

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE INGENIERÍA

Año 2018 - 1^{er} Cuatrimestre

ELECTROMAGNETISMO (82.06)

TRABAJO PRÁCTICO 2

TEMA: Radiación

FECHA: 12 de Julio, 2018

INTEGRANTES:

Nombre y Apellido	Padrón	Correo Electrónico
Pereyra, Matías Nicolás	99362	matiasnpereyra@gmail.com
Scopa Lopina, Alejandro Daniel	98085	scopaalejandro@gmail.com

Índice

1. Objetivos	2
2. Introducción	2
3. Desarrollo	2
4. Antena en el espacio libre	3
5. Antena con tierra perfecta	8

6. Corrientes en conductores	11
6.1. Determinación de resistencia de radiación de la estructura	13
7. Adaptación de impedancias	15
7.1. Obtención de Z_L	15
7.2. Adaptación de configuración libre (aire)	15
7.3. Adaptación de impedancia con tierra perfecta	17
8. Conclusiones	19

1. Objetivos

El objetivo del presente trabajo práctico es modelizar y analizar un problema en el entorno de altas frecuencias mediante simulaciones realizadas con el programa *4nec2*. Se busca entonces resolver un problema de estructura radiante en altas frecuencias mediante el método de los momentos. Además se utilizará la Carta de Smith para diseñar un adaptador de impedancias.

2. Introducción

En el presente trabajo se estudiará el comportamiento de una antena en el entorno de altas frecuencias mediante el método de los momentos, que permite obtener numéricamente los campos eléctricos y magnéticos correspondientes a la estructura radiante. El proceso se basa en la linealidad de las ecuaciones de Maxwell.

En primer lugar, se calcula la corriente $I(r')$ sobre una estructura conductora y se descompone en un número de funciones base $F_n(r')$ multiplicados por coeficientes incógnita I_n , como se muestra en la siguiente expresión:

$$I(r') = \sum I_n F_n(r') \quad (1)$$

A partir del potencial aplicado a la estructura y de las características de los conductores se calculan los coeficientes I_n . Una vez obtenidos los coeficientes n y establecida $I(r')$ se calculan los campos. Para lograr esto, se utilizan las ecuaciones integrales de los campos en función de la corriente, calculando primero el potencial vectorial magnético en función de la corriente a partir de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\mu}{4\pi} \int I(r) \frac{e^{-ikR}}{R} dr \quad (2)$$

Siendo el recinto de integración los conductores. Luego se calculan los campos E y H :

$$H = \frac{1}{\mu} \nabla \times A \quad (3)$$

$$E = \frac{\nabla \times A}{iw\epsilon} \quad (4)$$

3. Desarrollo

Las simulaciones que vamos a realizar son el resultado de la aplicación del proceso mencionado en la introducción para la resolución de la ecuación de Pocklington, que permite obtener la distribución de corriente sobre un alambre. El programa nos permite obtener los campos eléctrico y magnético mediante integración numérica una vez obtenidas las corrientes en cada dispositivo. Los campos obtenidos a través del mismo incluyen tanto

los términos de radiación como de inducción. La configuración analizada corresponde a 6 alambres de 0,5 cm de diámetro separados una distancia en función de la longitud de onda correspondiente a la señal de menor frecuencia, en la que el conductor central está conectado a una fuente de tensión de 1 V en la base. Se simularon dos condiciones de operación, la estructura irradiante en el espacio libre, y la estructura en el espacio, con un plano de tierra ideal. Se puede observar a continuación el esquema de la configuración en cada situación.

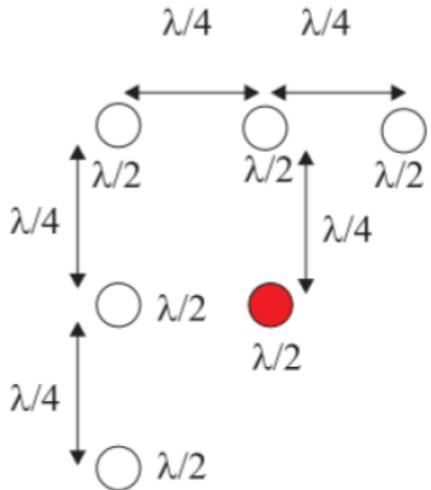


Figura 1: Configuración a simular

4. Antena en el espacio libre

Para empezar a entender cómo se propaga la radiación de esta configuración de alambres activo y pasivos en el rango de frecuencias dado (200MHz a 1.2GHz) se ingresó la geometría de la imagen PONER REFERENCIA en el programa *4NEC2*. Se simuló desde la frecuencia inicial hasta la final de a pasos de 200MHz. Puede verse que la ganancia es, en general, para todas las frecuencias homogénea en todas las direcciones contenidas en el plano xy. Sin embargo, no puede asegurarse que la potencia radiada en todo ese intervalo sea mayor a 0dB.

La mayor cantidad de lóbulos secundarios está asociada a frecuencias mayores. Así, se ve que los lóbulos principales cambian de dirección (cambian su ángulo con respecto al eje vertical, θ), dejando lóbulos secundarios en el plano xy. A bajas frecuencias del intervalo dado, la mayor ganancia (zonas más violetas y rojas) se encuentra en la direcciones paralelas (principalmente) al plano xy. Téngase en cuenta que la aparición de lóbulos secundarios representan potencia no aprovechada al máximo y son consideradas pérdidas.

Observando las imágenes se puede hacer un análisis anisotrópico cualitativo. Se observan grandes cambios en la dirección de los lóbulos primarios a medida que aumenta la frecuencia, lo que muestra la gran variación en el comportamiento de la dirección de la potencia radiada por la antena. Parecería que no es la mejor configuración para una aplicación en la que se requiera propagación concentrada de ondas en una dirección específica.

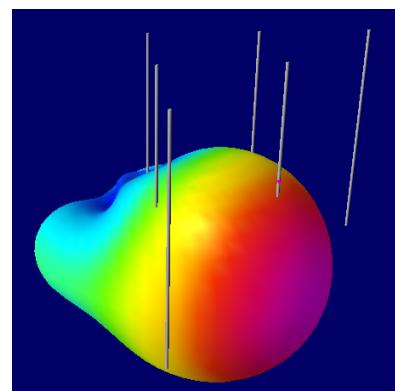
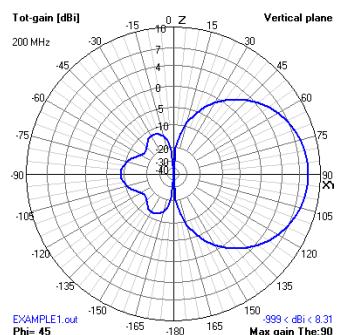
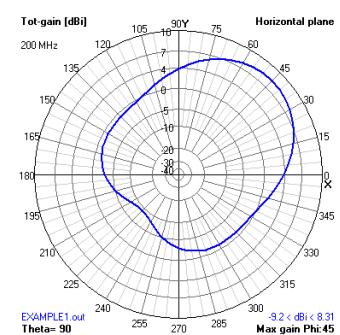


Figura 2: Radiación de antena a $200MHz$



(a) Corte vertical



(b) Corte horizontal

Figura 3: Cortes del diagrama de radiación a $200MHz$

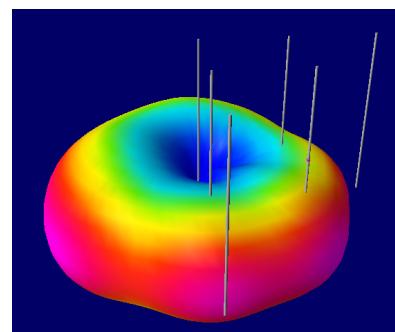
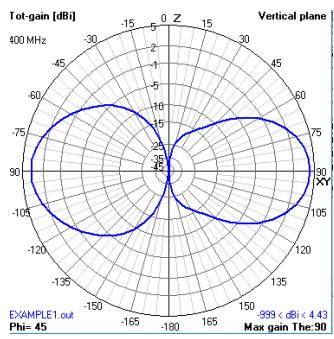
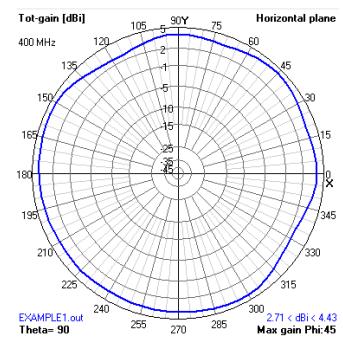


Figura 4: Radiación de antena a $400MHz$



(a) Corte vertical



(b) Corte horizontal

Figura 5: Cortes del diagrama de radiación a 400MHz

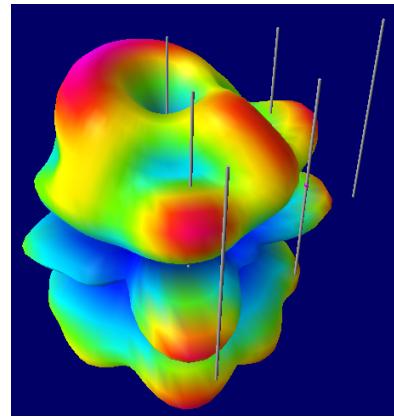
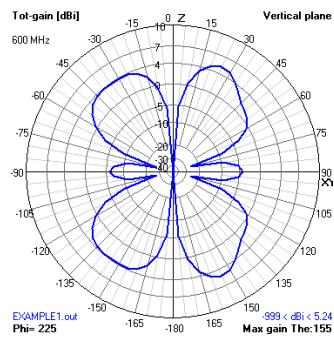
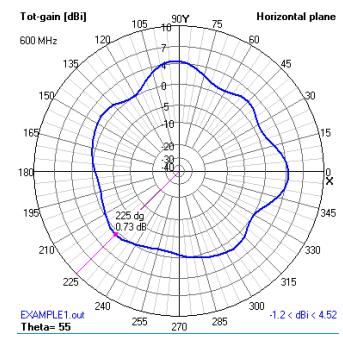


Figura 6: Radiación de antena a 400MHz



(a) Corte vertical



(b) Corte horizontal

Figura 7: Cortes del diagrama de radiación a 600MHz

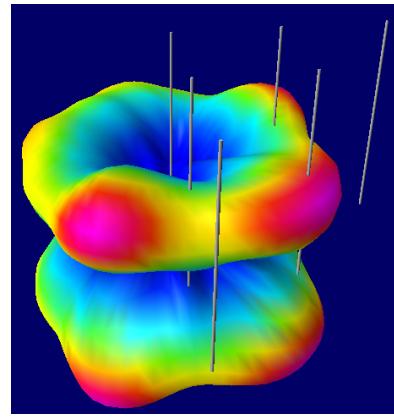
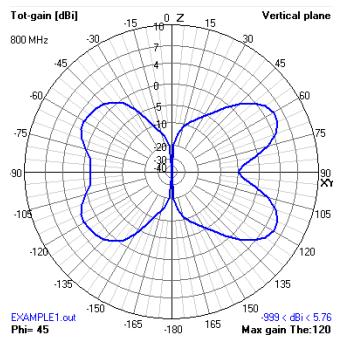
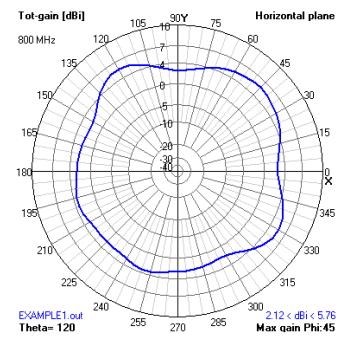


Figura 8: Radiación de antena a $400MHz$



(a) Corte vertical



(b) Corte horizontal

Figura 9: Cortes del diagrama de radiación a $800MHz$

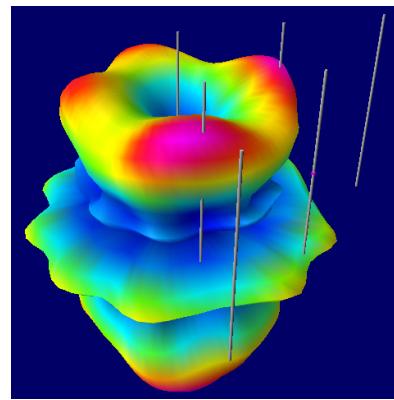
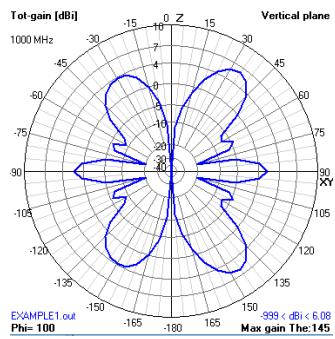
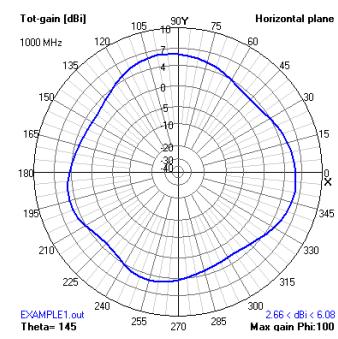


Figura 10: Radiación de antena a $1GHz$



(a) Corte vertical



(b) Corte horizontal

Figura 11: Cortes del diagrama de radiación a 1GHz

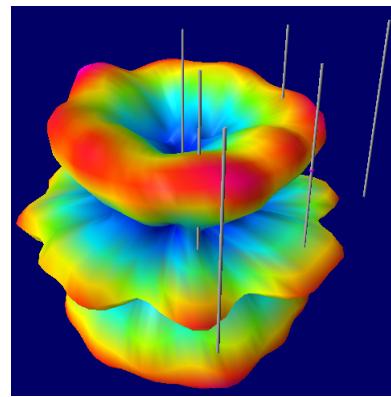
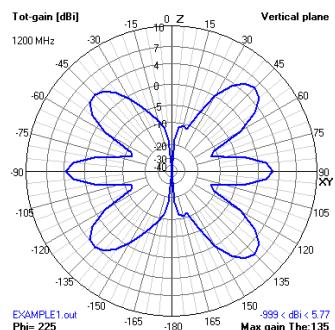
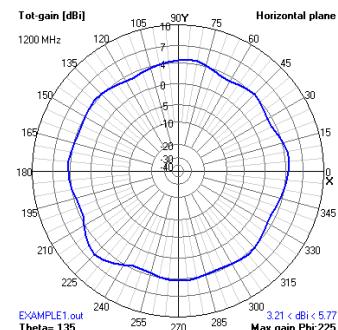


Figura 12: Radiación de antena a 1.2GHz



(a) Corte vertical

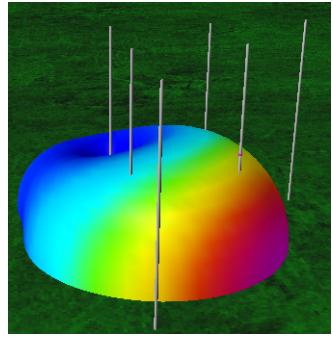


(b) Corte horizontal

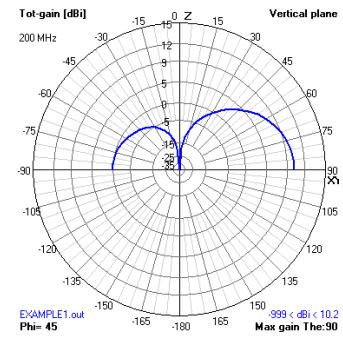
Figura 13: Cortes del diagrama de radiación a 1.2GHz

5. Antena con tierra perfecta

A continuación se observan los diagramas de radiación para la configuración de la misma antena pero con un plano de tierra perfecto. La principal diferencia entre ellos es la más rápida aparición de lóbulos secundarios. Estas simulaciones son útiles para ver el comportamiento en la tierra de la antena propuesta.

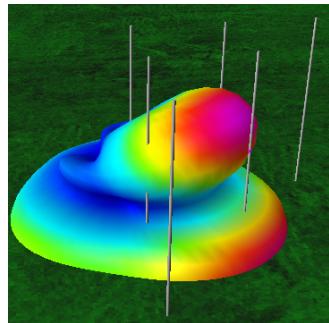


(a) Diagrama de radiación

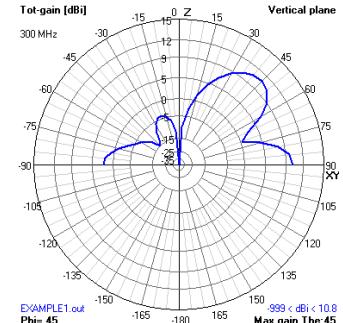


(b) Corte vertical

Figura 14: Antena con tierra perfecta a $200MHz$

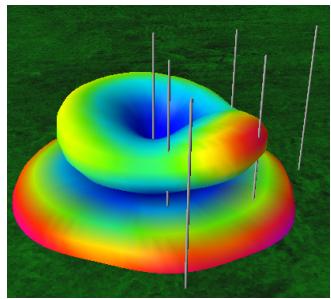


(a) Diagrama de radiación

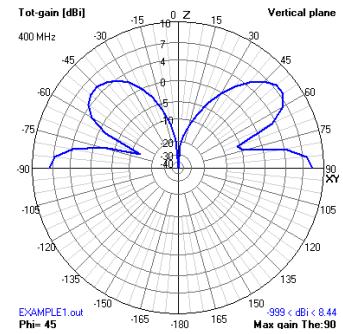


(b) Corte vertical

Figura 15: Antena con tierra perfecta a $300MHz$

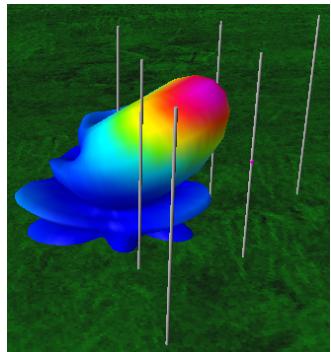


(a) Diagrama de radiación

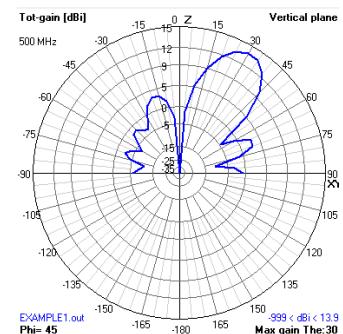


(b) Corte vertical

Figura 16: Antena con tierra perfecta a $400MHz$

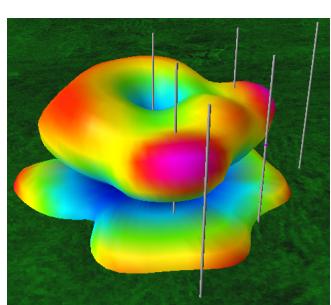


(a) Diagrama de radiación

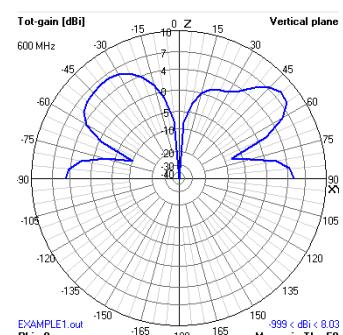


(b) Corte vertical

Figura 17: Antena con tierra perfecta a $500MHz$

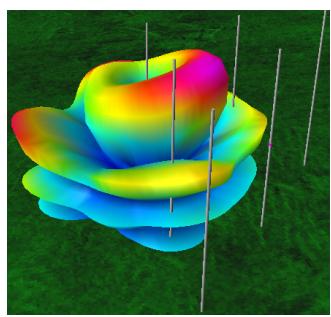


(a) Diagrama de radiación

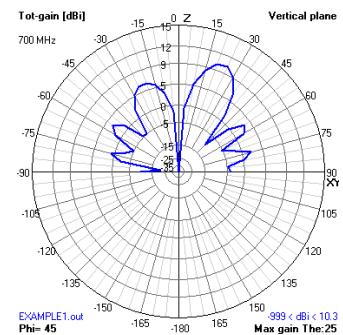


(b) Corte vertical

Figura 18: Antena con tierra perfecta a $600MHz$

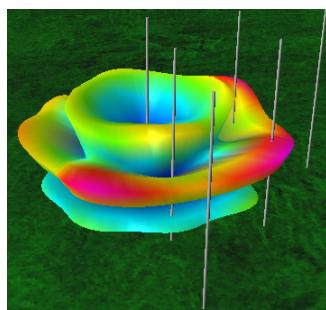


(a) Diagrama de radiación

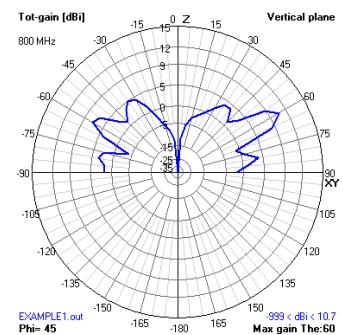


(b) Corte vertical

Figura 19: Antena con tierra perfecta a 700MHz

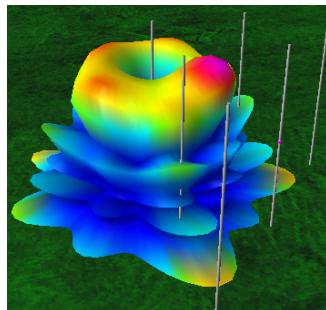


(a) Diagrama de radiación

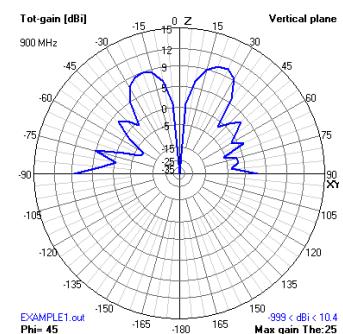


(b) Corte vertical

Figura 20: Antena con tierra perfecta a 800MHz



(a) Diagrama de radiación



(b) Corte vertical

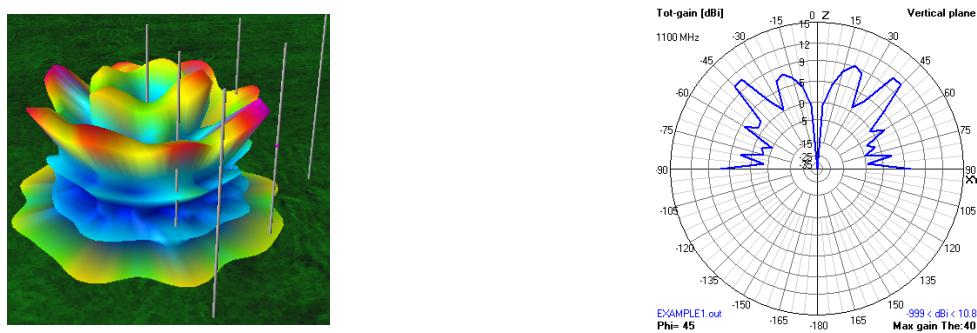
Figura 21: Antena con tierra perfecta a 900MHz



(a) Diagrama de radiación

(b) Corte vertical

Figura 22: Antena con tierra perfecta a $1GHz$



(a) Diagrama de radiación

(b) Corte vertical

Figura 23: Antena con tierra perfecta a $1.1GHz$



(a) Diagrama de radiación

(b) Corte vertical

Figura 24: Antena con tierra perfecta a $1.2GHz$

6. Corrientes en conductores

El alambre que funciona como conductor activo tiene la fuente de $1V$ en el centro. Esto genera una corriente en el mismo alambre, y también induce una corriente en los conductores pasivos, que terminan funcionando

como directores o reflectores. En las imágenes de magnitud se ve que se cumplen las condiciones de contorno impuestas sobre un conductor abierto: la corriente se anula en sus bordes. Se graficaron en un mismo cuadro las corrientes para el conducto activo y pasivo a modo de comparación: la corriente en el conductor activo, como era de esperarse, tiene un módulo mucho mayor a la corriente del pasivo, la cual es debida a la inducción dada por el primero.

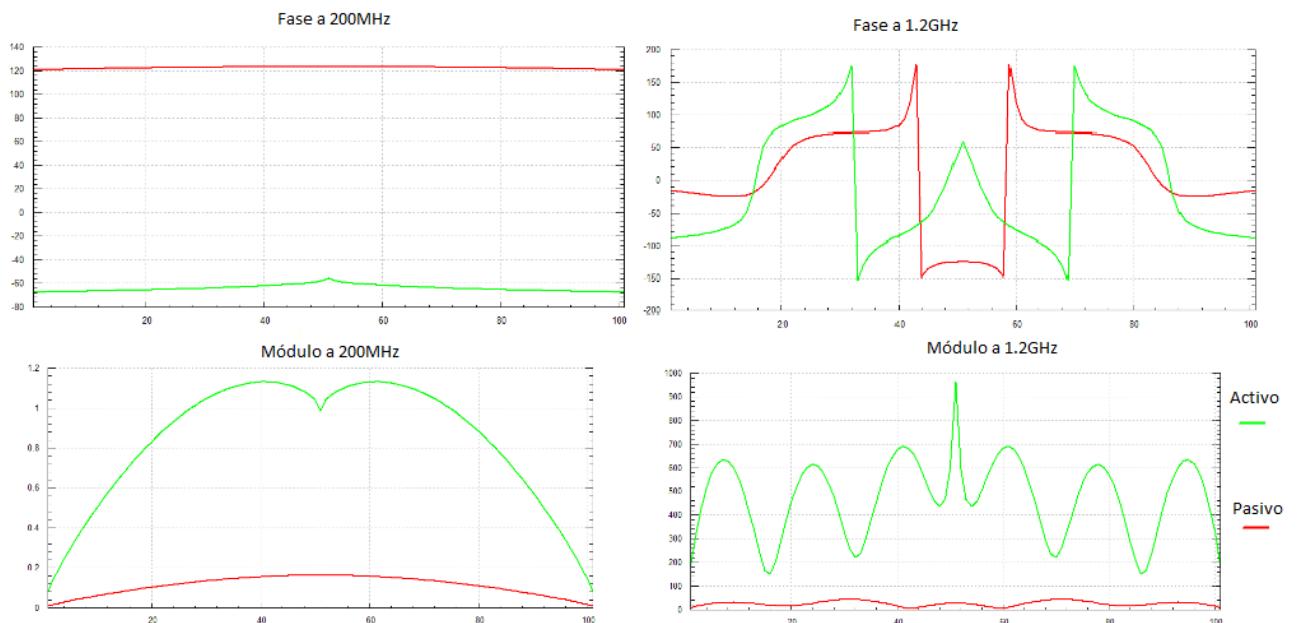


Figura 25: Gráficas de módulo y fase de corriente a $200MHz$ y $1.2GHz$ en conductores activo y pasivo sin tierra perfecta

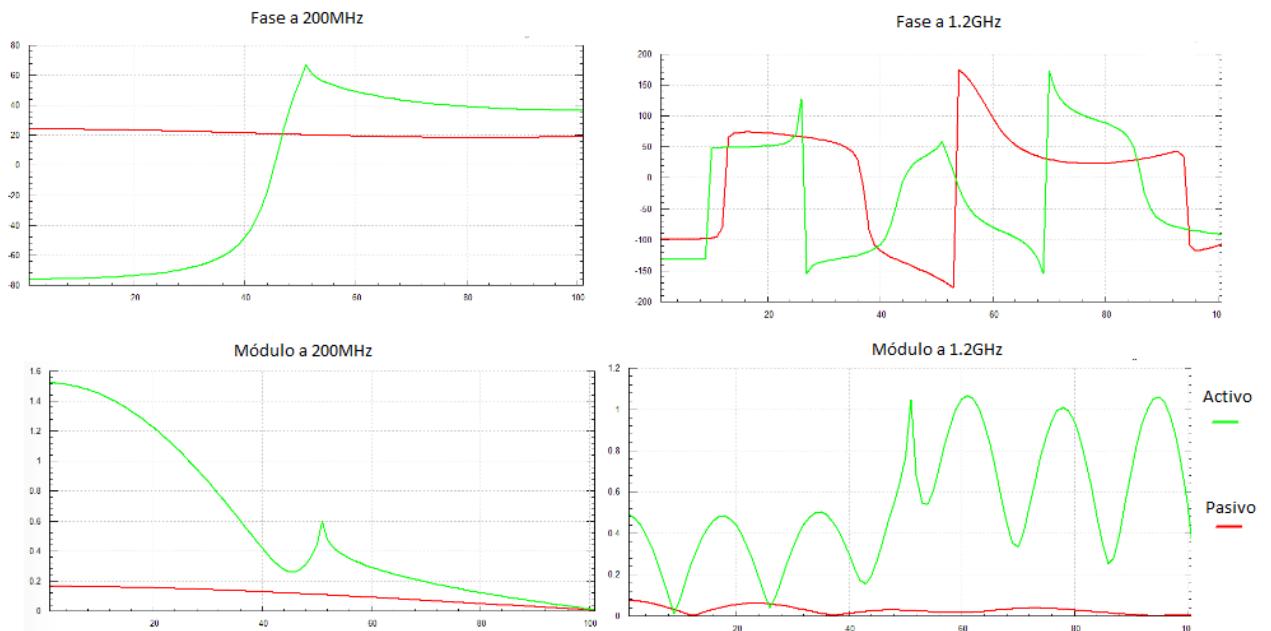


Figura 26: Gráficas de módulo y fase de corriente a $200MHz$ y $1.2GHz$ en conductores activo y pasivo con tierra perfecta

6.1. Determinación de resistencia de radiación de la estructura

En el programa 4NEC2 utilizamos la función de cálculo *Frequencysweep* para obtener las partes reales e imaginarias de la resistencia, así como su módulo y fase a $200MHz$.

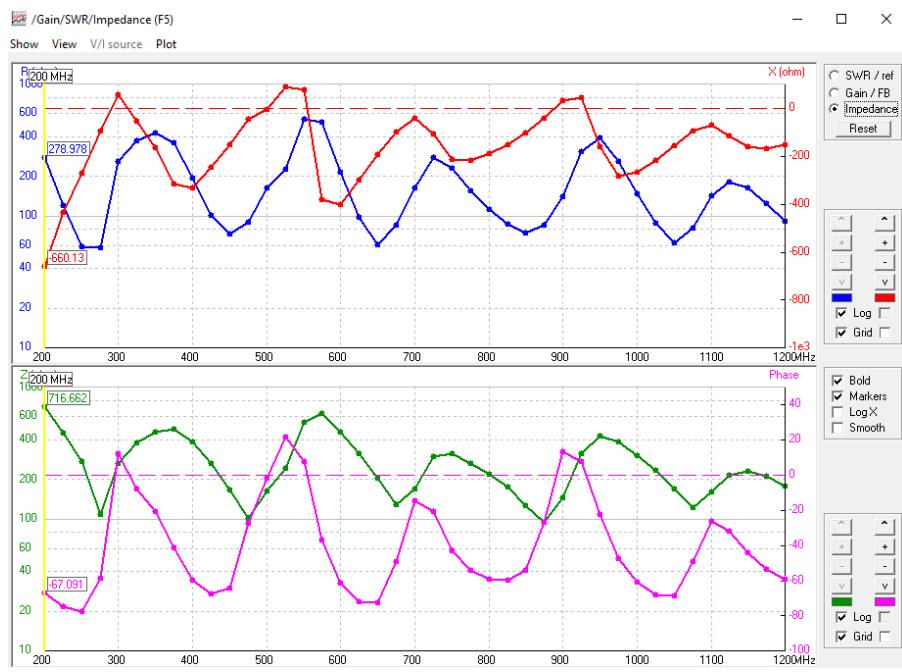


Figura 27: Resistencia de radiación con plano de tierra perfecto.

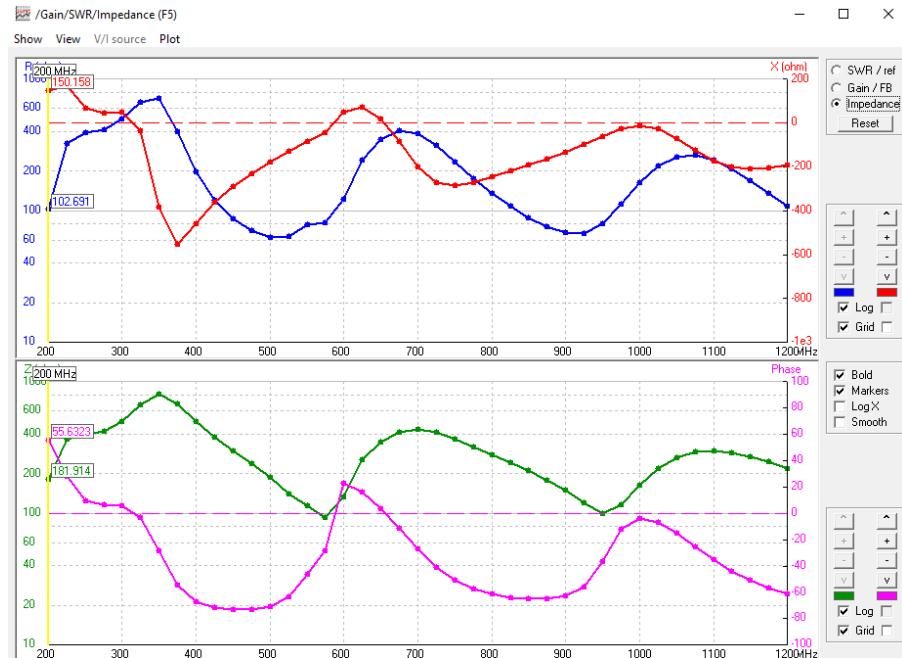


Figura 28: Resistencia de radiación sin plano de tierra.

Respecto a el por qué sirve conocer la parte imaginaria de la resistencia de radiación, se debe al teorema de

máxima potencia. Para cumplirlo, debemos conocer los valores reales e imaginarios de la carga para saber que resistencia colocar en serie con la fuente.

7. Adaptación de impedancias

En esta sección vamos a suponer que conectamos la estructura a un generador a través de una línea de transmisión de 50Ω , y que la misma trabajará en un entorno pequeño de la frecuencia más baja ($0,9f < f < 1,1f$). Se desea obtener la máxima eficiencia posible de la estructura, para esto vamos a diseñar un adaptador de impedancia entre la antena y la línea de transmisión, utilizando como herramienta el software *Smith*. El criterio a respetar será $|\rho| < 0,2$ para todas las frecuencias de operación.

7.1. Obtención de Z_L

Para obtener la impedancia de carga de nuestra antena, analizamos los gráficos de resistencia de radiación en función de la frecuencia, obtenidos mediante el *4NEC2* (figura 27 y 28).

$$Z_L(\text{aire}) = 150,15 + 102,69j\Omega$$

$$Z_L(\text{tierra}) = 278,97 - 660,13j\Omega$$

7.2. Adaptación de configuración libre (aire)

El primer adaptador que probamos fue de 3 elementos reactivos. Mediante el software *Smith* seteamos $Z_0 = 50\Omega$ y $Z_L = 150,15\Omega$. Luego, con la parte imaginaria de Z_L encontramos el valor de la inductancia en serie correspondiente a 200MHz. Una vez que tenemos nuestro punto inicial, vamos agregando componentes para movernos sobre las curvas de impedancia y admitancia en la carta, acercandonos lo más posible al punto central ($\rho = 0$). Arrancamos con un capacitor en serie con Z_L que solo nos agrega valores imaginarios, por lo cual nos movemos sobre una circunferencia de impedancia de valor real constante. Luego, al agregar un inductor en paralelo, nos movemos por la circunferencia de admitancia dado que los nuevamente su parte real se conserva. Por último, repetimos el primer paso agregando un capacitor en serie hasta quedar dentro del rango $|\rho| < 0,2$. Se eligió quedar en este punto aleatorio y no en el centro dado que es la configuración que era mas robusta para el barrido de frecuencia elegido, y sin embargo tenemos puntos fuera de nuestro criterio. Esto se debe a que hay demasiados componentes reactivos, y además las distancias recorridas en la carta son extensas.

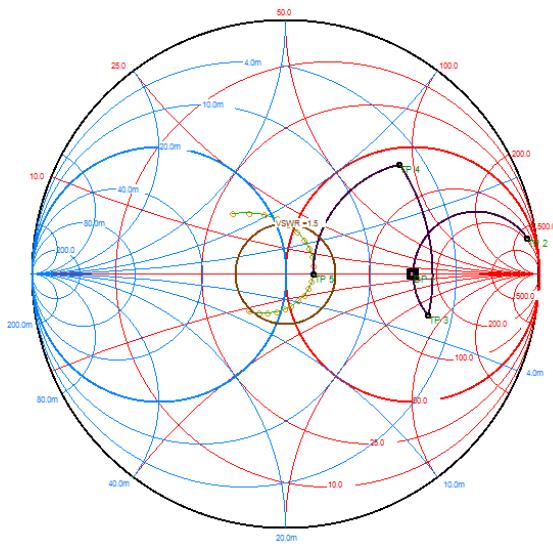


Figura 29: Trayecto realizado en carta de Smith hasta llegar al punto central. Los círculos amarillos en el punto central representan valores de ρ a distintas frecuencias.

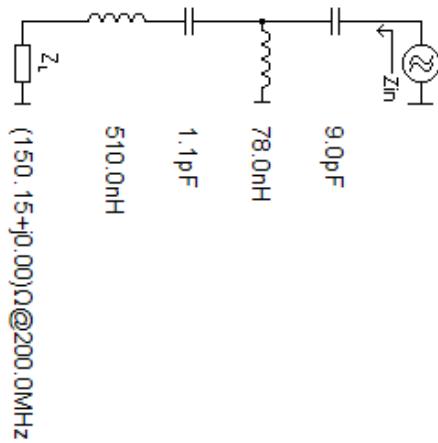


Figura 30: Esquemático del adaptador.

El segundo adaptador se compone de un elemento reactivo y un transformador. Con el capacitor nos situamos sobre la recta real de la carta de Smith. Luego, al poner un transformador en serie, amplificamos el valor de la impedancia hasta llegar al centro de la carta.

En este caso el barrido de frecuencia también devuelve valores fuera de nuestro criterio original. Llegamos a la conclusión de que al arrancar tan lejos del centro de la carta, es muy difícil adaptar esta línea sin adaptadores más sofisticados.

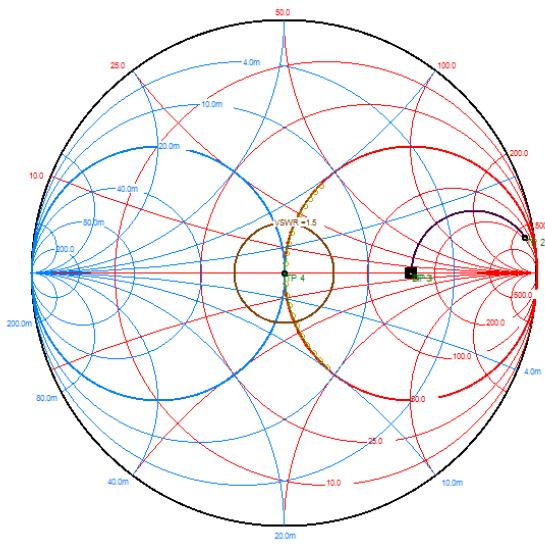


Figura 31: Trayecto realizado en carta de Smith hasta llegar al punto central. Los círculos amarillos en el punto central representan valores de ρ a distintas frecuencias.

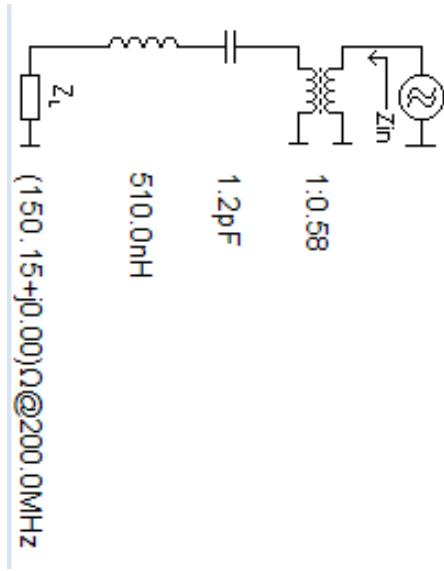


Figura 32: Esquemático del adaptador.

7.3. Adaptación de impedancia con tierra perfecta

En el caso de la tierra perfecta se utilizó un adaptador de 2 componentes reactivos y otro caso con transformador.

Para el primer adaptador, pudimos obtener un *sweep* que cumple en gran mayoría con el criterio elegido. Vemos que para este caso, el punto de partida impuesto por Z_L es más cercano al centro de la carta, por lo cual el modelo diverge en menor medida.

Para el caso del transformador, el componente reactivo que se agregó supuso un recorrido muy corto sobre la carta, por lo cual el *sweep* devuelve escasas variaciones, se concentra en el centro de la carta. El procedimiento para la obtención de cada adaptador es idéntico a los casos anteriores.

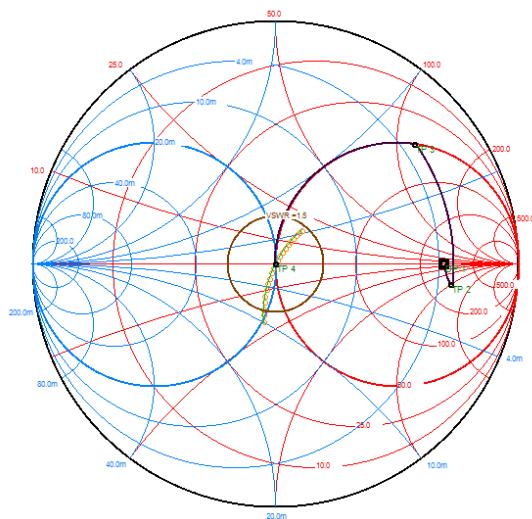


Figura 33: Carta de Smith para adaptador con dos componentes reactivos.

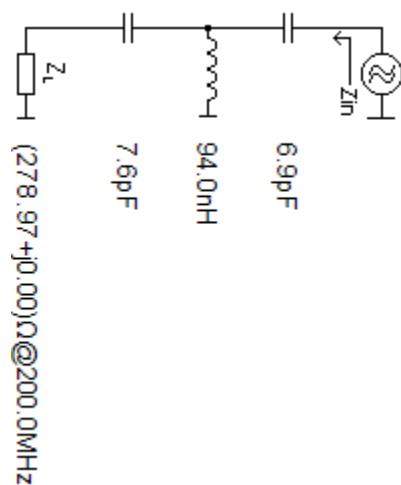


Figura 34: Esquemático del adaptador con dos componentes reactivos.

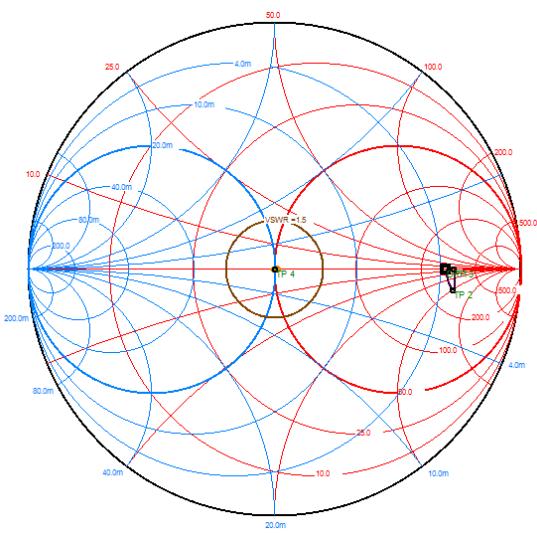


Figura 35: Carta de Smith para adaptador con transformador.

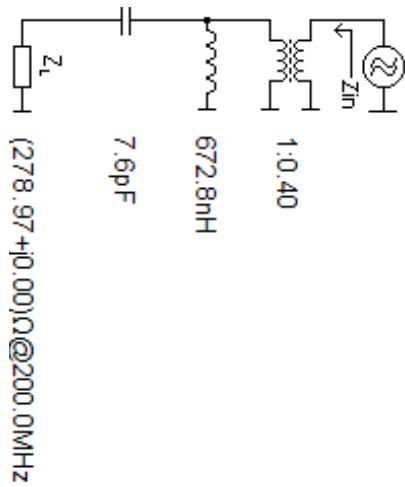


Figura 36: Esquemático del adaptador con transformador.

8. Conclusiones

En este trabajo pudimos analizar el comportamiento de una estructura a un cierto rango de alta frecuencia. En primera medida pudimos observar la aparición de lóbulos secundarios fuertemente dependientes de la frecuencia. A medida que esta incrementa, lo mismo sucede con los lóbulos, lo cual siempre es un comportamiento no deseado dado que son pérdidas de potencia en direcciones no deseadas.

Por otro lado, en las configuraciones sin tierra perfecta no se pudo llegar a resultados satisfactorios dado el criterio elegido inicialmente; esto se debe a que la impedancia de radiación a adaptar se encuentra en uno de los extremos de la carta, lo que requiere muchos componentes para llegar al centro de la misma. En el caso de

tierra perfecta, las adaptaciones cumplieron en mayor medida con lo que se buscaba, es el caso análogo de la otra configuración. Se ve claramente las ventajas de contar con una Z_L cercana al centro de la carta.