la Figura 2.

De no ser así, en la ventana **Main** se debe clickear el ícono de calculadora o teclear **Fn+F7** en el PC, donde se nos desplegará la ventana **Generate** para seleccionar lo que queremos hacer en la simulación. Para obtener los patrones de radiación seleccionamos las opciones

Far Field Pattern y Full, usando una resolución de 5 grados. Si esto ya se realizó con anterioridad también se puede teclear **Fn+F3** y **Fn+F4** para abrir las pestañas.

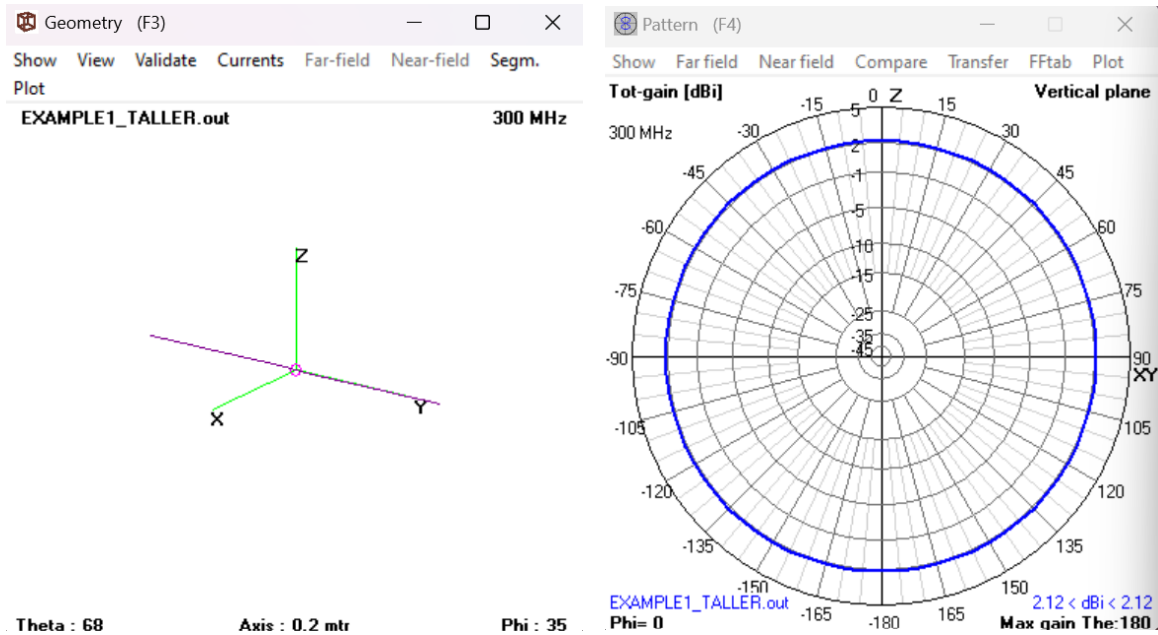


Figura 2: Pestañas Geometry y Pattern para antena dipolo de media onda

En Geometry se muestra la geometría de la antena en el espacio. La línea rosada representa el dipolo, que se extiende a lo largo del eje Y, y el punto central es donde se encuentra la alimentación de la antena. En esta ventana en la opción Currents podemos añadir a la representación 3D de la antena la distribución de corriente a lo largo de ella, en términos de magnitud y fase.

En Pattern, se muestra: en el Eje Radial la ganancia de la antena en decibelios isotrópicos (dBi), una medida de la cantidad de potencia que la antena irradia en comparación con una antena isotrópica (que irradia uniforme en todas direcciones); y en el Eje Angular se presentan los ángulos en el plano vertical. Así, la Línea Azul representa la ganancia total de la antena en función del ángulo.

El diagrama polar muestra el patrón de radiación en el plano vertical (plano que incluye eje Z y es perpendicular a eje X del dipolo). La forma circular indica que la antena irradia uniformemente en todas las direcciones en este plano, lo cual es esperado para un dipolo de media onda.

3. Para cambiar de vista, en pestaña Pattern, vamos a Far Field y clickeamos Vertical plane, esto permite cambiar de plano vertical (plano que incluye eje Z y es perpendicular a eje X del dipolo) a plano horizontal (plano XY). Y en Show podemos cambiar la ganancia que se está observando clickeando en Next Pattern o Previous Pattern. Algunas variaciones de esto se muestran en la Figura 3.

Nota: Al browsear con Next Pattern/Previous Pattern, se van a topar con las opciones $E(\theta)$ y $E(\phi)$, que son componentes del campo eléctrico en coordenadas esféricas que describen cómo la antena irradia energía en las direcciones θ y ϕ . Estos componentes son relevantes para entender la distribución del campo eléctrico y el comportamiento general de la radiación de la antena en diferentes direcciones, pero es algo que no se revisará en detalle para efectos del curso, por lo que se incluye netamente por completitud.

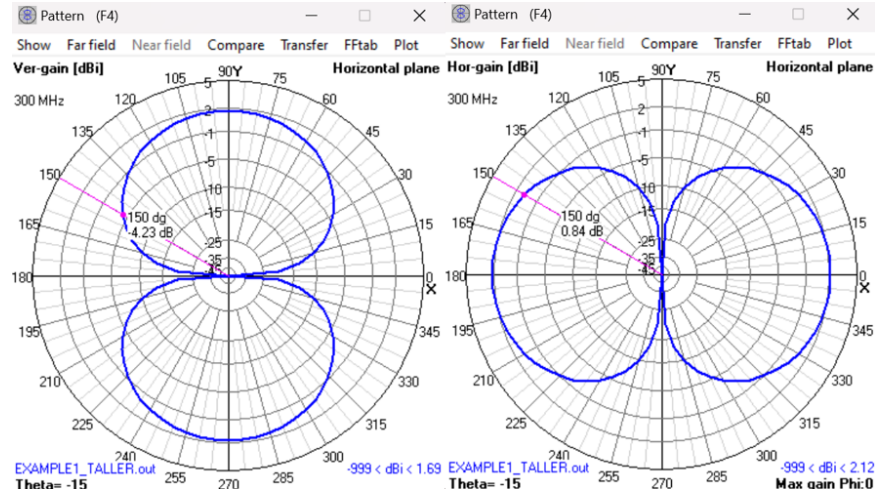


Figura 3: Ejemplos de opciones de visualización para patrón de radiación en **Pattern** para antena dipolo de media onda

ROE e impedancia: Pasos a seguir

1. En la ventana **Main**, clickeamos el ícono de una carpeta amarilla, justo debajo de **File**, que permite abrir un archivo NEC, y buscamos el archivo **Example1.nec** (Este paso sólo se hace si no se ha abierto el archivo respectivo antes).
2. En la ventana **Main** se debe clickear el ícono de calculadora o teclear **Fn+F7** en el PC, donde se nos desplegará la ventana **Generate** para seleccionar lo que queremos hacer en la simulación. Para obtener las gráficas de ROE e impedancia seleccionamos la opción **Frequency Sweep** y rellenamos en la sección **FR** con el rango de frecuencias de interés y el tamaño del *step*, en este caso escogeremos un rango desde 50[MHz] a 350[MHz] y un *step* de tamaño 5, esto último arbitrario pero que respeta el máximo admitido de 256 *steps*. Lo obtenido se puede visualizar en la Figura 4.

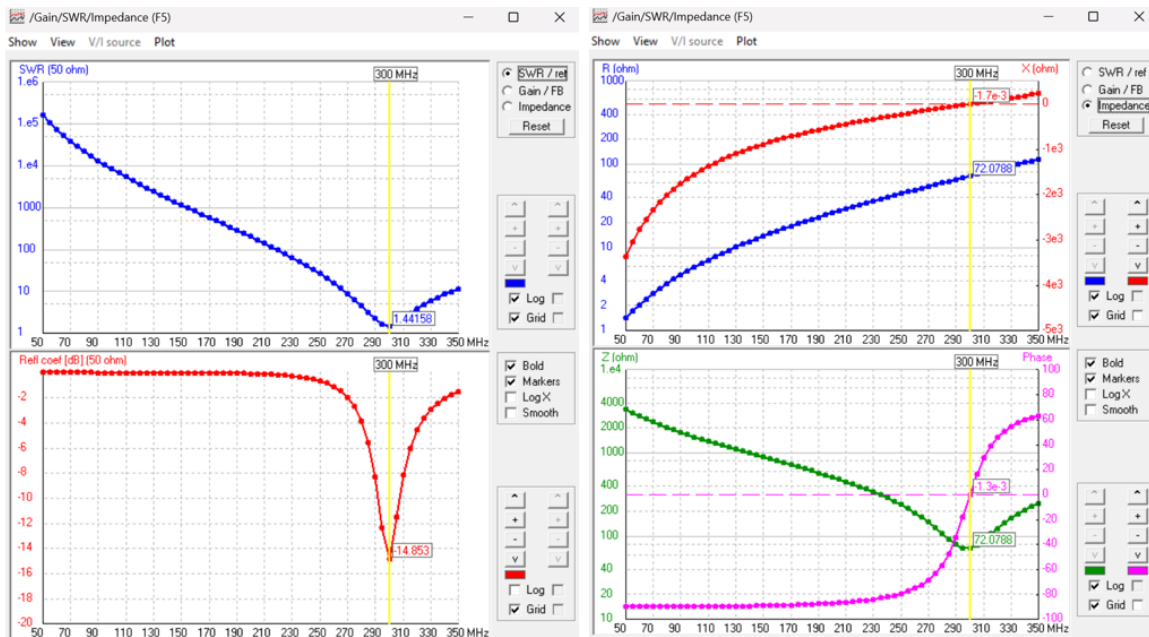


Figura 4: Pestañas **Gain/SWR/Impedance** para antena dipolo de media onda

Podemos observar en ambas gráficas cómo varían ROE, coeficiente de reflexión, resistencia, reactancia, impedancia y fase, a lo largo del rango de frecuencias seleccionado. Además, es clara la resonancia a la frecuencia de operación.

Una **antena dipolo de media onda resuena cuando su longitud total es aproximadamente la mitad de la longitud de onda de la frecuencia de operación.**

En esta condición, la antena presenta una **impedancia principalmente resistiva** (poco reactiva), lo que **maximiza la eficiencia** en la transferencia de energía entre antena y transmisor/receptor. Además, el **dipolo tiene un máximo de corriente en su centro.**

Sin embargo, la impedancia característica (Char Impedance) por defecto en 4nec2 es de 50Ω , por lo que en este caso no hay adaptación de impedancias implementada, ya que difiere de la impedancia observada para la antena a esta frecuencia, **siendo este caso sub-óptimo**, aunque aceptable. Los valores de **ROE y coeficiente de reflexión observados** a la frecuencia de resonancia son de **1,44** y **$-14,853[\text{dB}]$** , correspondiendo este último a 0,18 aproximadamente en su valor adimensional. Recordemos que idealmente $ROE = 1$ y $\Gamma = 0$.

Para modificar la impedancia característica en 4nec2, hay que dirigirse en Main a Settings y luego a Char Impedance, para ingresar el nuevo valor. Como se puede observar en la gráfica de Impedancia de la Figura 4, **a la frecuencia de resonancia se tiene una reactancia prácticamente nula y una resistencia de 72Ω** , valor que utilizaremos para modificar la impedancia característica. **Con esta modificación se adapta más precisamente la impedancia** del sistema a la impedancia real de la antena en resonancia, lo que **reduce más aún el ROE y coeficiente de reflexión a 1 y $-65,24[\text{dB}]$** (prácticamente 0). Este resultado se puede visualizar en la Figura 5.

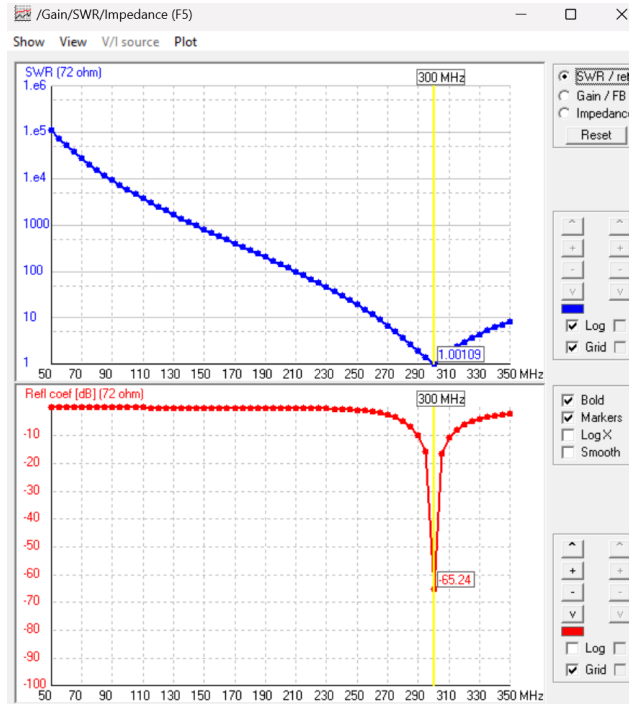


Figura 5: Pestañas Gain/SWR/Impedance para antena dipolo de media onda luego de implementar adaptación de Char Impedance

Adicionalmente, **si requiere de redes de adaptación**, puede dirigirse a Main \rightarrow Calculate \rightarrow L\T\Pi matching o teclear **Fn+F10**, tras lo cual se desplegará como se puede ver en la Figura 6 la ventana RLC Matching, donde puede diseñar de acuerdo a sus necesidades una red de adaptación tipo L, Π ó T (LPF ó HPF también) y luego aplicarla a su diseño/antena.

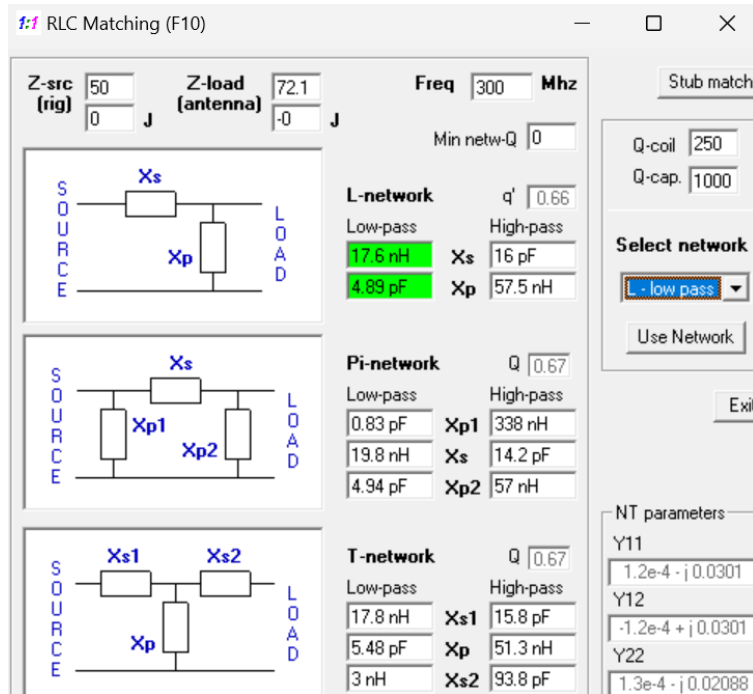


Figura 6: Pestaña RLC Matching para redes de adaptación de impedancias

3D Viewer: Pasos a seguir

Una vez cargado un archivo (ya sea ejemplo o previamente diseñado), para abrir la vista tridimensional de la antena, con opción de mostrar su patrón de radiación, se debe presionar las teclas **Fn+F9** o en defecto clicar en **Main** el ícono que corresponde a 3D Viewer. Para el ejemplo que se ha revisado (sin adaptación de impedancia) se muestra en las Figuras 7 y 8 los resultados de esta acción.

En la selección abajo del parámetro **Structure** se pueden encontrar variadas opciones sobre cómo mostrar el patrón de radiación (**Transparent** es utilizado la Figura 7) como también sobre qué patrón de radiación mostrar (**Total Gain** es el utilizado en la Figura 7), entre otros parámetros.

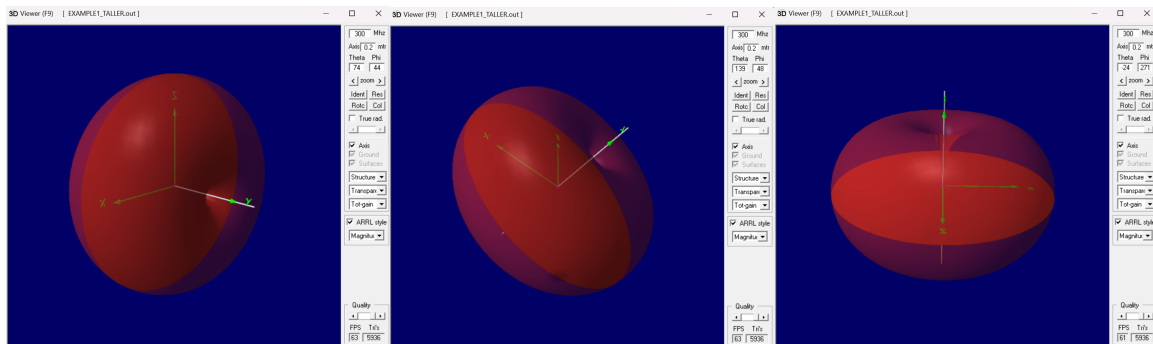


Figura 7: Patrones de radiación 3D Total Gain para antena dipolo de media onda

En la Figura 8 se muestran los patrones de radiación **Vertical Gain** y **Horizontal Gain** en vista 3D de la antena dipolo de media onda. Se puede apreciar una forma de "marraqueta" en el patrón de ganancia vertical y una forma de dos esferas contiguas en el de la ganancia horizontal.

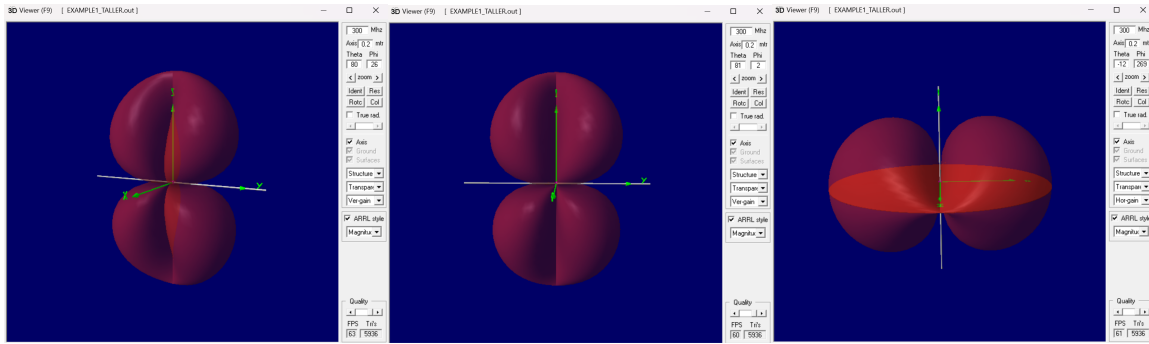


Figura 8: Patrones de radiación 3D Vertical gain y Horizontal gain para antena dipolo de media onda

Entendiendo el archivo NEC

A continuación se presenta el archivo `Example1.nec` correspondiente a la antena dipolo de media onda. Se explicará a grandes rasgos.

`Example1.nec`

```
CM Example 1 :      Dipole in free space      ' Comment cards
CM See GetStarted.txt
CE                                     ' End of comment
,
GW 1 9 0 -.2418 0 0 .2418 0 .0001      ' Wire 1, 9 segments, halve wavelength long.
GE 0                                     ' End of geometry
,
EX 0 1 5 0 1 0                          ' Voltage source 1+j0 at wire 1 segment 5.
,
FR 0 1 0 0 300 0                        ' Set design frequency 300 Mc.
,
EN                                     ' End of NEC input
```

Las primeras 3 líneas son comentarios (no afectan la simulación), denotados con **CM**, a excepción de la última línea donde se termina el comentario con **CE**, que significa *end of comments*.

En la línea 5, **GW** (*Geometry of wire*) define la geometría alambre, donde:

- 1 es el **número del alambre**
- 9 es el **número de segmentos** en el alambre
- 0 - ,2418 0 son las **coordenadas (x,y,z) del punto inicial** del alambre
- 0 ,2418 0 son las **coordenadas (x,y,z) del punto final** del alambre
- 0,0001 es el **radio del alambre** en metros ($0,0001[m] = 0,1[mm]$)

El alambre tiene una longitud total de $0,4836[m]$, lo cual corresponde aproximadamente a media longitud de onda a una frecuencia de $300[MHz]$.

En la línea 6, **GE** (*End of geometry*) indica el final de la definición de la geometría de la antena.

En la línea 8, **EX** (*Excitation*) define una fuente de excitación, donde:

- 0 significa que se aplica una **fuentes de voltaje**
- 1 es el **número del alambre** donde se sitúa la fuente de voltaje

- 5 es el **segmento del alambre donde se sitúa la fuente** de voltaje (centro del dipolo)
- 0 es un parámetro adicional que no se usa en este contexto
- 1 0 es el **voltaje complejo aplicado** ($1 + j0$)

En la línea 10, **FR** (*Frequency seep*) establece la frecuencia de diseño, donde:

- 0 es el **tipo de barrido de frecuencia**, en este caso corresponde a *linear sweep*
- 1 indica que sólo hay una frecuencia (*one frequency step*)
- 0 0 son parámetros adicionales que no se usan en este contexto
- 300 es la **frecuencia en MHz**
- 0 es *frequency step width*, al ser cero se programa la simulación a una única frecuencia, en este caso $300MHz$

Finalmente, en la última línea, **EN** (*End of run*) indica el final del archivo de entrada NEC.

4. Resumen

- Abrir pestaña **Main** → **Fn+F2**
- Abrir pestaña **Geometry** → **Fn+F3**
- Abrir pestaña **Pattern** → **Fn+F4**
- Generar una simulación → **Fn+F7**
- Generar una simulación de patrón de radiación → **Fn+F7** + **Far Field Pattern**
- Generar una simulación de ROE, Γ y Z → **Fn+F7** + **Frequency Sweep**
- Generar vista 3D del patrón de radiación → **Fn+F9**

5. Más información

Este taller es un primer acercamiento a 4nec2 y sus funcionalidades. Más detalles sobre este y otros ejemplos desarrollados y explicados pueden ser consultados en el manual **Simulation of Wire Antennas using 4NEC2**.