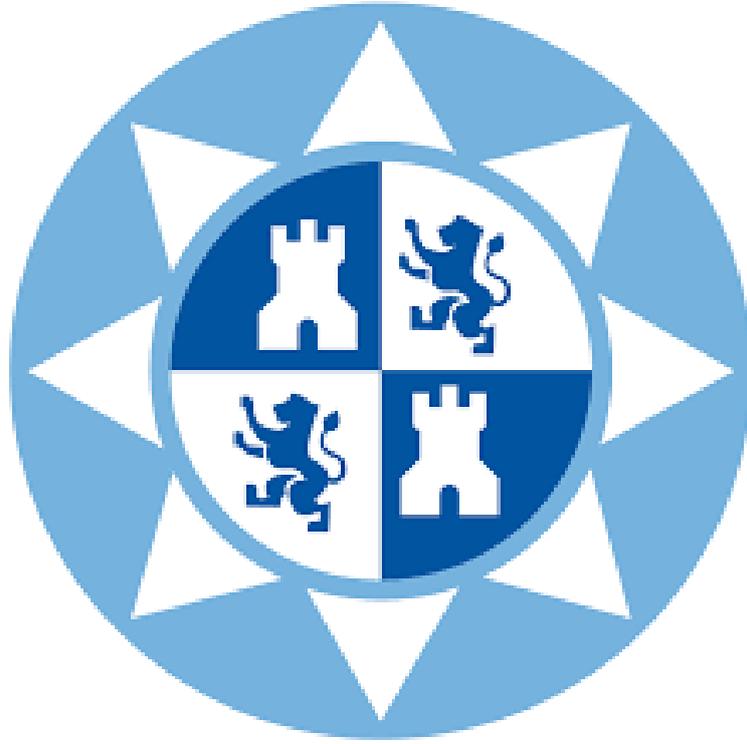


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA DE  
TELECOMUNICACIONES



PROYECTO FIN DE CARRERA

Diseño de Nuevas Estructuras de Filtros  
Paso Bajo Guiados Rellenas de  
Elementos Dieléctricos.



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

**Autor:** Guillermo Ruiz Díaz.

**Director:** Fernando Daniel Quesada Pereira.

**Co-Directores:** Alejandro Álvarez Melcón.

Antonio Romera Pérez.

Alejandro Pons Avenza.



**Agradecimientos:**

*“A mis padres, a mi hermano y a toda mi familia, gracias a ellos soy quien soy, agradecer todo el apoyo en los momentos más difíciles”*

*“A Antonio por su ayuda constante, y perder parte de su tiempo en mi”*

*“A mi profesor por su ayuda en este proyecto”*

# INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>1.1 INTRODUCCIÓN Y ESTRUCTURA DEL PROYECTO</b> .....	10
<b>1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO</b> .....	12
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	12
<b>2.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>2.2 EJEMPLO PRÁCTICO</b> .....	13
<b>3. DISEÑO DE FILTROS</b> .....	19
<b>3.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	19
<b>3.2 FILTROS CON POSTES DIELECTRICOS ELÍPTICOS INDUCTIVOS</b> .....	21
3.2.1 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=2'5$ .....	21
3.2.2 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=5$ .....	23
3.2.3 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=7'5$ .....	25
3.2.4 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=10$ .....	26
3.2.5 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=12'5$ .....	28
<b>3.3 EXPLICACIÓN DE FENÓMENOS</b> .....	29
<b>3.4 FILTROS CON POSTES DIELECTRICOS RECTANGULARES INDUCTIVOS</b> .....	34
3.4.1 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=2'5$ .....	34
3.4.2 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=5$ .....	36
3.4.3 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=7'5$ .....	37
3.4.4 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=10$ .....	39
3.4.5 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=12'5$ .....	40
<b>3.5 FILTROS CON POSTES DIELECTRICOS ELÍPTICOS CAPACITIVOS</b> .....	42
3.5.1 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=5$ .....	43
3.5.2 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=7'5$ .....	45
3.5.3 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=10$ .....	46
<b>3.6 SOLUCIONES PARA FILTROS ELÍPTICOS CAPACITIVOS</b> .....	47
3.6.1 FILTROS CON POSTES ELÍPTICOS “FLOTANDO” .....	48
3.6.2 FILTROS CON POSTES ELÍPTICOS SEPARADOS CON GAP .....	51
3.6.3 FILTROS CON POSTES ELIPTICOS MÁS FINOS.....	56
<b>3.7 FILTROS CON POSTES DIELECTRICOS RECTANGULARES CAPACITIVOS</b> .....	58
3.7.1 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=5$ .....	59
3.7.2 FILTROS CON DIFERENTE $\theta_c$ y $\epsilon_r=7.5$ .....	60
3.7.3 FILTRO CON $\epsilon_r$ ELEVADAS y $\theta_c=30^\circ$ .....	62
<b>4 TABLAS</b> .....	63

<b>5</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>73</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS Y BIBLIOGRFIA .....</b>	<b>74</b>

# INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Filtro paso bajo prototipo.....	13
Figura 2.2. Corte transversal de un poste del filtro en forma elíptica.....	14
Figura 2.3. Valores del semieje mayor respecto del parámetro $S_{21}$ .....	14
Figura 2.4. Barrido de longitud para el primer valor del semieje mayor.....	15
Figura 2.5. Barrido de longitud para el segundo valor del semieje mayor.....	15
Figura 2.6. Barrido de longitud para el tercer valor del semieje mayor.....	16
Figura 2.7. Filtro paso bajo con postes elípticos verticales.....	16
Figura 2.8. Valores del diseño de la figura 2.7.....	17
Figura 2.9. Respuesta del filtro paso bajo de la figura 2.7.....	17
Figura 2.10. Respuesta ideal de un filtro paso bajo prototipo.....	18
Figura 2.11. Diagrama de ceros y polos del filtro ideal.....	19
Figura 3.1. Elipse y sus semiejes.....	20
Figura 3.2. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	21
Figura 3.3. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	21
Figura 3.4. Filtro paso bajo $\Theta=50^\circ$ .....	22
Figura 3.5. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=2.5$ y $\Theta$ variables.....	22
Figura 3.6. Filtro paso bajo $\Theta=20^\circ$ .....	23
Figura 3.7. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	23
Figura 3.8. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	23
Figura 3.9. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=5$ y $\Theta$ variables.....	24
Figura 3.10. Filtro paso bajo $\Theta=20^\circ$ .....	25
Figura 3.11. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	25
Figura 3.12. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	25
Figura 3.13 Respuesta de filtros con $\epsilon_r=7.5$ y $\Theta$ variables.....	26
Figura 3.14. Filtro paso bajo $\Theta=10^\circ$ .....	26
Figura 3.15. Filtro paso bajo $\Theta=20^\circ$ .....	26
Figura 3.16. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	27
Figura 3.17. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	27
Figura 3.18. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=10$ y $\Theta$ variables.....	27
Figura 3.19. Filtro paso bajo $\Theta=20^\circ$ .....	28
Figura 3.20. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	28
Figura 3.21. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	28
Figura 3.22. Filtro paso bajo $\Theta=50^\circ$ .....	28
Figura 3.23. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=12.5$ y $\Theta$ variables.....	29
Figura 3.24. Valores del semieje mayor respecto del parámetro $S_{21}$ .....	30
Figura 3.25. Valores del semieje mayor respecto del parámetro $S_{21}$ .....	30
Figura 3.26. Valores del semieje mayor respecto del parámetro $S_{21}$ .....	31
Figura 3.27. Filtro paso bajo con $\epsilon_r=10$ y $\Theta=10^\circ$ .....	31
Figura 3.28. Filtro paso bajo con $\epsilon_r=12.5$ y $\Theta=50^\circ$ .....	32
Figura 3.29. Filtro paso bajo con $\epsilon_r=12.5$ y $\Theta=20^\circ$ .....	33
Figura 3.30. Valor desplazado por motivo de resonancia de dieléctrico.....	33
Figura 3.31. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	34
Figura 3.32. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	34
Figura 3.33. Filtro paso bajo $\Theta=50^\circ$ .....	34
Figura 3.34. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=2.5$ y $\Theta$ variables.....	35
Figura 3.35. Filtro paso bajo $\Theta=20^\circ$ .....	36
Figura 3.36. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	36
Figura 3.37. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	36
Figura 3.38. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=5$ y $\Theta$ variables.....	37

Figura 3.39. Filtro paso bajo $\Theta=20^\circ$ .....	37
Figura 3.40. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	37
Figura 3.41. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	38
Figura 3.42. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=7.5$ y $\Theta$ variables.....	38
Figura 3.43. Filtro paso bajo $\Theta=10^\circ$ .....	39
Figura 3.44. Filtro paso bajo $\Theta=20^\circ$ .....	39
Figura 3.45. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	39
Figura 3.46. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	39
Figura 3.47. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=10$ y $\Theta$ variables.....	40
Figura 3.48. Filtro paso bajo $\Theta=20^\circ$ .....	40
Figura 3.49. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	40
Figura 3.50. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	41
Figura 3.51. Filtro paso bajo $\Theta=50^\circ$ .....	41
Figura 3.52. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=12.5$ y $\Theta$ variables.....	41
Figura 3.53. Poste de un filtro problemático.....	42
Figura 3.54. Representación de la respuesta en frecuencia de la figura 3.52.....	43
Figura 3.55. Filtro paso bajo $\Theta=20^\circ$ .....	43
Figura 3.56. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	43
Figura 3.57. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	44
Figura 3.58. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=5$ y $\Theta$ variables.....	44
Figura 3.59. Filtro paso bajo $\Theta=20^\circ$ .....	45
Figura 3.60. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	45
Figura 3.61. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	45
Figura 3.62. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=7.5$ y $\Theta$ variables.....	46
Figura 3.63. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	46
Figura 3.64. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	46
Figura 3.65. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=10$ y $\Theta$ variables.....	47
Figura 3.66. Filtro paso bajo con postes capacitivos "flotando" con $\Theta=30^\circ$ .....	48
Figura 3.67. Respuesta del filtro mostrado en la Figura 3.64.....	48
Figura 3.68. Filtro paso bajo con postes capacitivos "flotando" con $\Theta=40^\circ$ .....	49
Figura 3.69. Respuesta de la zona de filtrado del filtro mostrado en la Figura 3.68.....	49
Figura 3.70. Respuesta de la zona de espurios del filtro mostrado en la Figura 3.68.....	50
Figura 3.71. Filtro paso bajo con postes capacitivos "flotando" con $\Theta=30^\circ$ .....	50
Figura 3.72. Filtro paso bajo con postes capacitivos "flotando" con $\Theta=40^\circ$ .....	50
Figura 3.73. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=7.5$ y $\Theta$ variables.....	51
Figura 3.74. Filtro de postes elípticos con GAP de 5mm y $\Theta=30^\circ$ .....	51
Figura 3.75. Respuesta de la zona de filtrado del filtro mostrado en la Figura 3.74.....	52
Figura 3.76. Respuesta de la zona de espurios del filtro mostrado en la Figura 3.74.....	52
Figura 3.77. Filtro de postes elípticos con GAP de 10mm y $\Theta=30^\circ$ .....	53
Figura 3.78. Respuesta de la zona de filtrado del filtro mostrado en la Figura 3.77.....	53
Figura 3.79. Respuesta de la zona de espurios del filtro mostrado en la Figura 3.77.....	54
Figura 3.80. Respuesta en frecuencia del filtro de la figura 3.75.....	54
Figura 3.81. Filtro de postes elípticos con GAP de 10mm y $\Theta=40^\circ$ .....	55
Figura 3.82. Respuesta en frecuencia del filtro de la figura 3.81.....	55
Figura 3.83. Respuesta de la zona de espurios del filtro mostrado en la Figura 3.81.....	56
Figura 3.84. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	57
Figura 3.85. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	57
Figura 3.86. Respuesta de filtros con $\epsilon_r=7.5$ y $\Theta$ variables.....	57
Figura 3.87. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	58
Figura 3.88. Respuesta en frecuencia del filtro de la figura 3.87.....	58
Figura 3.89. Filtro paso bajo $\Theta=20^\circ$ .....	59
Figura 3.90. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	59

Figura 3.91. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	59
Figura 3.92. Respuesta de filtros con $\epsilon_r =5$ y $\Theta$ variables.....	60
Figura 3.93. Filtro paso bajo $\Theta=20^\circ$ .....	60
Figura 3.94. Filtro paso bajo $\Theta=30^\circ$ .....	60
Figura 3.95. Filtro paso bajo $\Theta=40^\circ$ .....	61
Figura 3.96. Respuesta de filtros con $\epsilon_r =7.5$ y $\Theta$ variables.....	61
Figura 3.97. Filtro paso bajo con $\epsilon_r=10$ .....	62
Figura 3.98. Filtro paso bajo con $\epsilon_r=20$ .....	62
Figura 3.99. Respuesta de filtros con $\epsilon_r$ altos y $\Theta=30$ .....	62
Figura 3.100. Valor desplazado por motivo de la resonancia .....	63

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de los filtros del apartado 3.2.1.....	63
Tabla 2. Valores de los filtros del apartado 3.2.2.....	64
Tabla 3. Valores de los filtros del apartado 3.2.3.....	64
Tabla 4. Valores de los filtros del apartado 3.2.4.....	65
Tabla 5. Valores de los filtros del apartado 3.2.5.....	65
Tabla 6. Valores de los filtros del apartado 3.4.1.....	66
Tabla 7. Valores de los filtros del apartado 3.4.2.....	66
Tabla 8. Valores de los filtros del apartado 3.4.3.....	67
Tabla 9. Valores de los filtros del apartado 3.4.4.....	67
Tabla 10. Valores de los filtros del apartado 3.4.5.....	68
Tabla 11. Valores de los filtros del apartado 3.5.1.....	68
Tabla 12. Valores de los filtros del apartado 3.5.2.....	69
Tabla 13. Valores de los filtros del apartado 3.5.3.....	69
Tabla 14. Valores de los filtros del apartado 3.6.1.1.....	70
Tabla 15. Valores de los filtros del apartado 3.6.1.2.....	70
Tabla 16. Valores de los filtros del apartado 3.6.2.1, 3.6.2.2 y 3.6.2.3.....	71
Tabla 17. Valores de los filtros del apartado 3.6.3.1 y 3.6.3.2.....	71
Tabla 18. Valores de los filtros del apartado 3.7.1.....	72
Tabla 19. Valores de los filtros del apartado 3.7.2.....	72
Tabla 20. Valores de los filtros del apartado 3.7.3.....	73



# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 INTRODUCCIÓN Y ESTRUCTURA DEL PROYECTO**

El trabajo realizado consiste en la elaboración de filtros paso bajo de microondas implementados sobre guíaonda con elementos dieléctricos, tratando el filtro tanto de manera inductiva como capacitiva. Antes de nada definiremos brevemente el momento de la historia en el que se empiezan a desarrollar los filtros de microondas y posteriormente algunos conceptos para tener más claro el objetivo del proyecto.

El desarrollo de los filtros empezó en los años anteriores a la II Guerra Mundial. Todos estos estudios derivaron, a principios de los 50, en un voluminoso manual de filtros y acopladores donde se desarrollan todas las técnicas utilizadas actualmente.

Un filtro de microondas es un dispositivo con una respuesta selectiva en frecuencia, de modo que discrimina señales de microondas en función de su frecuencia. Por tanto, eliminaremos o atenuaremos las frecuencias que sean superiores a la frecuencia de corte y dejaremos pasar aquellas frecuencias que se encuentren en frecuencias inferiores a la de corte inferior. Las respuestas típicas de un filtro son paso bajo, paso alto, paso banda y banda eliminada.

*Una guía de onda es un tubo conductor a través del cual se transmite la energía en la forma de ondas electromagnéticas. El tubo actúa como un contenedor que confina las ondas en un espacio cerrado. El efecto de jaula de Faraday atrapa cualquier campo electromagnético fuera de la guía. [1]*

Una vez definido lo anterior, pasaremos a centrarnos en el proyecto que nos ocupa, en este caso en los filtros paso bajo, cuya aplicación esencialmente se encuentra en el ámbito de las aplicaciones espaciales, ya que son perfectos para eliminar espurios cuando se trabaja a altas frecuencias. Además son utilizados en otras aplicaciones que requieren elevados anchos de banda, ya que el ancho de banda de los filtros paso bajo suele ser mayor que el de los filtros paso banda.

El diseño de estos filtros paso bajo lo haremos mediante una guíaonda rectangular con postes dieléctricos incrustados en ella. Estos postes serán primeramente elípticos, y realizaremos diseños variando su orientación, tanto horizontal como vertical. Realizaremos estudios paramétricos variando tanto la altura como la anchura de los postes, es decir, lo haremos cambiando su componente inductiva o capacitiva. Iremos proponiendo distintas permitividades y distintos ángulos con el fin de ver cómo se comporta la respuesta de dichos

filtros. Posteriormente trabajaremos con postes rectangulares con el objetivo de comparar las respuestas y ver si se obtiene alguna mejora.

En la elaboración de filtros hay una serie de síntesis de funciones de transferencia que hay que emplear con el fin de obtener unos parámetros que nos indiquen las características físicas del filtro. En nuestro trabajo usaremos las funciones polinómicas de Chebyshev. Finalmente, con los parámetros obtenidos se construye el filtro. Posteriormente explicaremos cómo obtener los parámetros necesarios y mostraremos los diseños obtenidos.

Para la realización de este proyecto hemos hecho uso de software comercial de cálculo numérico como es MATLAB [2] para las síntesis de las ecuaciones, y gracias al software de simulación electromagnético de onda completa HFSS [3] hemos podido realizar los diseños y obtener resultados. Mediante un *script* de MATLAB hemos elaborado los filtros que se han incluido en este proyecto y con un *script* ya implementado hemos “analizado” dichas estructuras.

Actualmente existen nuevas técnicas de fabricación, que permiten la elaboración de filtros cuyas estructuras no son convencionales, y poder así obtener respuestas en frecuencia particulares y características especiales. Una de estas técnicas se implementa mediante la impresión 3D [4]. Así se pueden obtener filtros más compactos y con geometrías que con metal serían imposibles de conseguir.

La estructura de este Trabajo fin de grado (TFG) la hemos elaborado en función a los objetivos descritos posteriormente. Planteamos un primer capítulo de introducción, donde describimos el estado del arte y la evolución histórica de este ámbito de estudio, explicando conceptos básicos y necesarios para entender la posterior realización del trabajo. En un segundo capítulo explicaremos de manera teórica cómo hemos sido capaces de elaborar los filtros en cuestión; es decir, cómo hemos obtenido las distancias, anchuras, y valores necesarios para realizar nuestro proyecto. Posteriormente entraremos en el capítulo tres, donde vamos a mostrar los diseños realizados y los resultados obtenidos con sus consecuentes errores y soluciones obtenidas, haciendo también un breve estudio de los resultados, y comentando las respuestas obtenidas. Posteriormente, en el capítulo cuatro plantearemos conclusiones y líneas futuras para seguir con la investigación referente al tema en cuestión, proponiendo nuevos proyectos. Finalmente en un último capítulo recogeremos distintos anexos y bibliografía mediante la cual hemos obtenido la documentación e información necesaria para abordar este proyecto.

## 1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

En este proyecto hemos definido una serie de objetivos globales, los cuales abarcar para marcar un guion a seguir y obtener así una línea de trabajo clara. Los objetivos principales serán los siguientes:

- Búsqueda de bibliografía sobre el tema en cuestión, mediante la cual hemos conseguido conceptos teóricos para poder abordar el proyecto y elaborar este informe.
- Adquisición de conocimientos necesarios para el uso de los programas empleados. Se han empleado unas semanas de introducción a HFSS, trabajando en filtros ya realizados con el fin de familiarizarnos con el entorno y dominar el programa de simulación electromagnética. Por otro lado, el entorno de cálculo numérico MATLAB ya lo conocíamos de la carrera, por lo que la adaptación ha sido más rápida.
- Mejorar la capacidad de resolver problemas surgidos en la elaboración y el posterior estudio de los filtros paso bajo que nos ocupan.
- Realización de filtros paso bajo de microondas mediante postes dieléctricos de manera capacitiva e inductiva, y el posterior estudio de sus resultados, con el fin de poder mejorar algún parámetro de estos y que puedan utilizarse para fines comerciales.

Consideramos este trabajo más práctico que teórico, pues no nos centraremos tanto en la resolución de las ecuaciones de Chebyshev necesarias para la síntesis de los filtros paso bajo, que vienen desarrolladas en el Libro de Cameron [5], sino, gracias a unos script del trabajo realizado por Antonio Romera [6] en MATLAB que solucionan dichas ecuaciones, iremos proponiendo diseños de filtros (elaborados también en dicho programa), con el fin de estudiar sus comportamientos, y deducir conclusiones de sus respuestas.

Se intenta explicar de forma sencilla la construcción de filtros paso bajo a partir de unos parámetros que se consiguen con la síntesis de ecuaciones, por lo que nos centraremos más en el apartado práctico que teórico.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo vamos a explicar de forma conceptual y con un ejemplo, los distintos pasos a seguir a la hora de la elaboración de los filtros paso bajo diseñados en este trabajo. Antes de nada haremos una breve explicación teórica de los filtros

paso bajo y posteriormente explicaremos con un ejemplo, de manera más detallada, la elaboración de dichos filtros.

Nuestros filtros están formados por una guía de onda, y unos inversores (seis en este proyecto).

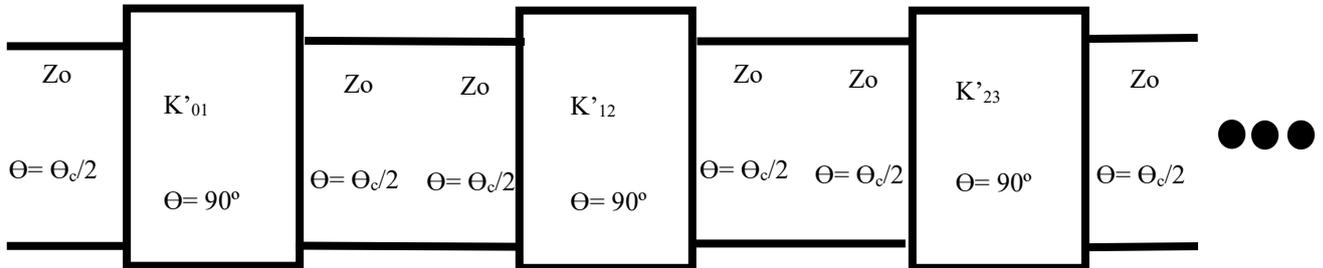


Figura 2.1. Filtro paso bajo prototipo.

Partimos de unos valores iniciales, como son el orden N del filtro, RL (pérdidas por retorno) y  $\Theta_c$  (desfase eléctrico). A partir de aquí y mediante síntesis matemática (desarrollada en el Libro de Cameron) obtenemos unos valores K de los inversores. Como se puede ver en la figura anterior (figura 2.1), dichos inversores están separados por líneas de transmisión de longitud eléctrica  $\Theta_c$ . Por tanto, obtenemos el valor del parámetro de transmisión  $S_{21}$  de este circuito a partir de los valores de los inversores K que obtenemos en la síntesis.

Una vez que tenemos dichos valores de  $S_{21}$ , procedemos a explicar la construcción de los filtros mediante el siguiente ejemplo práctico que presentamos en la siguiente sección.

## 2.2 EJEMPLO PRÁCTICO

Antes de comenzar, decir que el ejemplo es un filtro paso bajo de postes dieléctricos en forma de elipse, con una permitividad relativa de 7.5, y una  $\Theta_c=30^\circ$ . Decir también que es un filtro de orden  $N=6$ , y que iremos explicando detalladamente su comportamiento mediante gráficas y valores obtenidos en MATLAB y HFSS.

Establecemos unas condiciones iniciales, tanto para construir la guía como para construir el inversor. Obtendremos los valores necesarios de anchura de cada poste (que en este proyecto hemos definido como  $e_{am}$ ), es decir, obtenemos los tamaños necesarios para conseguir el valor de  $S_{21}$  necesario.

Presentamos la figura 2.2 con el fin de que quede más claro el valor que vamos a ir variando.

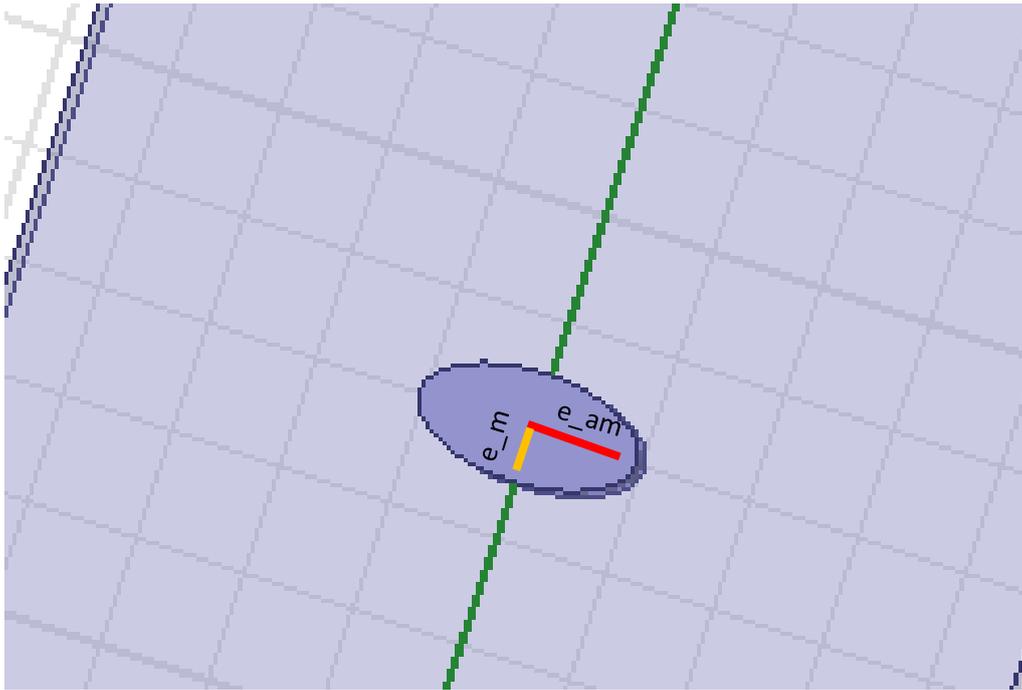


Figura 2.2. Corte transversal de un poste del filtro en forma elíptica.

En la figura 2.3 obtenemos los valores necesarios del semieje mayor de la elipse  $e_m$ , para poder conseguir los valores de  $S_{21}$  deseados.

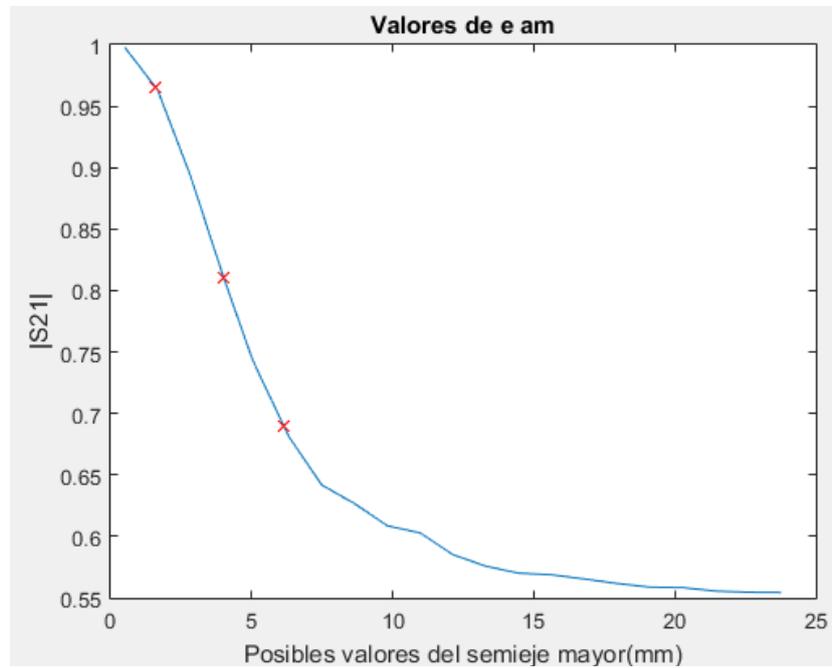
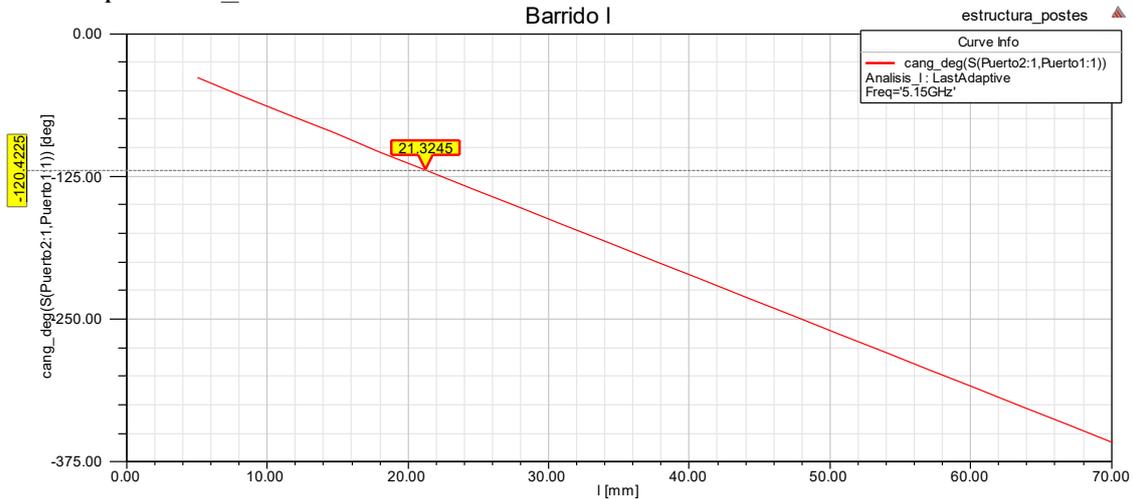


Figura 2.3. Valores del semieje mayor respecto del parámetro  $S_{21}$ .

Los filtros elaborados en este proyecto son de orden N=5, y son simétricos, de ahí que solo se presenten 3 puntos en la gráfica (ver la figura 2.3). Estos puntos nos dan los valores de e\_am (semieje mayor, explicado posteriormente).

Una vez conocemos estos valores, obtenemos mediante una gráfica donde representamos las fases (ver la figura 2.4), la separación entre dichos postes.

Para el primer e\_am:



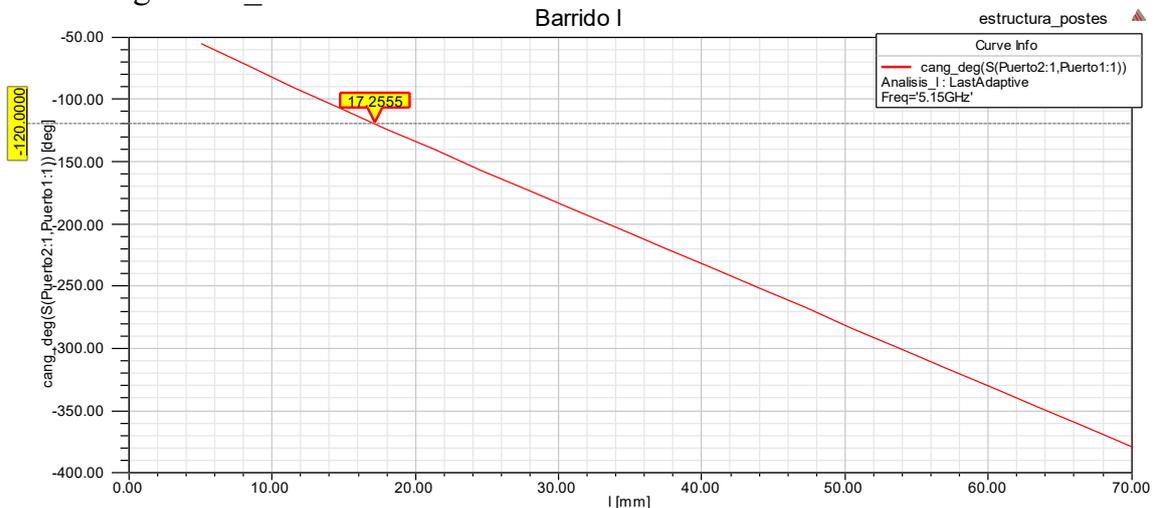
Representaremos una de estas gráficas por poste, en total tres, ya que son simétricos.

¿Por qué seleccionamos 120° de fase? Porque para obtener la longitud se hace a partir de la fase mediante la siguiente expresión:

$$\angle S_{21} = -\frac{\Theta}{2} - 90^\circ - \frac{\Theta}{2}$$

Por tanto, seleccionando  $\Theta=30^\circ$ , resulta que son 120°.

Para el segundo e\_am:



Para el tercer e am:

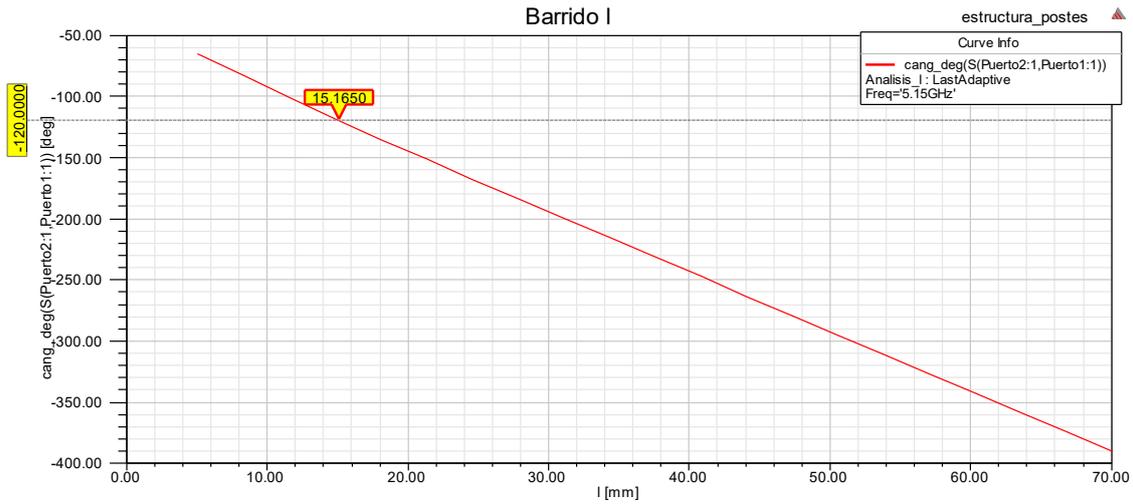


Figura 2.6. Barrido de longitud para el tercer valor del semieje mayor.

Estos son los valores de  $l_1$ ,  $l_2$  y  $l_3$  que posteriormente comprobaremos, cuando el diseño esté totalmente terminado.

Una vez que tenemos todas las longitudes y valores de los semiejes mayores ( $e_{am}$ ), se construye el filtro (ver la figura 2.7):

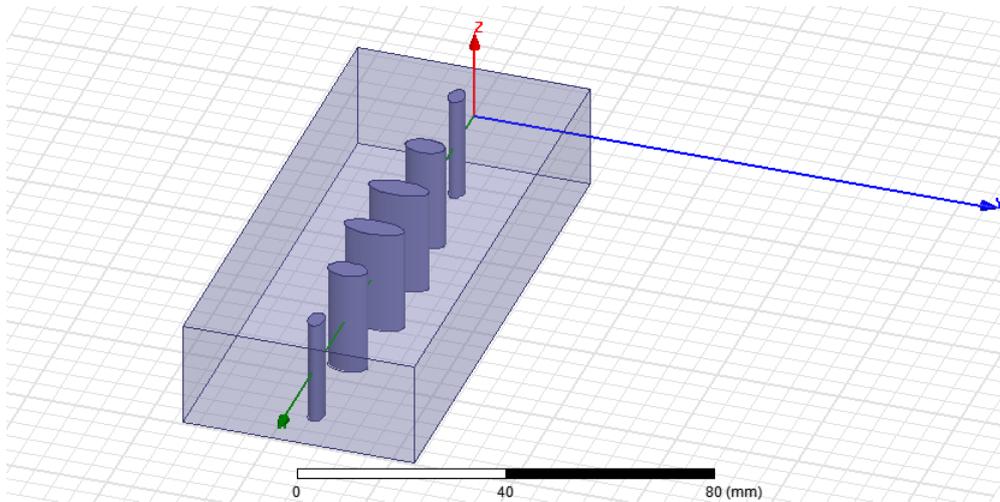


Figura 2.7. Filtro paso bajo con postes elípticos verticales.

Como podemos comprobar en la figura 2.8 los valores son los obtenidos anteriormente:

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Type
a	47.5488	mm	47.5488mm	Design
b	22.1488	mm	22.1488mm	Design
e_m	2.5	mm	2.5mm	Design
l1	21.4084	mm	21.4084mm	Design
e_am1	1.612	mm	1.612mm	Design
l2	17.2555	mm	17.2555mm	Design
e_am2	4.0048	mm	4.0048mm	Design
l3	15.165	mm	15.165mm	Design
e_am3	6.1291	mm	6.1291mm	Design
l4	15.165	mm	15.165mm	Design
e_am4	6.1291	mm	6.1291mm	Design
l5	17.2555	mm	17.2555mm	Design
e_am5	4.0048	mm	4.0048mm	Design
l6	21.4084	mm	21.4084mm	Design
e_am6	1.612	mm	1.612mm	Design

Figura 2.8. Valores del diseño de la figura 2.7.

Y finalmente su representación:

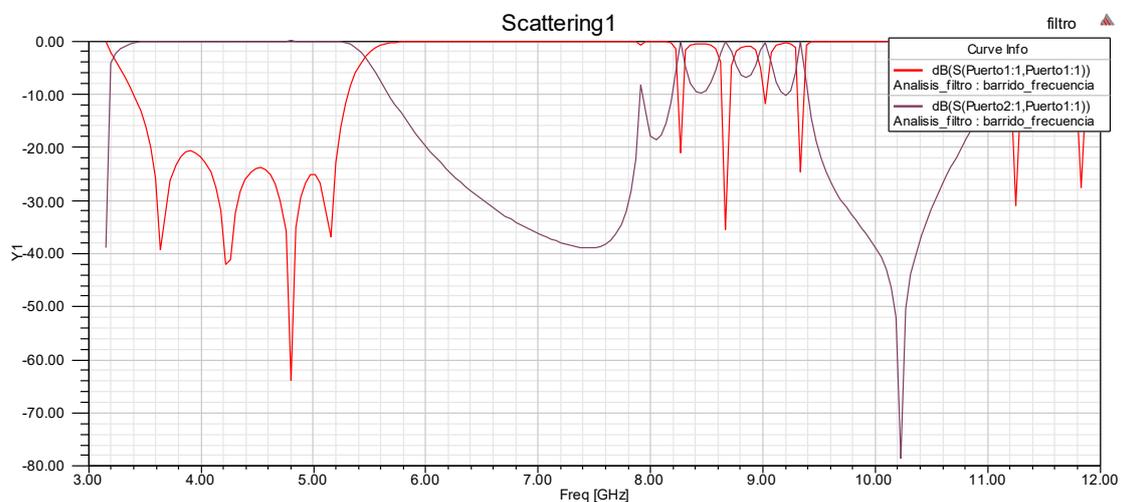


Figura 2.9. Respuesta del filtro paso bajo de la figura 2.7.

Como se puede observar en la figura 2.9 se aprecian los cinco polos teóricamente deben aparecer en la respuesta, pero el primero de ellos es complejo (se encuentra al principio de la banda de paso), los otros cuatro son reales. Tienen que aparecer cinco ya que el filtro es de orden 6, y por definición, tenemos  $N-1$  polos.

Como hemos dicho anteriormente, el diseño de los filtros lo hemos hecho mediante unos *scripts* de MATLAB. Dichos *scripts* nos muestran una imagen del

filtro prototipo que deseamos obtener. Esta figura es una respuesta totalmente ideal, por lo que no es una respuesta en frecuencia real. Se busca que nuestras respuestas sean similares a esta, pero no tenemos un ordenador que tenga tanta exactitud de computo, aparte de que los filtros diseñados, nunca van a ser tan precisos como la respuesta ideal (ver la figura 2.10).

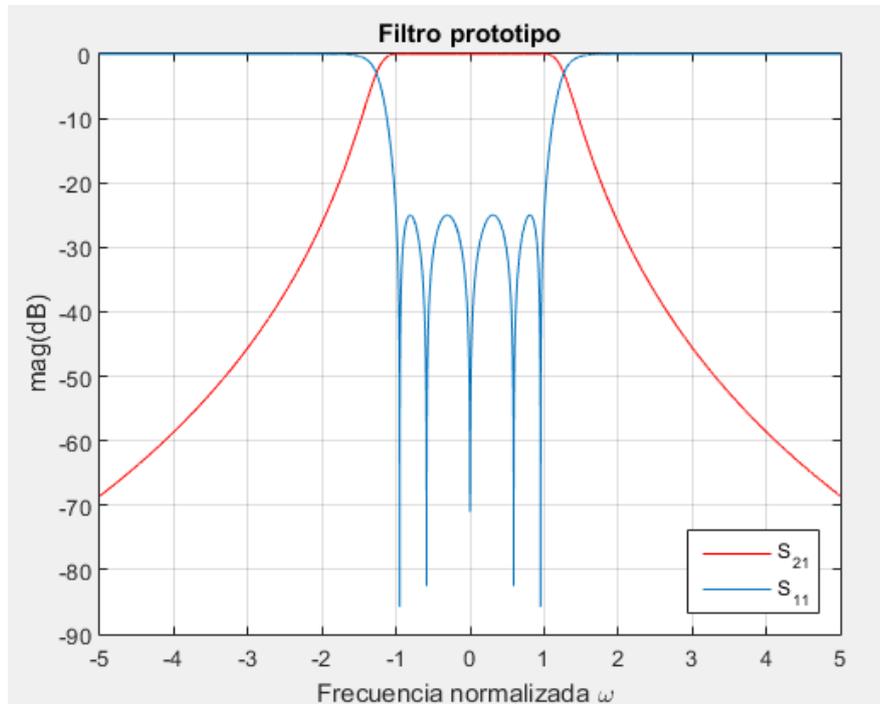


Figura 2.10. Respuesta ideal de un filtro paso bajo prototipo.

También obtenemos el diagrama de polos y ceros del filtro ideal (ver la figura 2.11), donde se puede observar con total claridad la posición en el plano complejo de estos fenómenos:

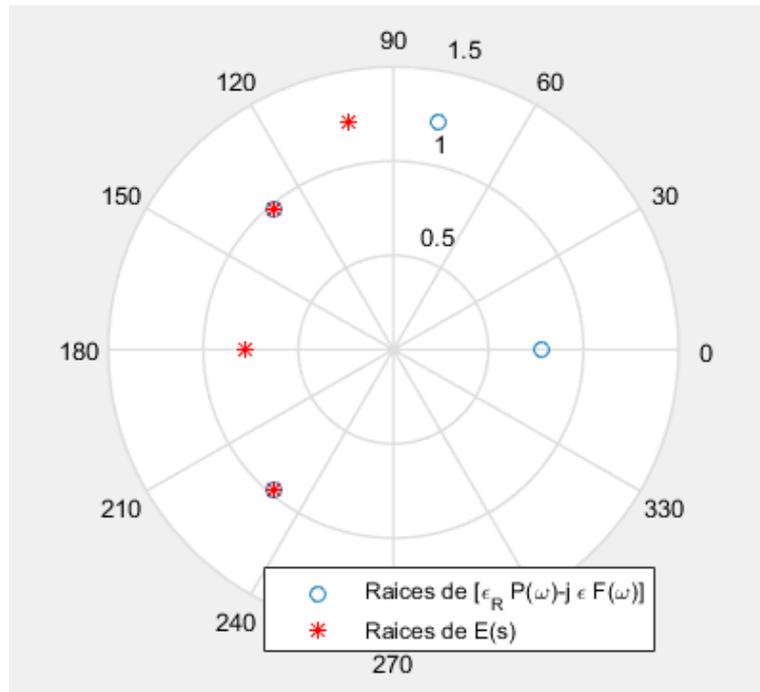


Figura 2.11. Diagrama de ceros y polos del filtro ideal.

## 3. DISEÑO DE FILTROS

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En este punto abordaremos el grueso de este proyecto, donde vamos a mostrar todos los diseños elaborados en *scripts* de MATLAB y representados mediante HFSS, herramienta mediante la cual también hemos obtenido las gráficas con las cuales vamos a obtener una serie de conclusiones.

En este trabajo hemos abordado la creación de filtros paso bajo de microondas con dieléctricos, haciendo diseños tanto de carácter inductivo como de carácter capacitivo. Hemos trabajado tanto con postes elípticos como con postes rectangulares, encontrando problemas y elaborando filtros alternativos con el fin de explicar el mal funcionamiento en algunos casos.

Antes de entrar en materia pondremos en conocimiento el tratamiento que le hemos dado tanto a las elipses como a los rectángulos.

Comenzamos explicando el tratamiento elíptico (ver la figura 3.1): “una elipse es una figura geométrica curva y cerrada, con dos ejes perpendiculares desiguales (eje mayor y eje menor), que resulta de cortar la superficie de un cono por un plano no perpendicular a su eje, y que tiene la forma de un círculo achatado.”

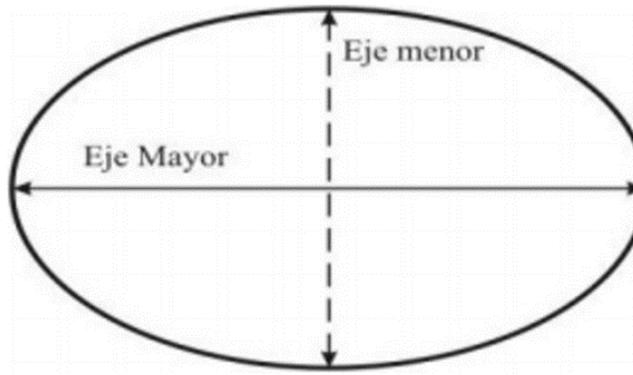


Figura 3.1. Elipse y sus semiejes.

En nuestro caso hemos dejado fijo el eje menor y hemos ido variando el eje mayor, para conseguir el correcto funcionamiento del filtro llegando a un compromiso entre la permitividad y el volumen de los postes, con la intención de obtener el valor necesario de  $|S_{21}|$  para conseguir una síntesis correcta.

El diseño es un filtro paso bajo formado por una guía rectangular rellena de aire o de vacío, y unos postes en forma de elipse de dieléctrico, es decir, su permitividad relativa es distinta de 1 ( $\epsilon_r > 1$ ). En la formación de la elipse se puede distinguir un semieje mayor y un semieje menor, variando en nuestro caso el semieje mayor como hemos dicho anteriormente. Hemos realizado varias pruebas con el mismo diseño, modificando tanto  $\Theta$ , que es el desfase eléctrico ( $\Theta$ ), como la permitividad relativa ( $\epsilon_r$ ) de los postes.

Decir también que hemos realizado filtros con los postes capacitivos y con los postes inductivos, extendiéndose esto también a los diseños filtros rectangulares.

Por otro lado, el tratamiento que le hemos dado a los rectángulos es totalmente similar al de las elipses, es decir, hemos considerado uno de sus lados fijo y el otro lo vamos variando según el compromiso dicho anteriormente, con el fin de obtener los valores necesarios para la correcta síntesis y funcionamiento de la estructura. Modificaremos la permitividad eléctrica ( $\epsilon_r$ ) de los postes, al igual que  $\Theta$  y alteraremos el comportamiento de dichos filtros.

Finalmente, compararemos las respuestas obtenidas tanto con los filtros elípticos como con los rectangulares y obtendremos una conclusión de qué nos aporta uno mejor que otro. Realmente esperamos que sus respuestas sean bastante similares pero queremos comprobarlo.

## 3.2 FILTROS CON POSTES DIELECTRICOS ELÍPTICOS INDUCTIVOS

Nos metemos de lleno en los diseños y sus respuestas. Empezaremos por los filtros de postes elípticos verticales, comenzando por una permitividad relativa  $\epsilon_r=2,5$  que iremos aumentando y variando los valores de  $\Theta$ .

Como veremos a continuación, las respuestas gráficas de los filtros están en una misma representación, es decir, tenemos tres o cuatro respuestas distintas en la misma gráfica, con el fin de poder compararlas mejor entre ellas y obtener una conclusión mejor. Se representará el  $S_{11}$  (coeficiente de reflexión a la entrada) y el  $S_{21}$  (coeficiente de transmisión directa) para poder ver cuál es el comportamiento del filtro y posteriormente comentar los resultados.

Antes de comenzar a mostrar los diseños, decir que los valores iniciales de los postes elípticos son, haciendo referencia a la figura del apartado 2.2, los siguientes: (semieje menor)  $e_m=2.5\text{mm}$ , (semieje mayor)  $e_{am}=5\text{mm}$ .

La variable es el semeje mayor ( $e_{am}$ ), por lo que dejamos fijo el semeje menor ( $e_m$ ), por lo que iremos variando el semeje mayor para obtener los valores necesarios para conseguir los valores obtenidos en la síntesis anteriormente.

### 3.2.1 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=2'5$ .

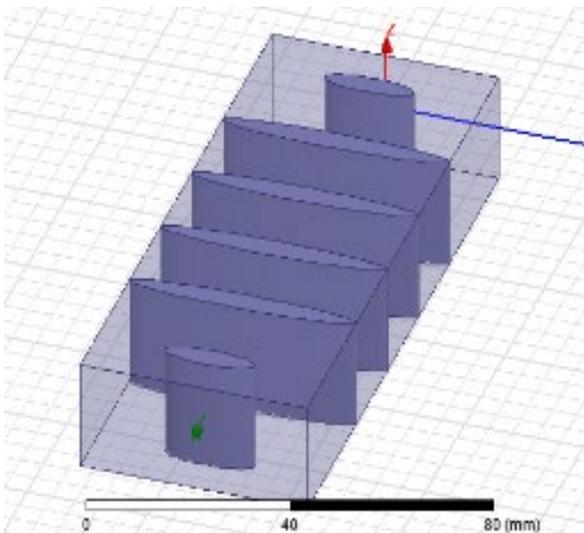


Figura 3.2. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

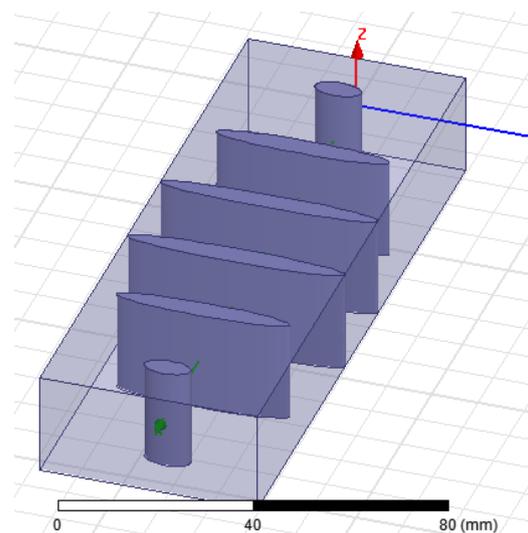


Figura 3.3. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

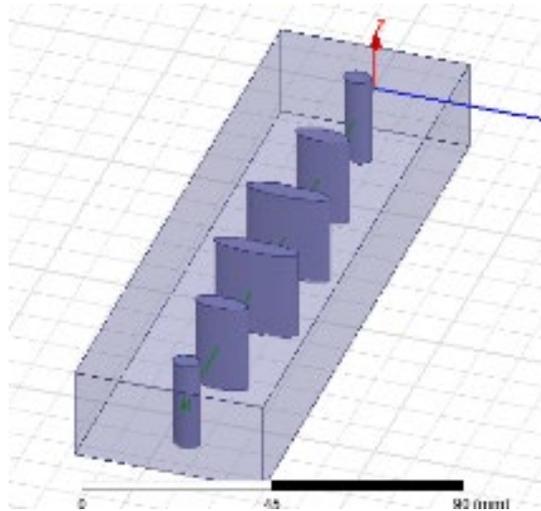


Figura 3.4. Filtro paso bajo  $\Theta=50^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 1 del capítulo 4.

Para los filtros representados en las figuras 3.2, 3.3, y 3.4 se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.5 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$ :

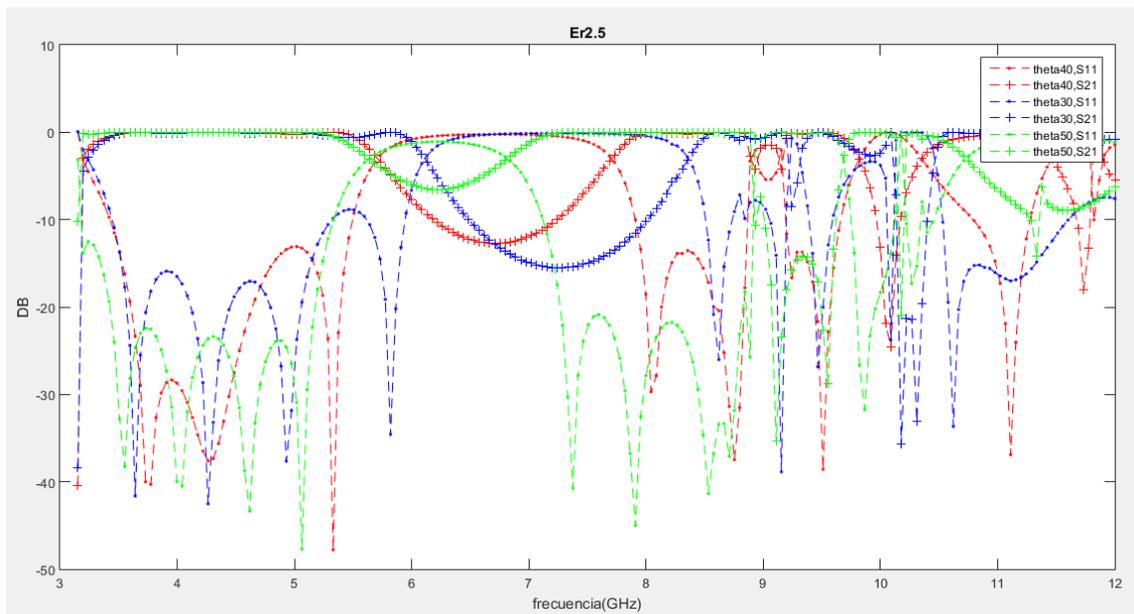


Figura 3.5. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 2.5$  y  $\Theta$  variables.

En la gráfica de la figura 3.5 se puede observar como a menor  $\Theta$  la frecuencia de corte se desplaza a frecuencias mayores. Este fenómeno puede estar producido porque los postes no son lo suficientemente grandes para poder llegar al valor que pide la síntesis, por tanto no sería una respuesta del todo válida, constituyendo una aproximación puesto que no se llega a los valores necesarios. Esto sucede con  $\Theta=30^\circ$ . Se puede ver claramente en la figura 3.2, donde los postes alcanzan el límite de la guíaonda.

Conforme aumentamos  $\Theta$  los valores se acercan a los de la síntesis, y por tanto las frecuencias se encuentran en el valor que hemos determinado. Se puede ver claramente en la figura 3.4, donde los postes no llegan al límite puesto que consiguen el valor deseado antes entrar en contacto con los límites de la guía. Por el contrario, podemos observar, que a mayor  $\Theta$ , los espurios están más cerca de la banda del filtro y esto no es positivo.

### 3.2.2 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=5$ .

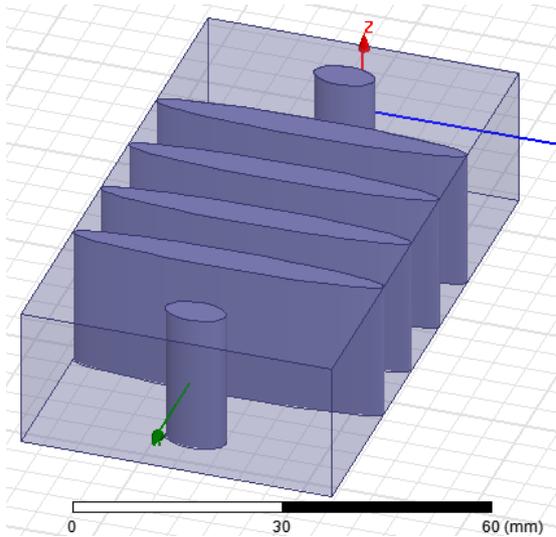


Figura 3.6. Filtro paso bajo  $\Theta=20^\circ$ .

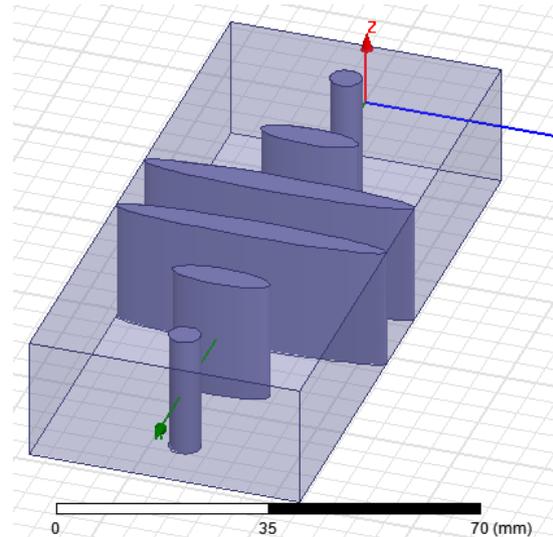


Figura 3.7. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

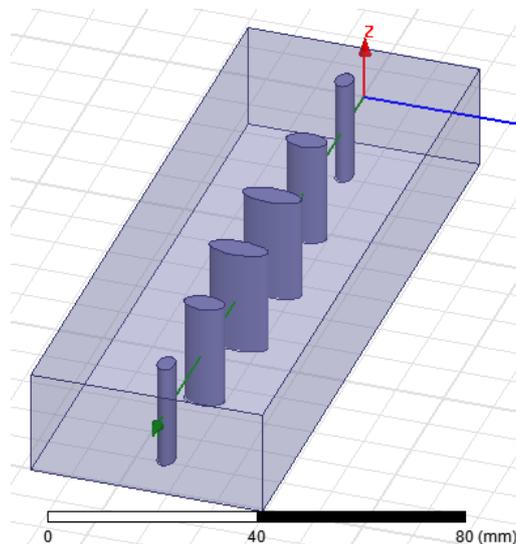


Figura 3.8. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 2 del capítulo 4.

Tras analizar los filtros de las figuras 3.6, 3.7 y 3.8 se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.9 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$ :

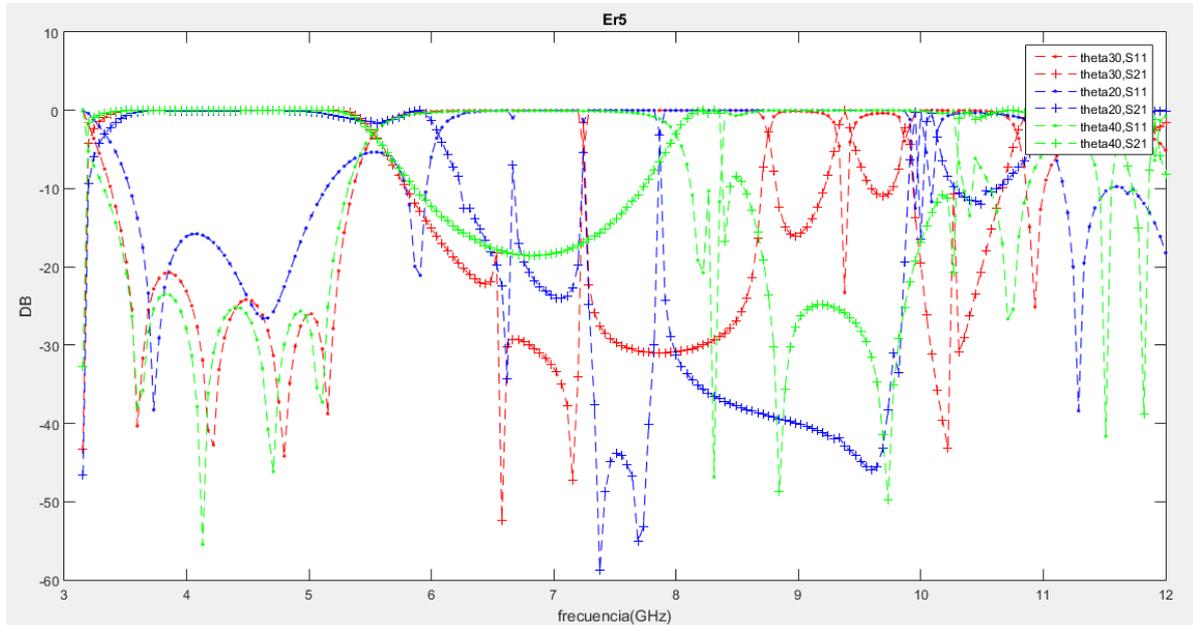


Figura 3.9. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 5$  y  $\Theta$  variables.

Como se puede ver en la figura anterior, a  $\Theta$  bajas el comportamiento no es el deseado, puesto que no obtenemos el número de polos y ceros deseado. Además surgen espurios demasiado cerca de la frecuencia de corte del filtro y esto no es lo normal. Lo normal es que a menor  $\Theta$  los espurios se encuentren más alejados de la frecuencia de corte. Todo esto se debe a que los postes de dieléctrico son bastantes grandes y producen resonancias que afectan al filtro en la banda de paso, ya que actúan como resonadores dieléctricos.

Podemos ver que la frecuencia de corte en  $\Theta=20^\circ$  está desplazada, puesto que inicialmente era de 5.15 GHz, y como se puede apreciar en la línea azul ( $\Theta=20^\circ$ ) la frecuencia se encuentra en 6 GHz. Esto se debe al efecto que hemos comentado en el apartado anterior, ya que los postes no llegan a tener los valores necesarios para cumplir los valores especificados en el proceso de síntesis.

Comentar también la similitud para  $\Theta=30^\circ$  y  $\Theta=40^\circ$  en la banda de paso. Pero cabe destacar que la línea de  $\Theta$  mayor, lleva los espurios más lejos de la frecuencia de corte de la guía y por tanto será un valor añadido a la hora de decidir cuál es la respuesta que más nos conviene.

### 3.2.3 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=7.5$ .

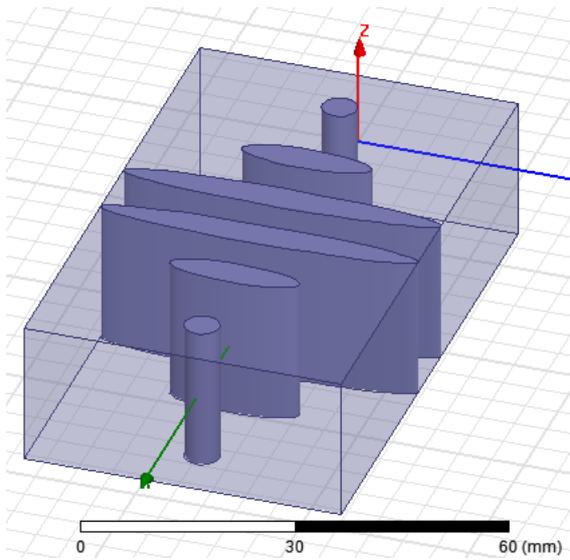


Figura 3.10. Filtro paso bajo  $\Theta=20^\circ$ .

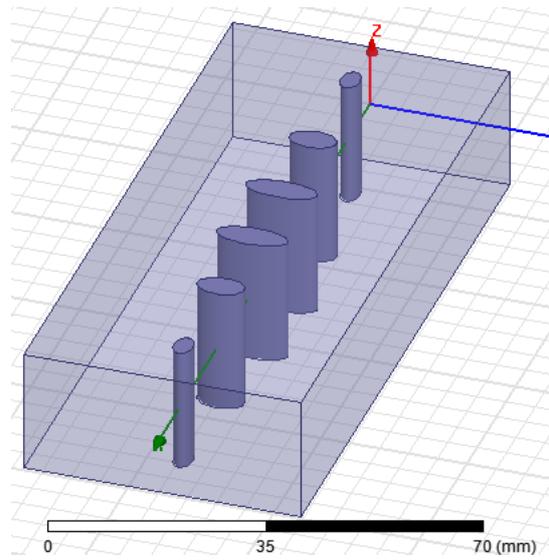


Figura 3.11. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

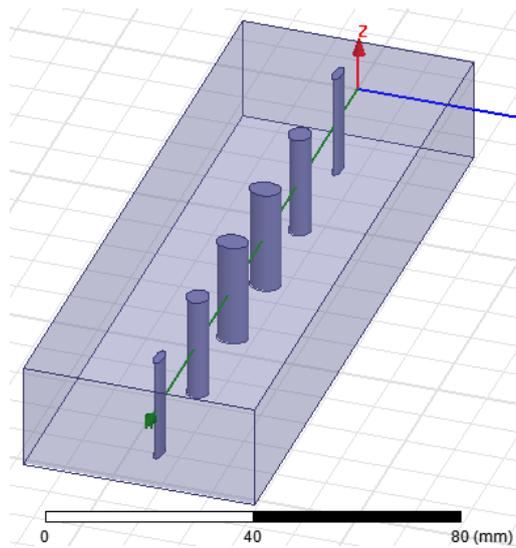


Figura 3.12. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 3 del capítulo 4.

Tras analizar los filtros de las figuras 3.10, 3.11 y 3.12 se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.13 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$ :

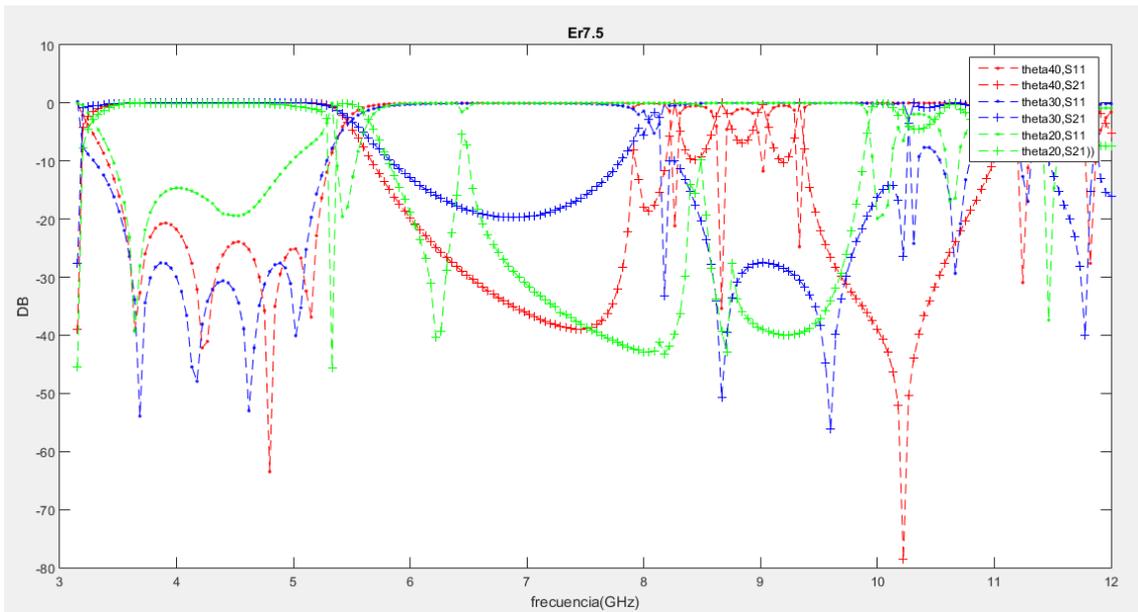


Figura 3.13 Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 7.5$  y  $\Theta$  variables.

Como se puede observar en la figura 3.13 los filtros con  $\Theta$  muy baja, en nuestro caso  $\Theta = 20^\circ$ , los postes son muy anchos (como se puede observar en la figura 3.10) y esto hace que no se comporte de manera adecuada, puesto que los valores necesarios para cumplir la síntesis no se pueden obtener.

Conforme aumentamos el valor de  $\Theta$  obtenemos un mejor funcionamiento, y podemos observar que con  $\Theta = 40^\circ$ , el filtro es más selectivo.

### 3.2.4 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r = 10$ .

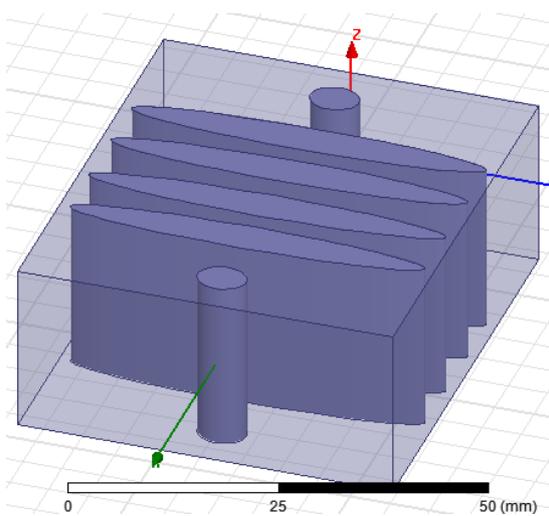


Figura 3.14. Filtro paso bajo  $\Theta = 10^\circ$ .

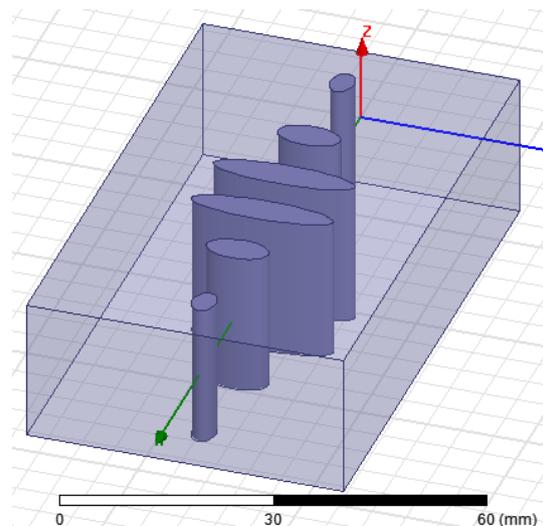


Figura 3.15. Filtro paso bajo  $\Theta = 20^\circ$ .

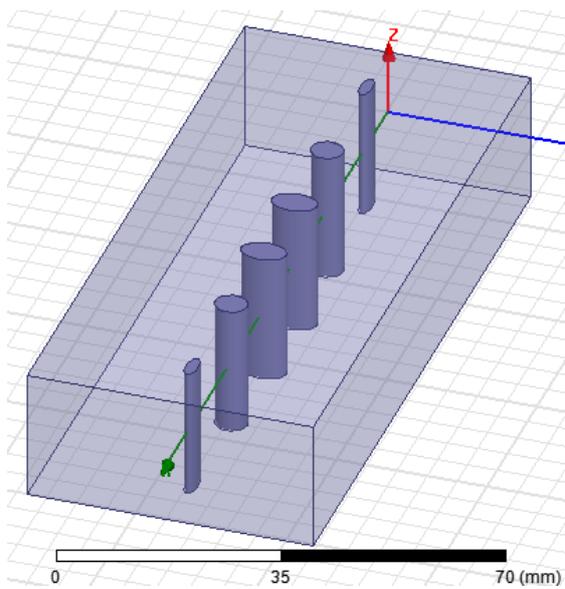


Figura 3.16. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

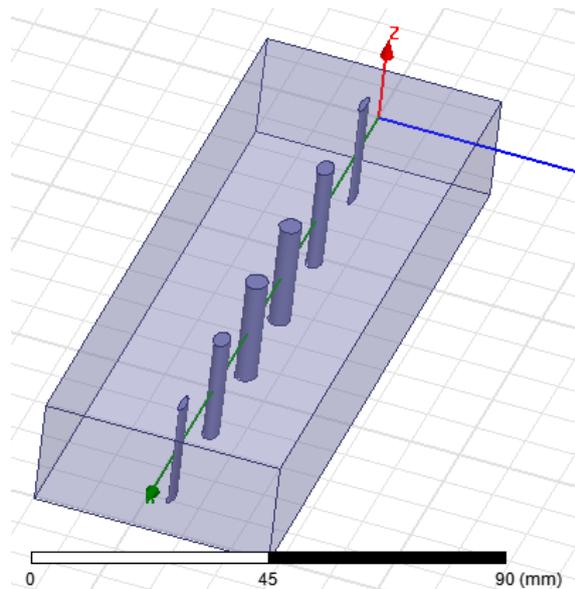


Figura 3.17. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 4 del capítulo 4.

Una vez estudiados los filtros representados en las figuras 3.14, 3.15, 3.16 y 3.17 se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.18 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$ :

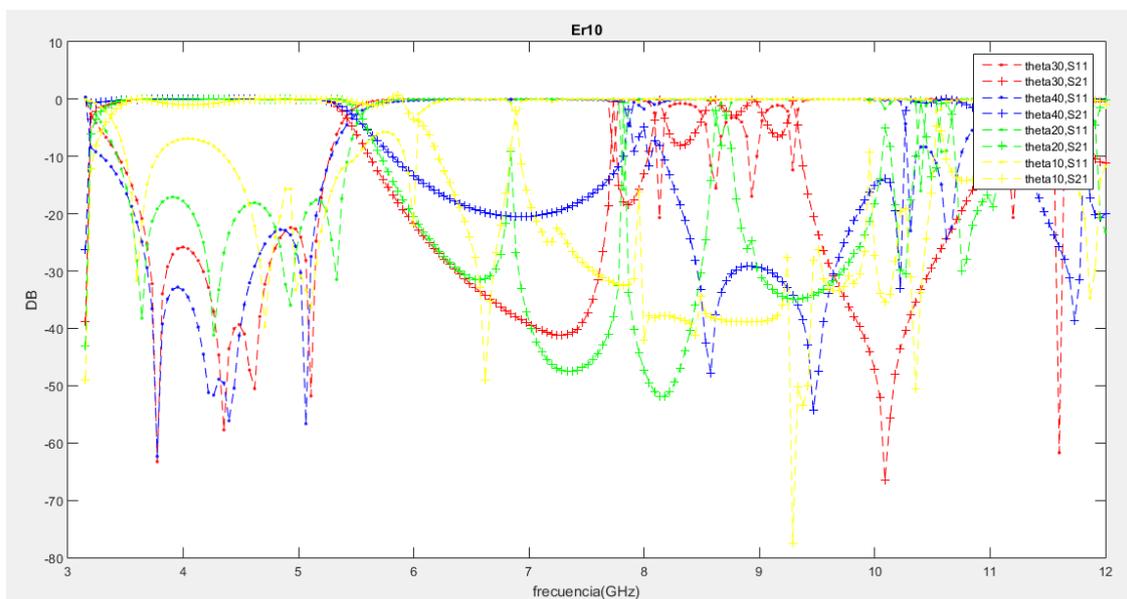


Figura 3.18. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 10$  y  $\Theta$  variables.

En la figura 3.18 se pueden observar cuatro respuestas, esto es debido a que queríamos llegar al límite superior, es decir donde los postes tengan el valor máximo para acercarse al valor de la síntesis. Como hemos podido apreciar, a mayor  $\epsilon_r$  menor  $\Theta$  necesitamos para lograr el fenómeno nombrado. Como en todos

los apartados anteriores, se puede observar que con  $\Theta$  tan bajas, donde los postes no llegan al valor de la síntesis, las respuestas no son las deseadas. Respecto a cuando aumentamos el valor de  $\Theta$  vemos que el filtro se comporta de la manera deseada.

Como se puede ver en la figura 3.18 faltan polos y ceros, esto se puede deber a que algunos son complejos y por eso no se aprecien.

### 3.2.5 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=12.5$ .

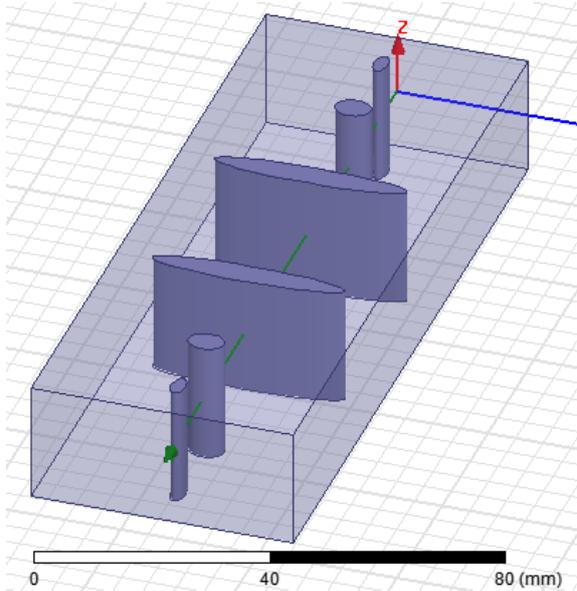


Figura 3.19. Filtro paso bajo  $\Theta=20^\circ$ .

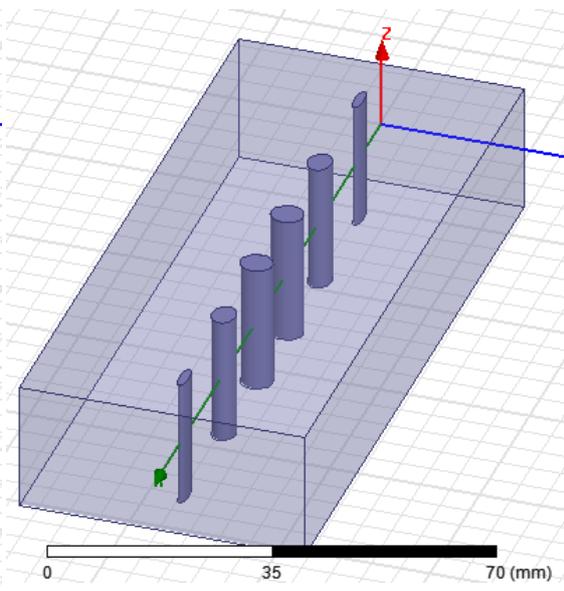


Figura 3.20. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

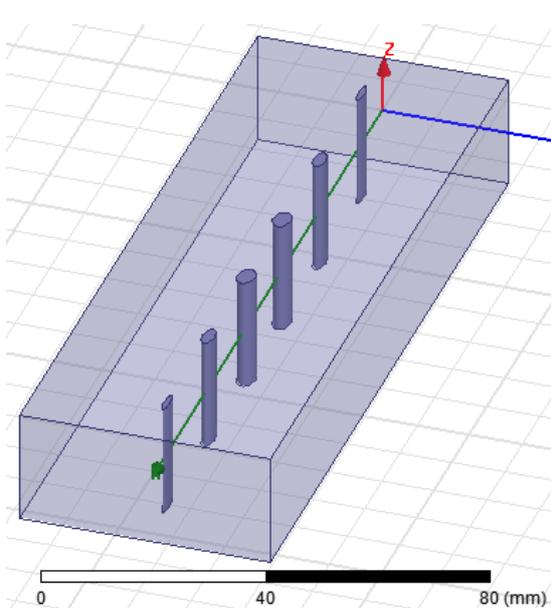


Figura 3.21. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

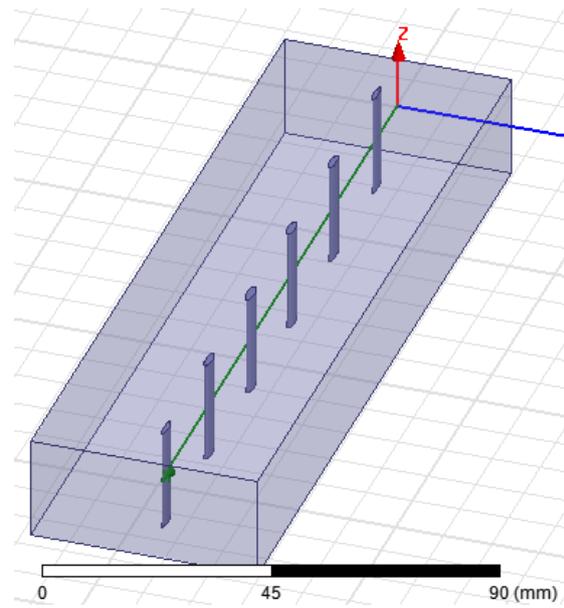


Figura 3.22. Filtro paso bajo  $\Theta=50^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 5 del capítulo 4.

Después de analizar los filtros de las figuras 3.19, 3.20, 3.21 y 3.22 se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.23 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$ :

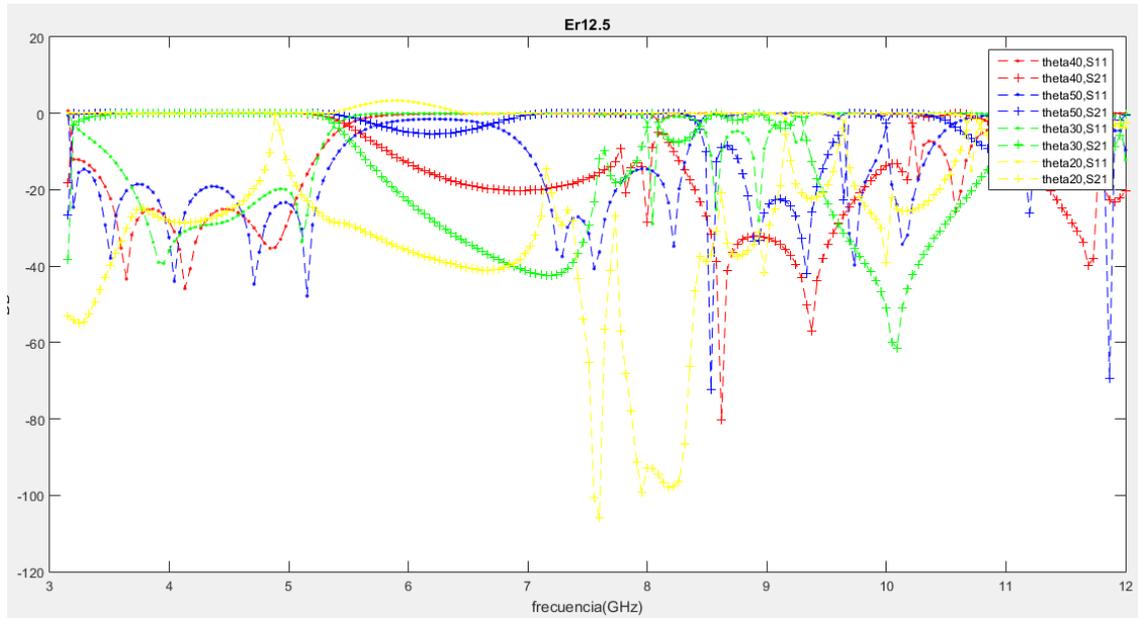


Figura 3.23. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 12.5$  y  $\Theta$  variables.

En la figura 3.23 podemos apreciar que para  $\Theta = 10^\circ$  se produce un fenómeno no convencional, explicado en el siguiente capítulo en la figura 3.30.

Vemos claramente que conforme aumentamos el valor de  $\Theta$  el filtro se comporta (en la zona de filtrado) mejor, aunque los espurios se encuentran más cerca de la banda de corte, además de que es menos selectivo, ya que la caída es más suave. Esto último es un punto a destacar puesto que en la figura 3.13 no era así, sino que a mayor  $\Theta$  más selectivo era. Esto se debe a que cuando los postes del filtro son muy finos, se pierde en selectividad, por tanto llegamos a un compromiso de que a  $\Theta$  muy altas el filtro tampoco es útil.

### 3.3 EXPLICACIÓN DE FENÓMENOS

Para explicar algunos fenómenos que se dan en las anteriores representaciones y que se irán dando en las siguientes, emplearemos las siguientes gráficas (ver las figuras 3.24, 3.25 y 3.26) destacando con círculos los efectos que se pretenden comprender.

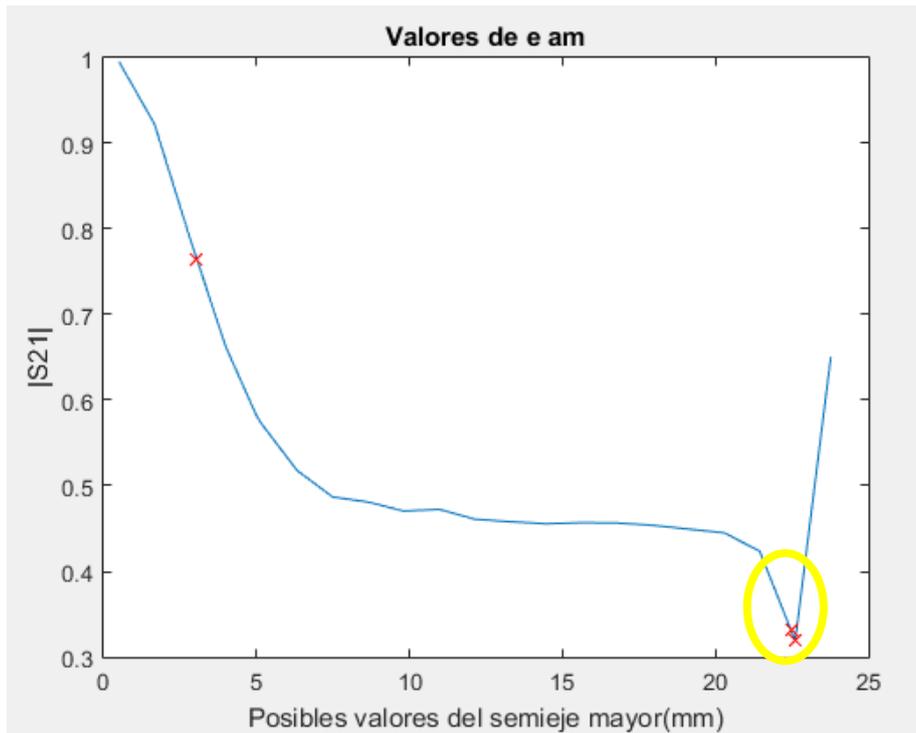


Figura 3.24. Valores del semieje mayor respecto del parámetro  $S_{21}$ .

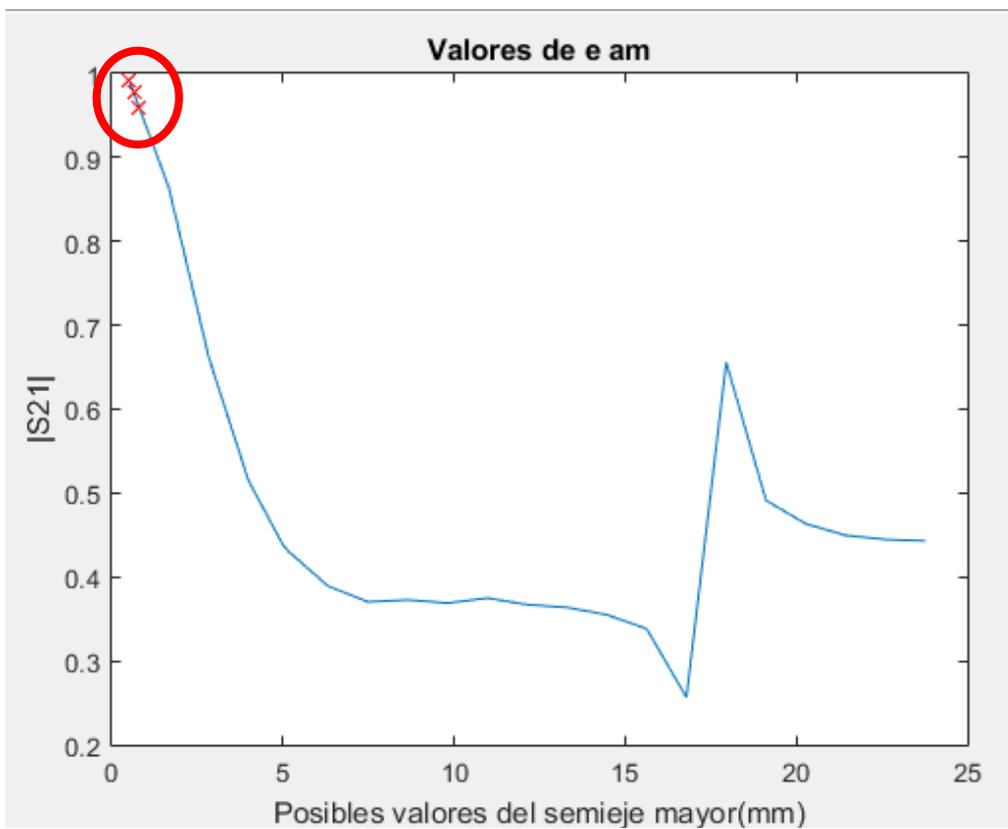


Figura 3.25. Valores del semieje mayor respecto del parámetro  $S_{21}$ .

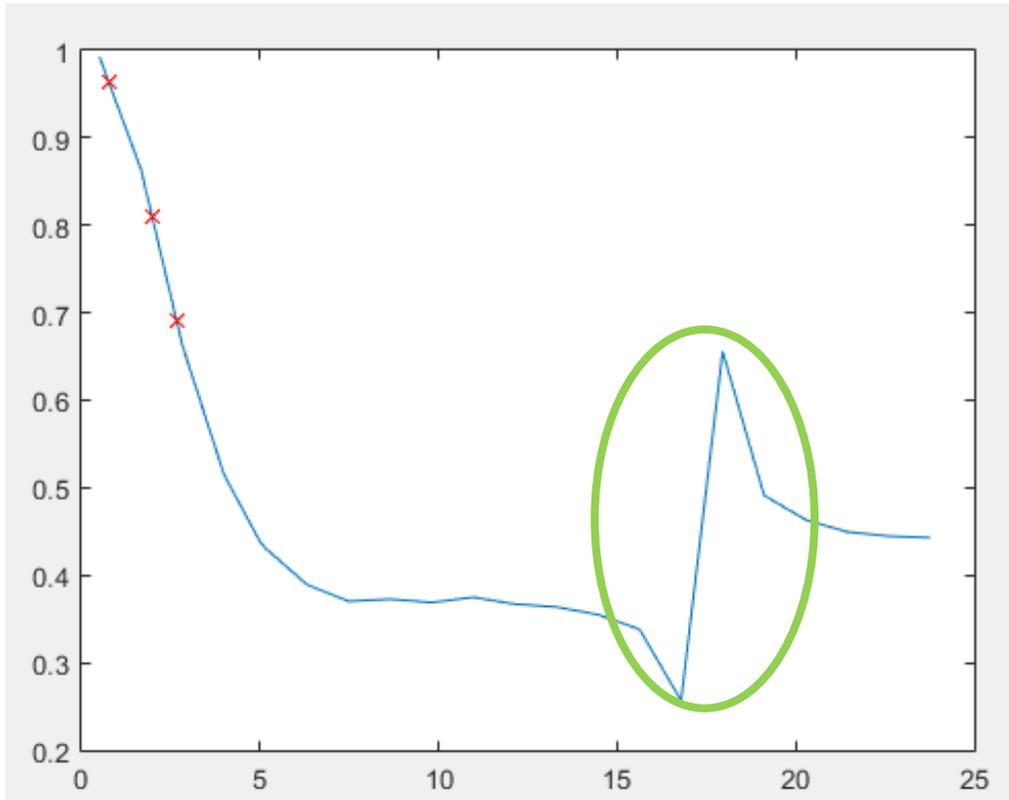


Figura 3.26. Valores del semieje mayor respecto del parámetro  $S_{21}$ .

- La zona rodeada en amarillo de la figura 3.24 nos muestra que los postes deben de ser de un tamaño más grande. Por tanto, se toma el máximo valor posible, en este caso el ancho de la guía. Esto nos dice que la representación obtenida no es del todo real, puesto que no llegamos al valor que deberíamos, de ahí que en los diseños resulten postes tan anchos como el que vamos a mostrar a continuación en la figura 3.27.

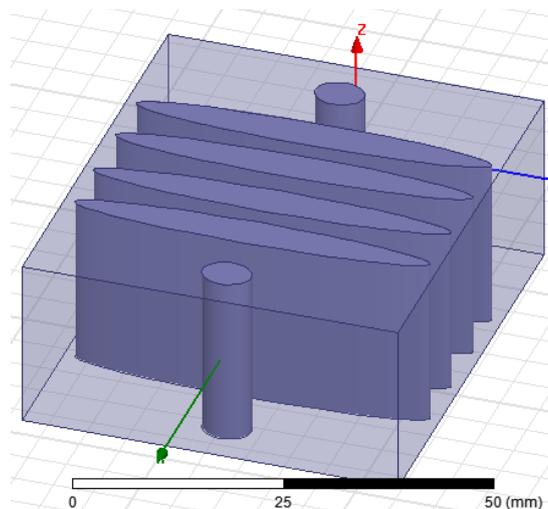


Figura 3.27. Filtro paso bajo con  $\epsilon_r=10$  y  $\Theta=10^\circ$ .

Este fenómeno surge cuando las  $\Theta$  son muy pequeñas, por lo que necesitamos un gran poste dieléctrico para llegar al valor buscado en la síntesis.

- La zona rodeada en rojo en la figura 3.25 nos muestra que necesitaremos un valor menor del que podemos lograr con esta síntesis. Por tanto, tendremos el efecto contrario al anterior, los postes serán todo lo más delgado posible, y la síntesis no será la adecuada. Se muestra a continuación en la figura 3.28, un ejemplo de estos postes tan delgados.

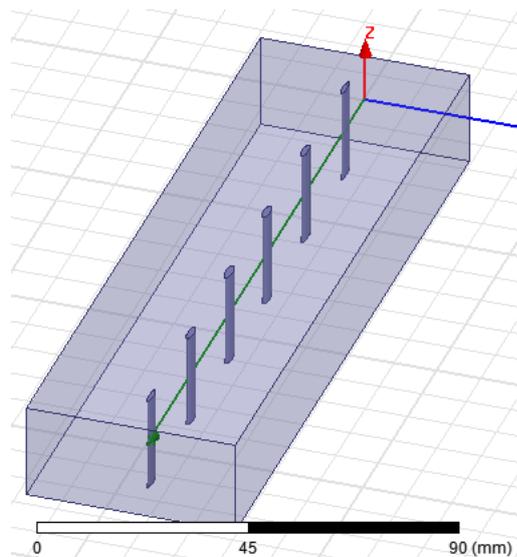


Figura 3.28. Filtro paso bajo con  $\epsilon_r=12.5$  y  $\Theta=50^\circ$ .

Este fenómeno aparece cuando las  $\Theta$  son muy grandes, por lo que necesitamos un pequeño poste dieléctrico para llegar al valor buscado en la síntesis, este valor mínimo es el que hemos definido inicialmente en el *script* de MATLAB.

- Finalmente, en la última gráfica (ver la figura 3.26), se aprecia una reflexión (rodeada en color verde) que es la culpable de que, a partir de este valor de permitividad los filtros no sean adecuados. Se han realizado pruebas con  $\epsilon_r$  superiores y siguen resultando dichas reflexiones. Una de las figuras afectadas por esta reflexión es la siguiente:

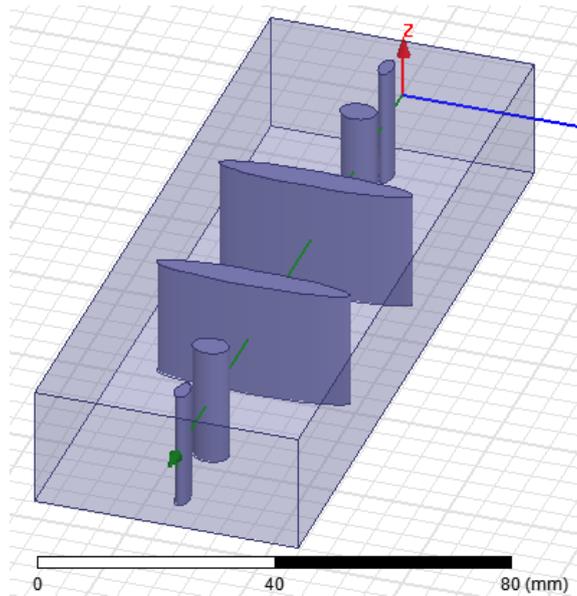


Figura 3.29. Filtro paso bajo con  $\epsilon_r=12.5$  y  $\theta=20^\circ$ .

Para la figura mostrada a continuación (figura 3.29), en concreto, vemos como el punto indicado en negro debería de estar en un valor mucho más pequeño (señalado en amarillo), pero por la reflexión se desplaza hacia un valor erróneo.

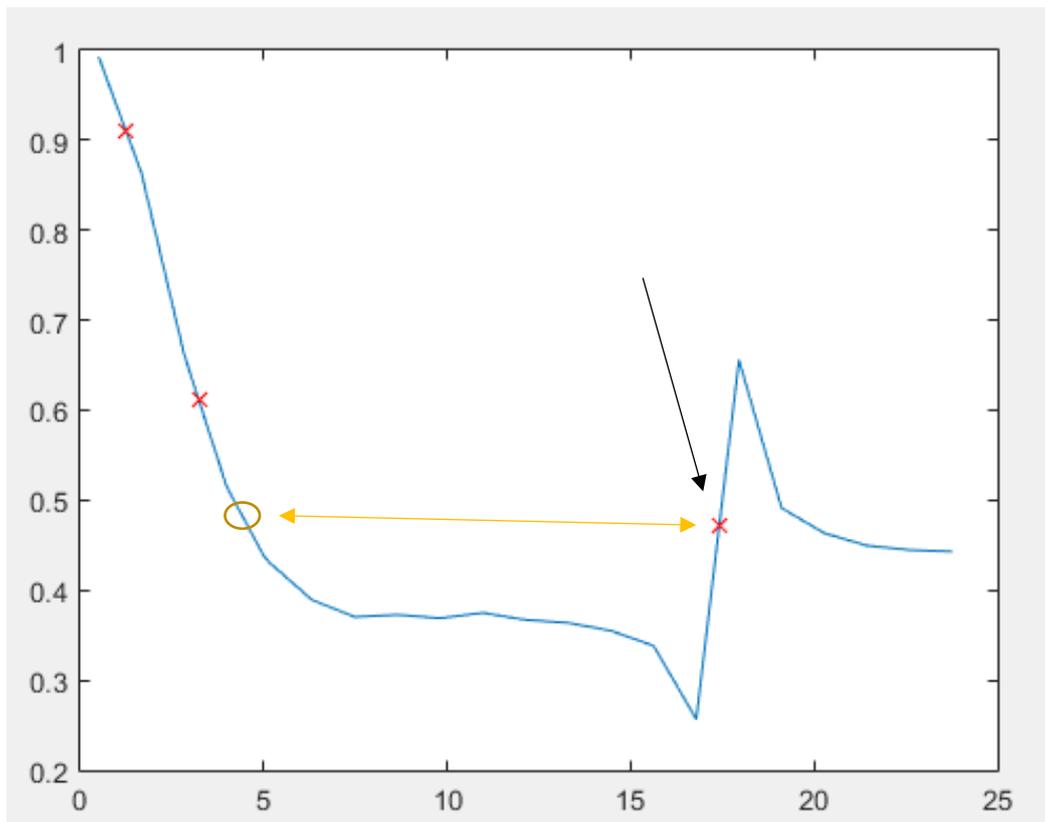


Figura 3.30. Valor desplazado por motivo de resonancia de dieléctrico.

### 3.4 FILTROS CON POSTES DIELECTRICOS RECTANGULARES INDUCTIVOS

Ahora procederemos a mostrar los diseños del filtro con postes rectangular inductivos, y posteriormente los compararemos con los mostrados anteriormente (filtro con postes inductivos elípticos) con el fin de ver si conseguimos alguna ventaja o algo destacable con la modificación de las estructuras dieléctricas.

#### 3.4.1 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=2'5$ .

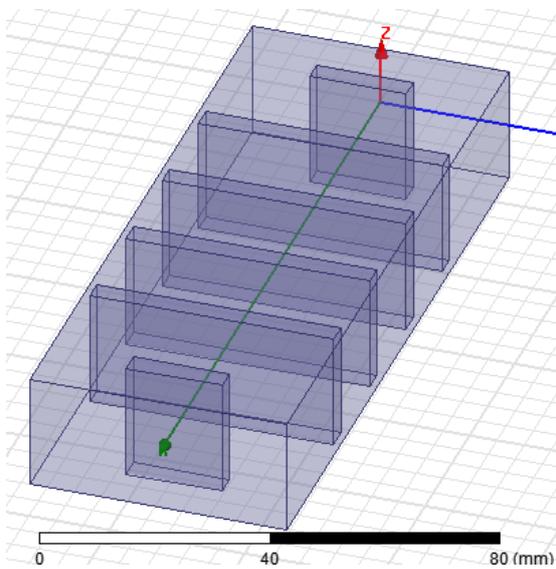


Figura 3.31. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

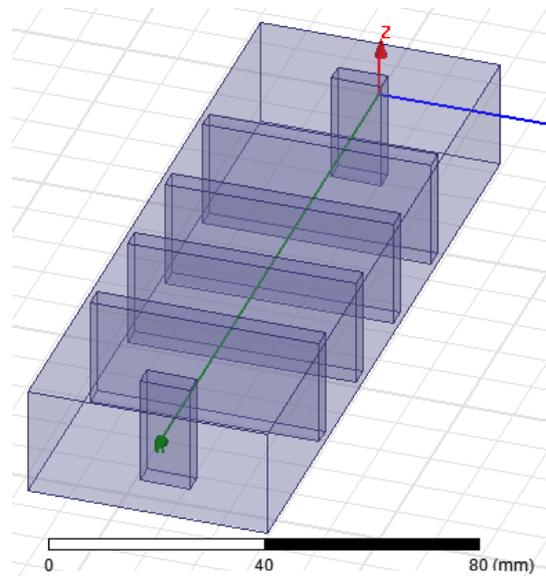


Figura 3.32. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

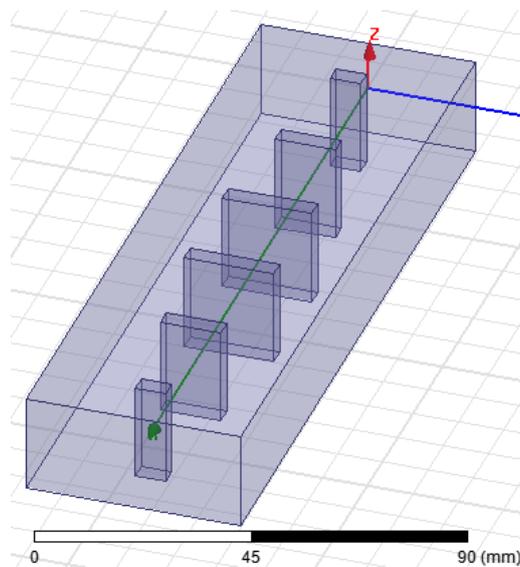


Figura 3.33. Filtro paso bajo  $\Theta=50^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 6 del capítulo 4.

Se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.34 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$  (ver las figuras 3.31, 3.32 y 3.33):

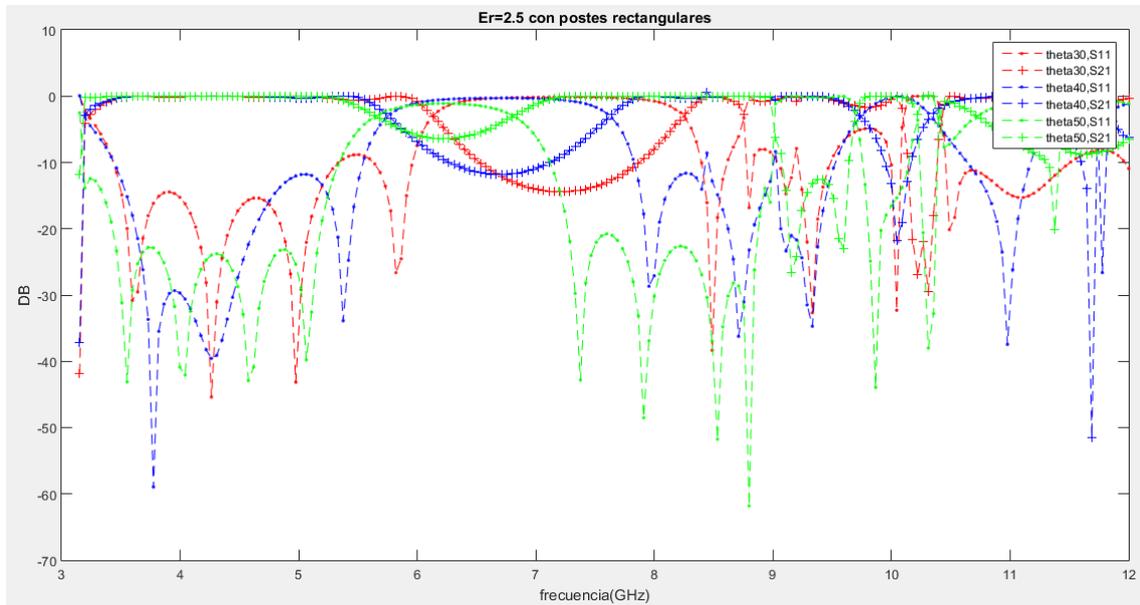


Figura 3.34. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 2.5$  y  $\Theta$  variables.

En la figura 3.34 podemos ver las respuestas de 3 filtros. Donde se puede apreciar claramente que conforme aumentamos el valor de  $\Theta$  la frecuencia de corte se desplaza hacia arriba en frecuencia. Al igual que en los filtros inductivos con postes elípticos esto se debe a que, como se puede ver en la figura 3.31, los postes no son lo suficientemente grandes para llegar al valor de la síntesis. Como posible solución se propone ensanchar los postes, aunque eso nos llevaría a que aparecieran más resonancias asociada al dieléctrico.

También podemos apreciar que se sigue la tónica de este proyecto ya que a mayor  $\Theta$  los espurios aparecen antes en frecuencia.

### 3.4.2 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=5$ .

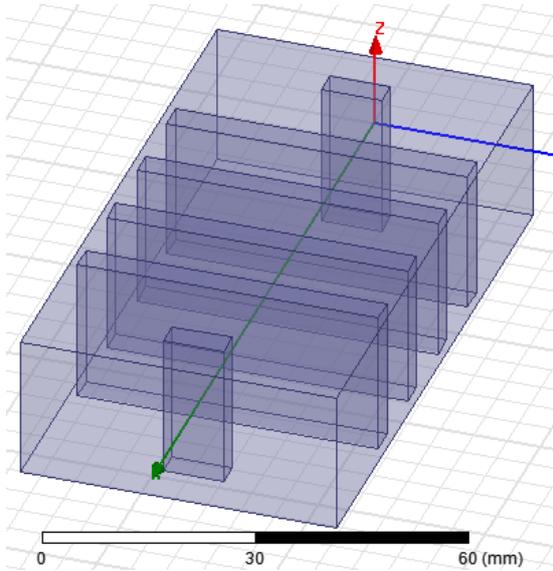


Figura 3.35. Filtro paso bajo  $\Theta=20^\circ$ .

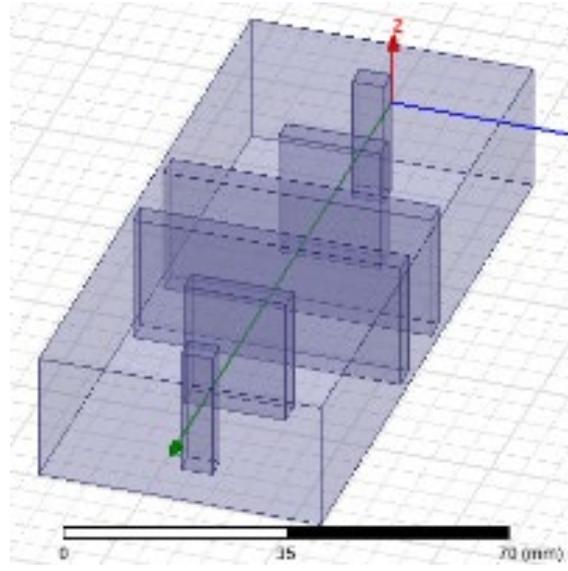


Figura 3.36. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

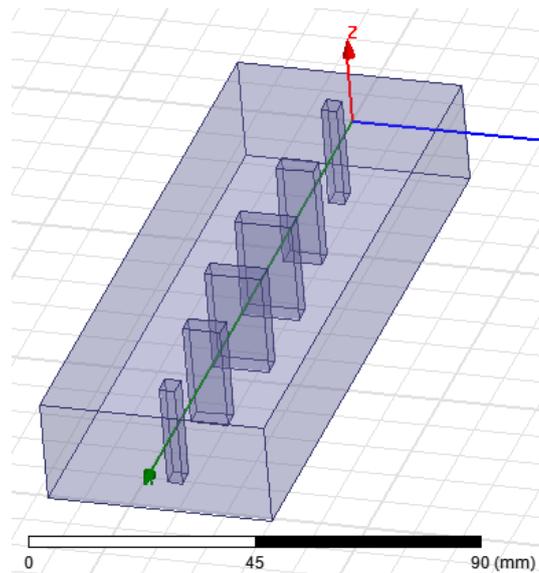


Figura 3.37. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 7 del capítulo 4.

Se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.38 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$  (ver la figuras 3.35, 3.36 y 3.37):

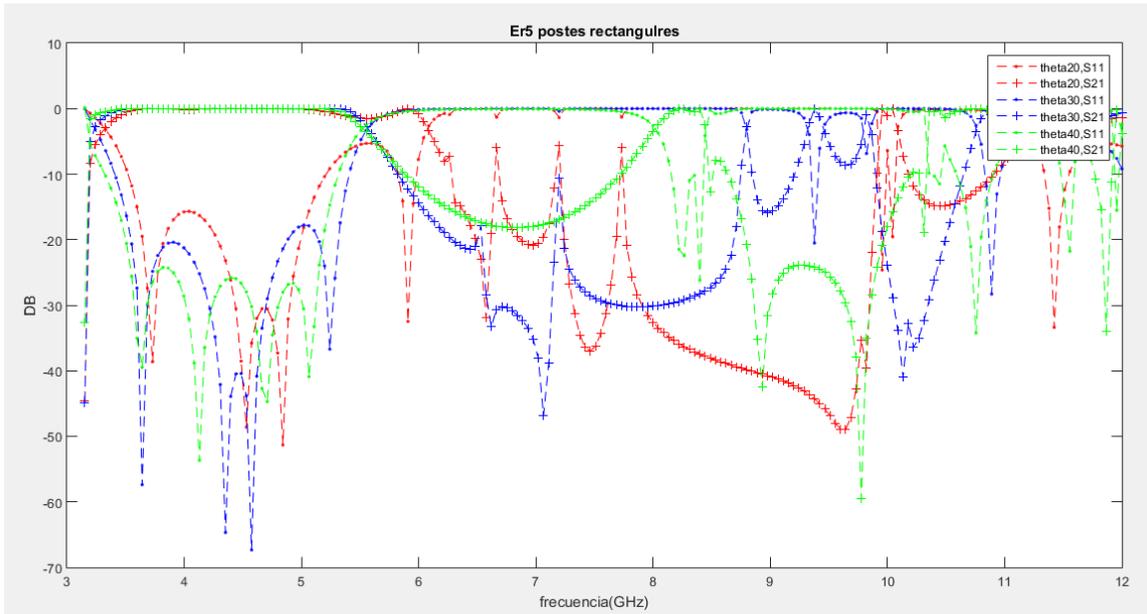


Figura 3.38. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 5$  y  $\Theta$  variables.

Como se puede ver en la figura anterior (3.38), el comportamiento es muy similar al de su homólogo con postes elípticos. A  $\Theta$  bajas el comportamiento no es el deseado, se desplaza la frecuencia de corte (fenómeno explicado con anterioridad). Se pueden observar que hay un gran número de espurios cerca de la frecuencia de corte superior. Como hemos dicho anteriormente se puede producir porque los postes son muy grandes y producen resonancias.

Podemos ver que conforme aumentamos el valor de  $\Theta$  nos sale un filtro más reconocible, ya que consigue alcanzar los valores de la síntesis.

### 3.4.3 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=7.5$ .

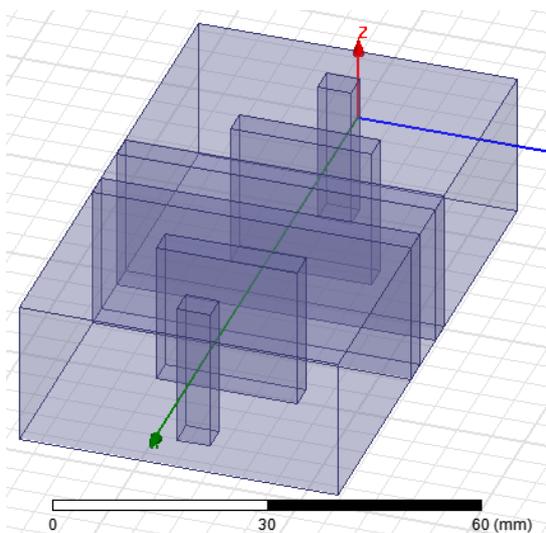


Figura 3.39. Filtro paso bajo  $\Theta=20^\circ$ .

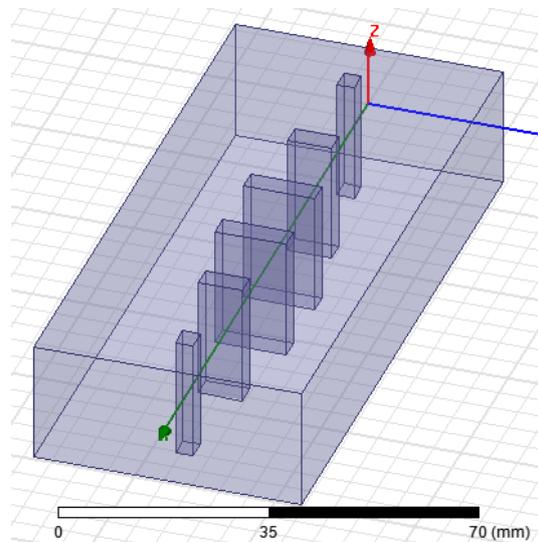


Figura 3.40. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

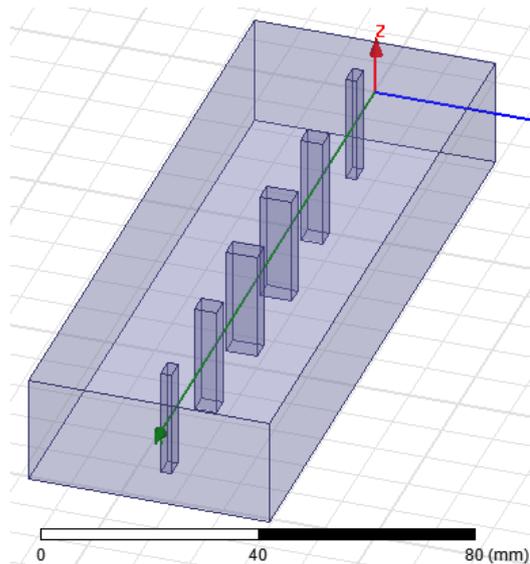


Figura 3.41. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 8 del capítulo 4.

Tras analizar los filtros de las figuras 3.39, 3.40 y 3.41 se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.42 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$ :

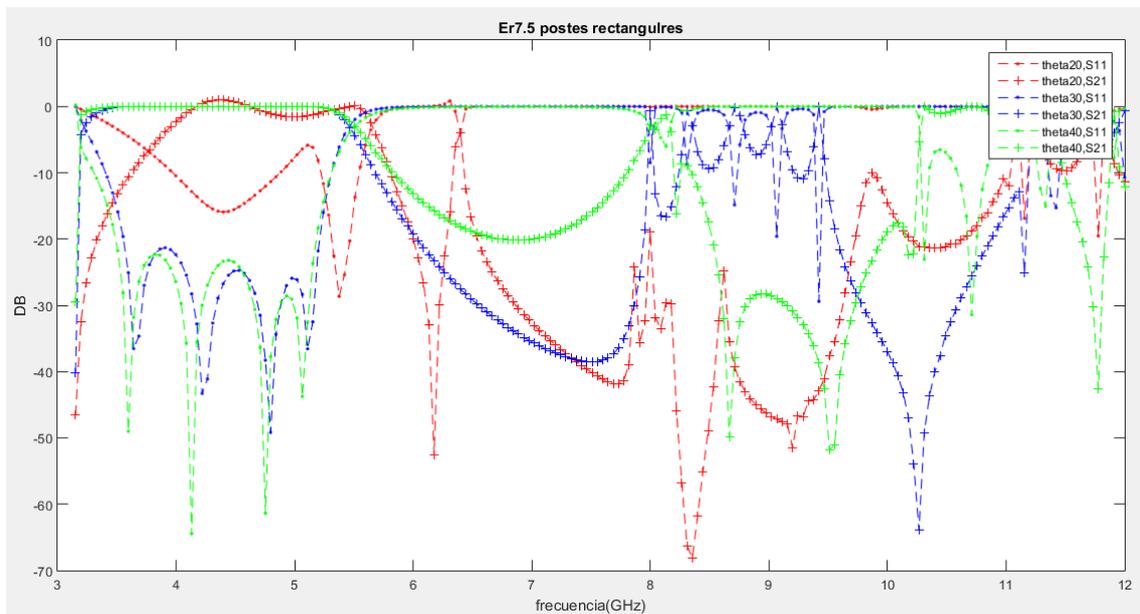


Figura 3.42. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 7.5$  y  $\Theta$  variables.

En esta figura (3.42) podemos ratificar lo que hemos estado observando tanto con postes elípticos como con estos postes rectangulares, y es que a menores valores de  $\Theta$  (cuando son lo suficientemente pequeños para que los postes por muy grandes que sean no lleguen al valor de la síntesis) el filtro no se comporta de manera adecuada.

Podemos comprobar también que tanto  $\Theta=30^\circ$  como con  $\Theta=40^\circ$  las respuestas son muy similares, pero que el  $\Theta$  menor de estos, lo hace más selectivo.

### 3.4.4 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=10$ .

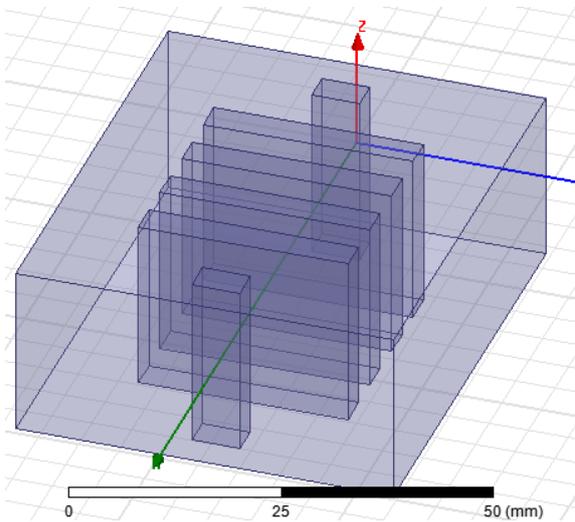


Figura 3.43. Filtro paso bajo  $\Theta=10^\circ$ .

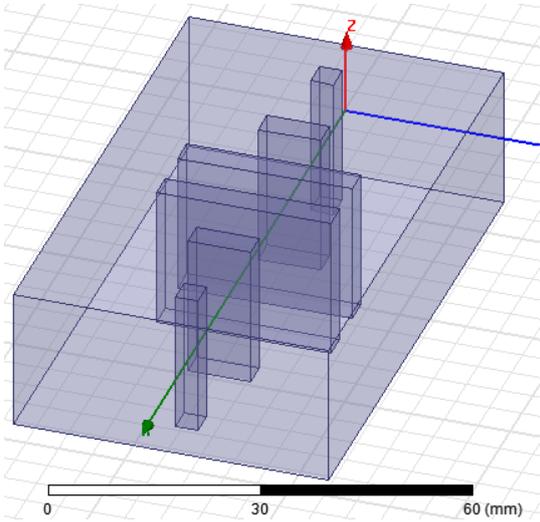


Figura 3.44. Filtro paso bajo  $\Theta=20^\circ$ .

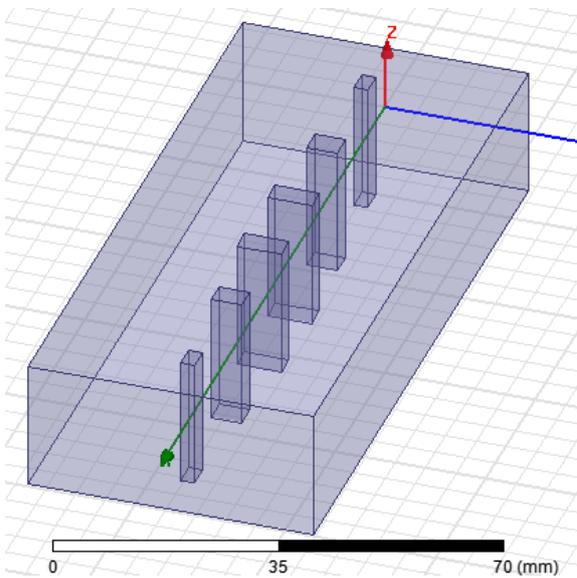


Figura 3.45. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

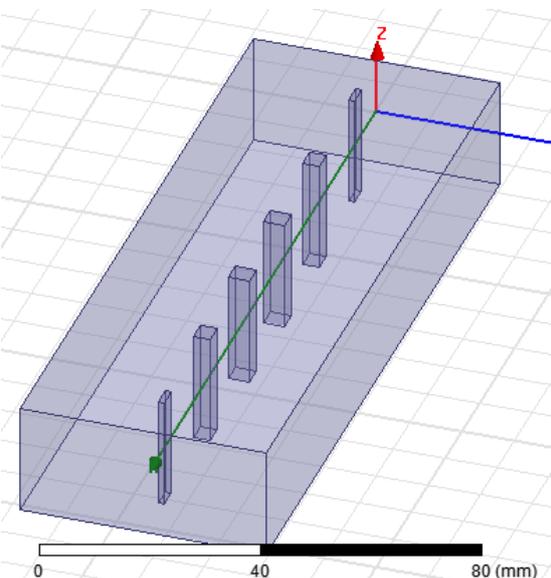


Figura 3.46. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 9 del capítulo 4.

Se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.47 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$  (ver las figuras 3.43, 3.44, 3.45, 3.46):

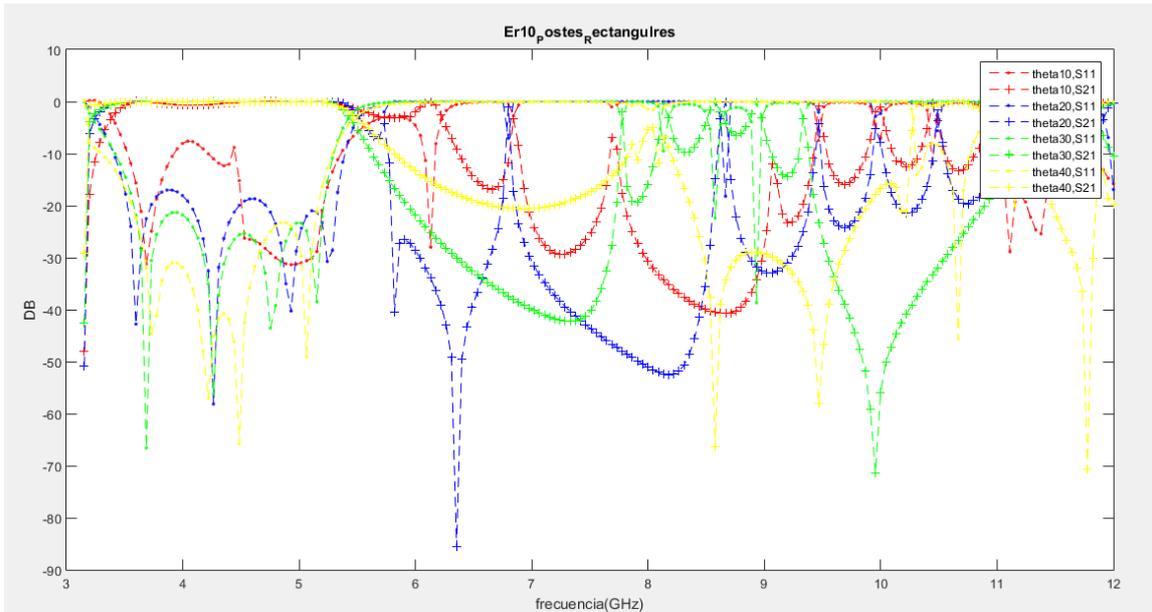


Figura 3.47. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 10$  y  $\Theta$  variables.

### 3.4.5 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r = 12.5$ .

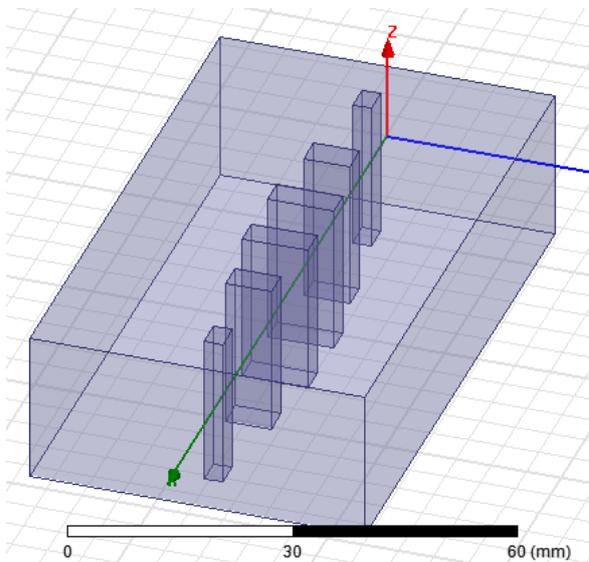


Figura 3.48. Filtro paso bajo  $\Theta = 20^\circ$ .

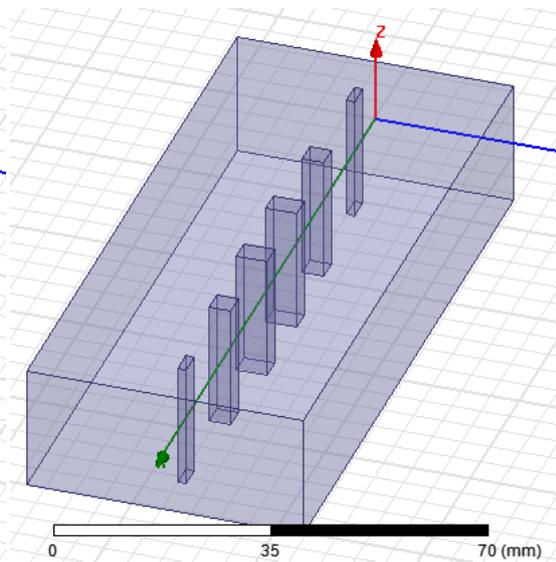


Figura 3.49. Filtro paso bajo  $\Theta = 30^\circ$ .

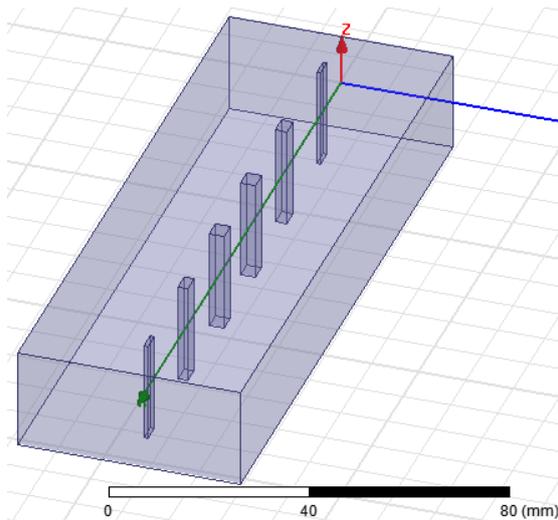


Figura 3.50. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

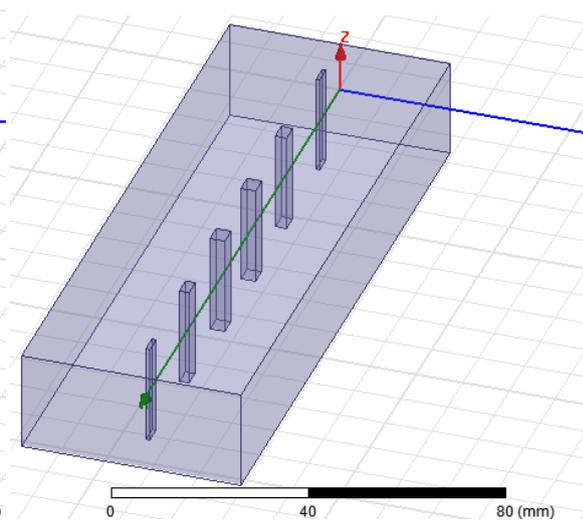


Figura 3.51. Filtro paso bajo  $\Theta=50^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 10 del capítulo 4.

Se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.52 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$  (ver las figuras 3.48, 3.49, 3.50 y 3.51):

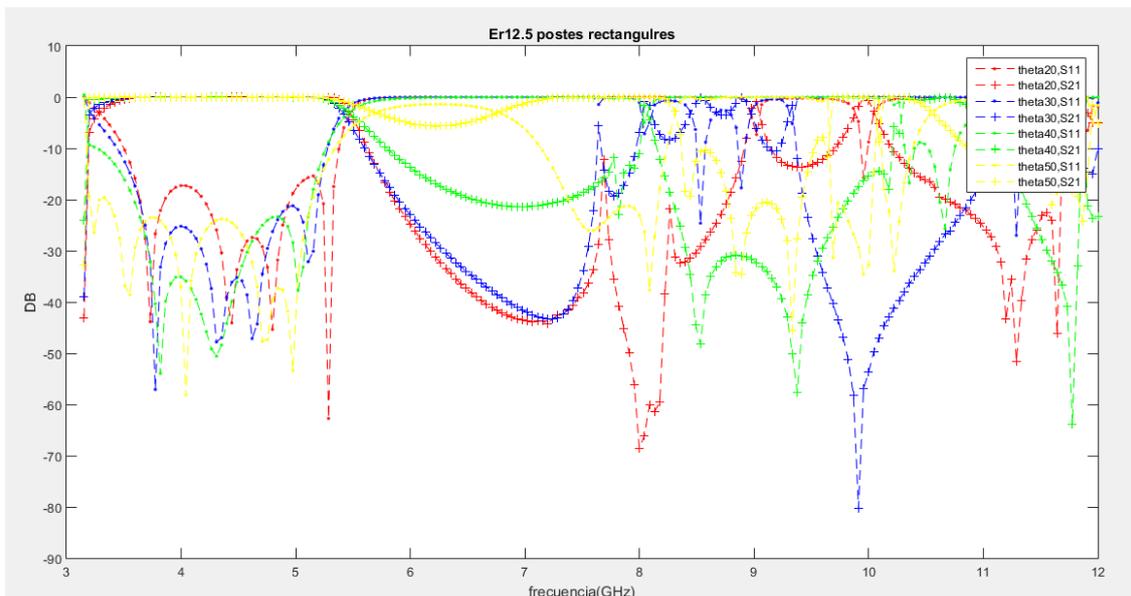


Figura 3.52. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 12.5$  y  $\Theta$  variables.

En este apartado podemos apreciar, que conforme aumentamos el valor de  $\epsilon_r$  nos permite tomar valores más pequeños de  $\Theta$ , es decir, que el compromiso entre ambas nos permite que con menores valores de  $\Theta$  sea posible obtener los valores de la síntesis.

Además se puede observar en la figura 3.52, que cuando los postes son muy finos, es decir las  $\Theta$  son muy grandes, el filtro no es tan selectivo como debería,

llegando incluso con  $\Theta=50^\circ$  a ser casi un paso todo. Por tanto, es importante llegar a un compromiso entre  $\Theta$  y  $\epsilon_r$  con el fin de obtener filtros que sean realizables.

### 3.5 FILTROS CON POSTES DIELECTRICOS ELÍPTICOS CAPACITIVOS

Ahora pasamos a estudiar los filtros con postes inversores dieléctricos capacitivos. Veremos que con estos hemos tenido más problemas y mostraremos las conclusiones que hemos considerado para la explicación de los fenómenos que nos han surgido de las simulaciones.

Comenzaremos con el filtro de postes elípticos. Antes de meternos en los diseños en cuestión, vamos a explicar el por qué los resultados que vamos a ver a continuación no son los esperados.

Hemos buscado si aparecen resonancias para darle una explicación lógica a los resultados que veremos con posterioridad. Para ello, hemos seleccionado un poste de un filtro que nos da problema, en este caso un poste bastante grande para estudiar si hay resonancias en él. El poste es el siguiente (ver la figura 3.53):

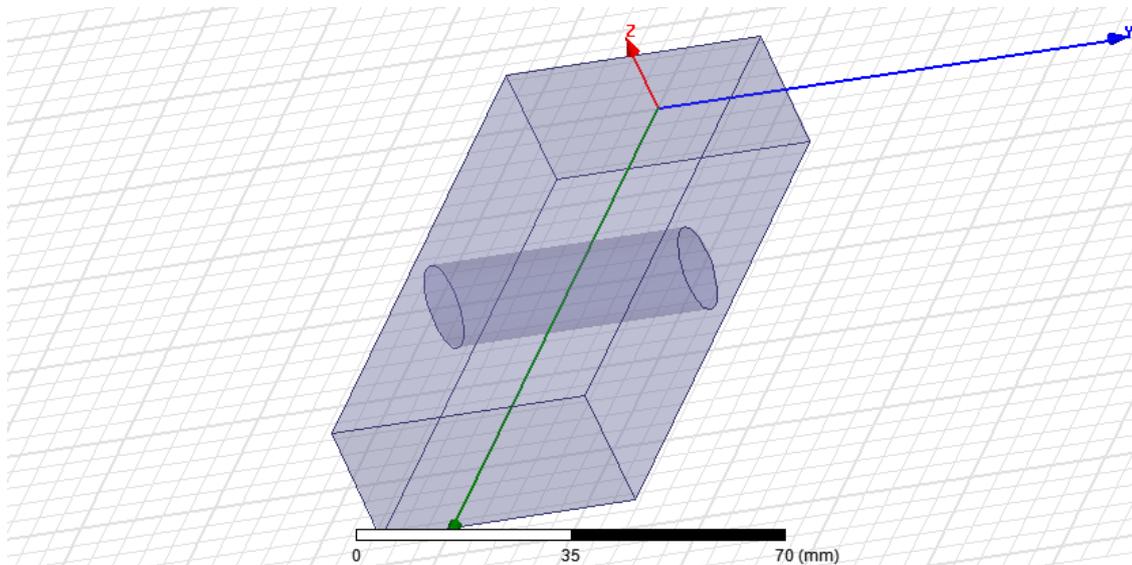


Figura 3.53. Poste de un filtro problemático.

Obtenemos diferentes respuestas cuando analizamos la estructura de la figura 3.53 con diferentes anchuras del poste. Como se puede ver a continuación (en la figura 3.54), a mayor anchura, la resonancia baja en frecuencia, lo que nos confirma que estamos en el fenómeno adecuado, es decir, nos corrobora que hay una resonancia.

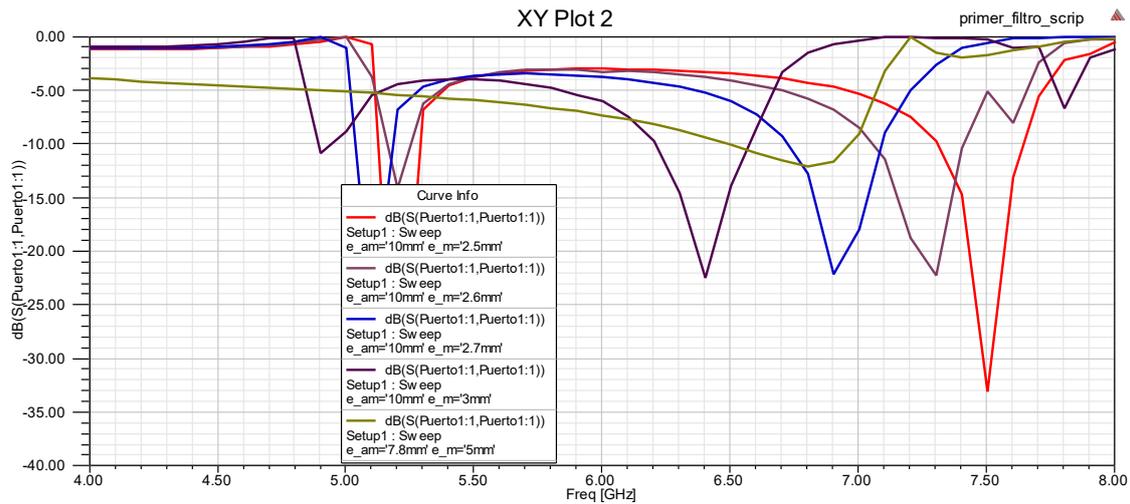


Figura 3.54. Representación de la respuesta en frecuencia de la figura 3.52

En esta figura 3.54, se aprecian las distintas simulaciones con una anchura de poste dieléctrico distinto.

Debido a estas resonancias, en los apartados siguientes encontraremos resultados que no se ajustan a respuestas de un filtro paso bajo normal, por tanto, las presentaremos ya que hemos trabajado en ellas, pero no obtendremos resultados para comentar.

### 3.5.1 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=5$ .

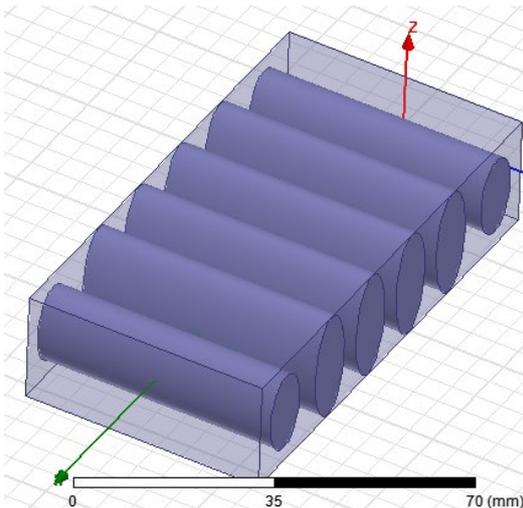


Figura 3.55. Filtro paso bajo  $\Theta=20^\circ$ .

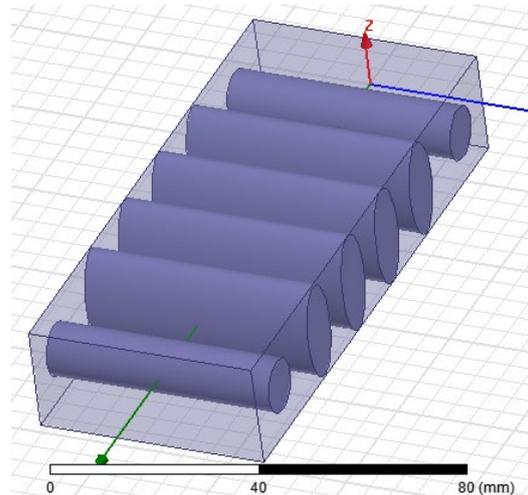


Figura 3.56. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

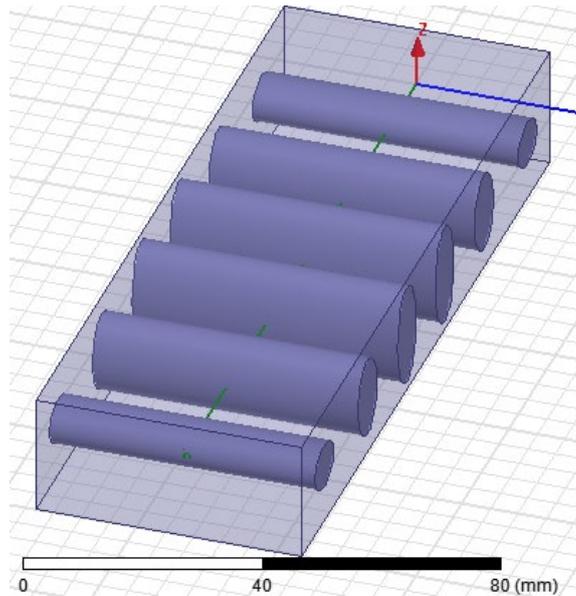


Figura 3.57. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 11 del capítulo 4.

Se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.58 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$  (ver las figuras 3.55, 3.56 y 3.57):

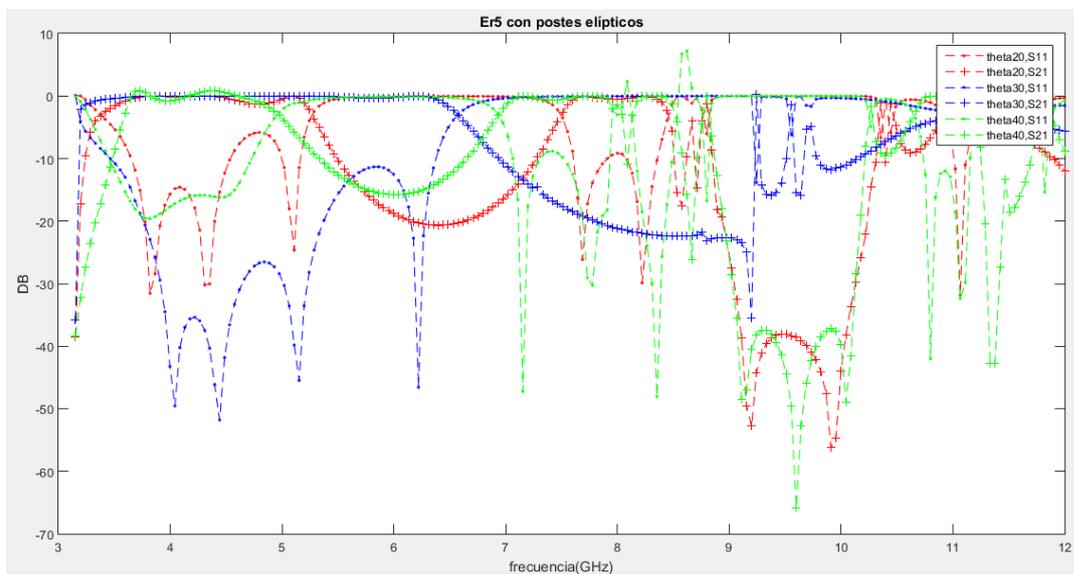


Figura 3.58. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 5$  y  $\Theta$  variables.

Se puede apreciar en la figura 3.58 que a menor valor de  $\Theta$ , es decir a  $\Theta=20^\circ$ , el filtro mantiene el valor de la frecuencia de corte en 5.15 GHz. Se puede también apreciar que cuando  $\Theta=30^\circ$  el filtro desplaza hacia la derecha a frecuencia de corte, y que cuando le damos un valor muy alto no obtenemos la respuesta adecuada.

### 3.5.2 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=7'5$ .

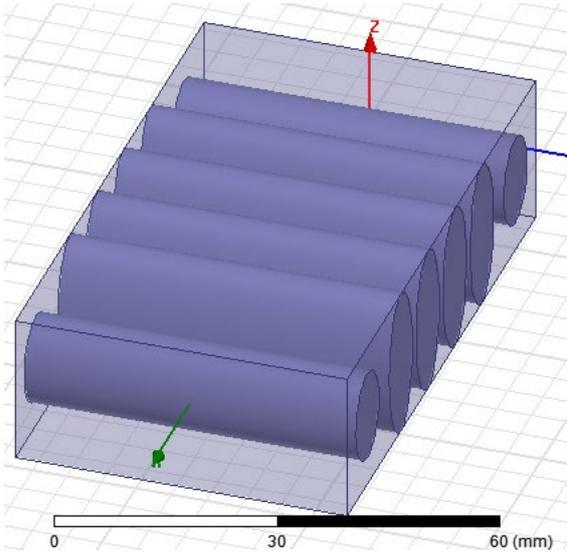


Figura 3.59. Filtro paso bajo  $\Theta=20^\circ$ .

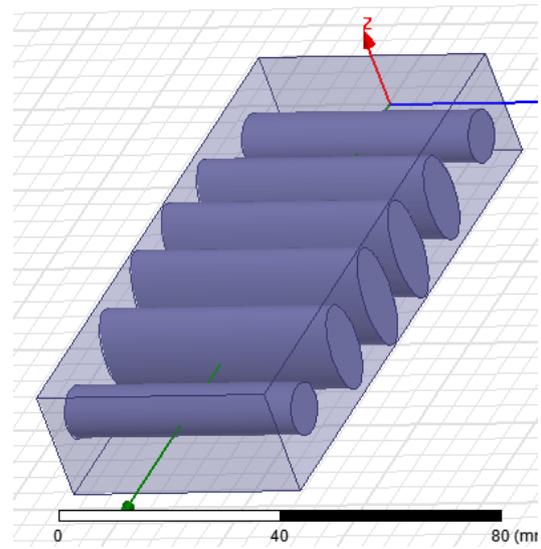


Figura 3.60. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

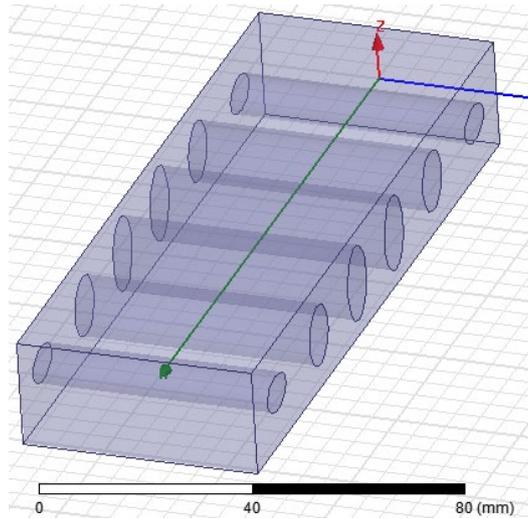


Figura 3.61. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 12 del capítulo 4.

Se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.61 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$  (ver las figuras 3.59, 3.60 y 3.61):

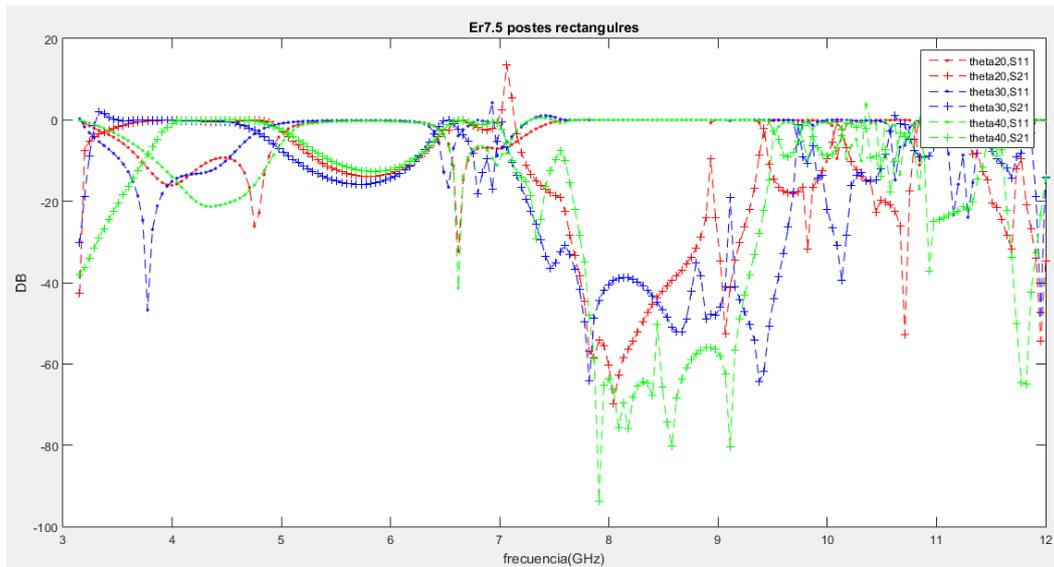


Figura 3.62. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 7.5$  y  $\Theta$  variables.

### 3.5.3 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=10$ .

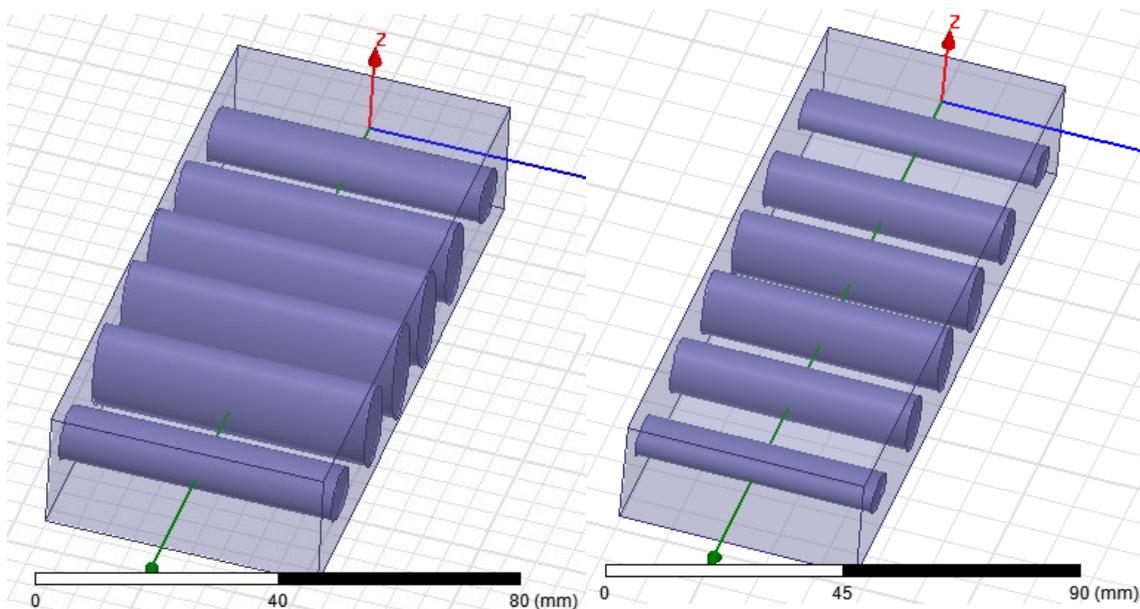


Figura 3.63. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

Figura 3.64. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 13 del capítulo 4.

Se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.64 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$  (ver las figuras 3.63 y 3.64):

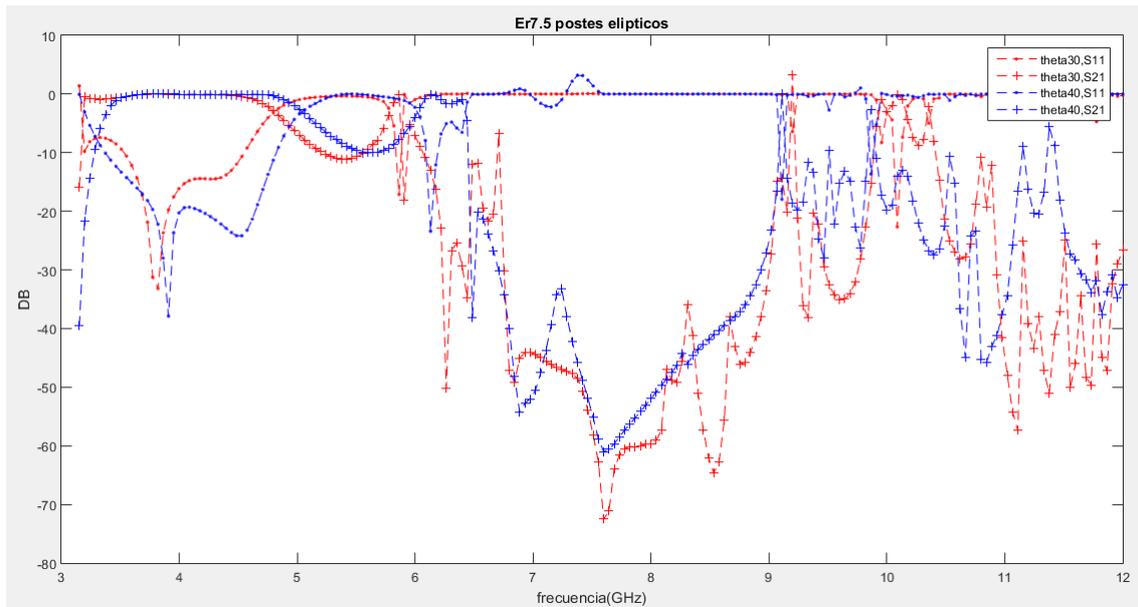


Figura 3.65. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 10$  y  $\theta$  variables.

Como alternativa a estas simulaciones y con el fin de buscar alguna manera de obtener respuestas que sean interesantes, hemos propuesto unas nuevas topologías que se mostraran en los siguientes apartados, ya que como podemos observar, se ve claramente de que no son respuestas idóneas, por lo que hemos investigado con la finalidad de encontrar el porqué de este comportamiento tan extraño, para ello hemos diseñado filtros con *gap*, también hemos realizado diseños de filtros. Donde los postes elípticos se encuentran “flotando”, y hemos concluido este apartado de soluciones alternativas haciendo los postes más finos.

### 3.6 SOLUCIONES PARA FILTROS ELÍPTICOS CAPACITIVOS.

Como hemos mencionado en el apartado anterior, hemos propuesto algunas soluciones con el fin de mejorar las respuestas obtenidas anteriormente. Para ello empezaremos mostrando los filtros con postes elípticos flotando. Posteriormente mostraremos unos filtros capacitivos con *gap*, y finalmente terminaremos el apartado mostrando unos filtros similares a los del apartado anterior, los cuales se han diseñado partiendo de postes más finos.

Todas estas alternativas las hemos diseñado con el fin de poder mejorar las resonancias obtenidas en el capítulo anterior, y para ello trataremos de reducir la superficie de los postes.

### 3.6.1 FILTROS CON POSTES ELÍPTICOS “FLOTANDO”

La primera alternativa que usaremos, será la de postes elípticos “flotando”, con esto conseguimos reducir parte del área del cilindro, buscando obtener resonancias de los postes dieléctricos fuera de la banda de paso del filtro.

#### 3.6.1.1 *FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=5$*

- Para  $\Theta_c=30^\circ$ , la representación del filtro es la siguiente:

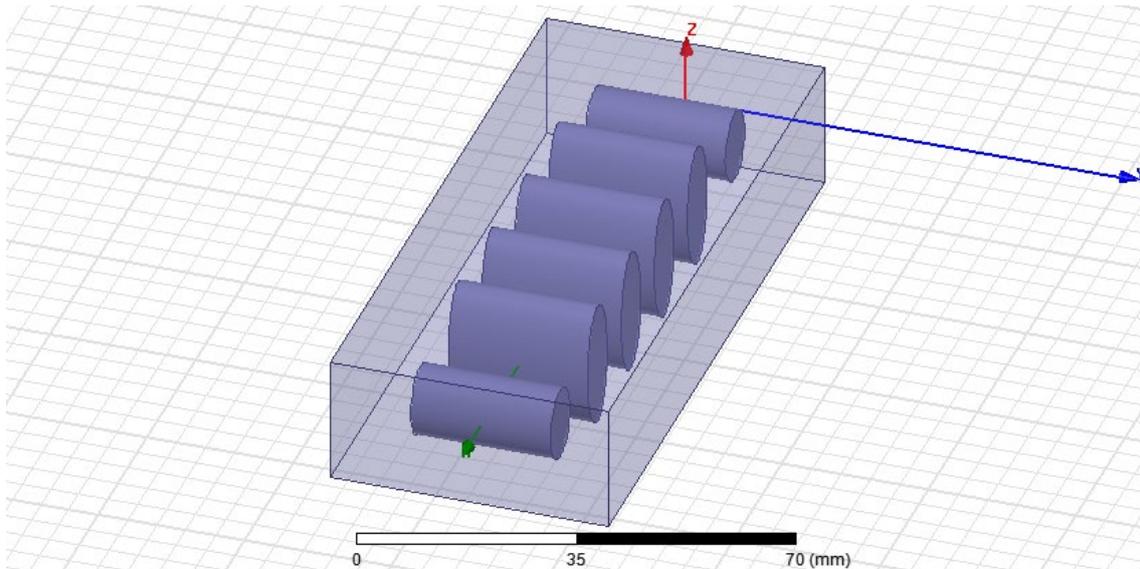


Figura 3.66. Filtro paso bajo con postes capacitivos "flotando" con  $\Theta=30^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 14 del capítulo 4.

Cuya representación gráfica es:

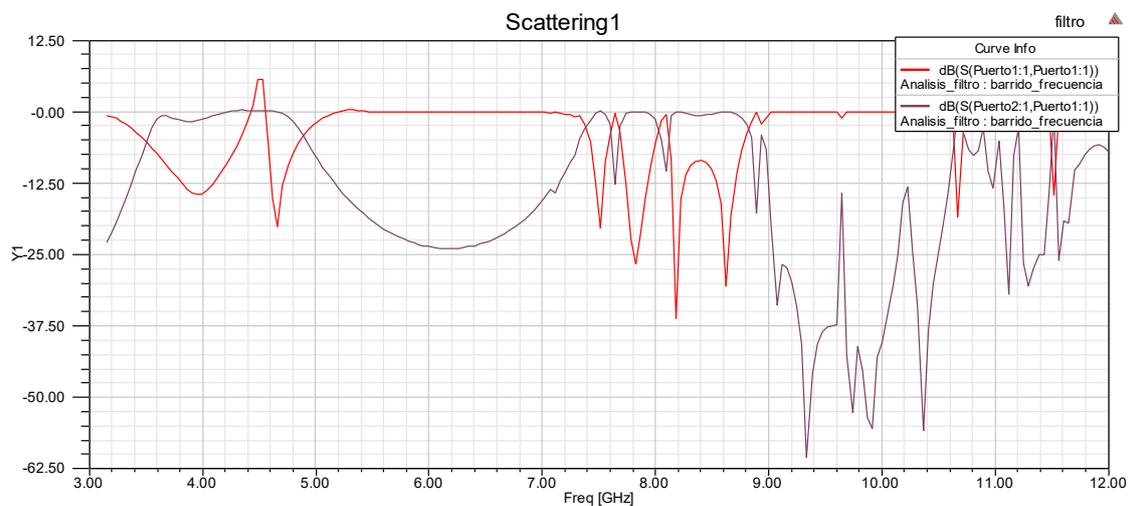


Figura 3.67. Respuesta del filtro mostrado en la Figura 3.64

Donde podemos ver que seguimos sin tener un comportamiento normal de un filtro. Para estudiar más a fondo este problema, estudiaremos un filtro con una  $\Theta_c$  distinta, con el fin de ver si esto hace variar la respuesta.

- Para  $\Theta_c=40^\circ$ :

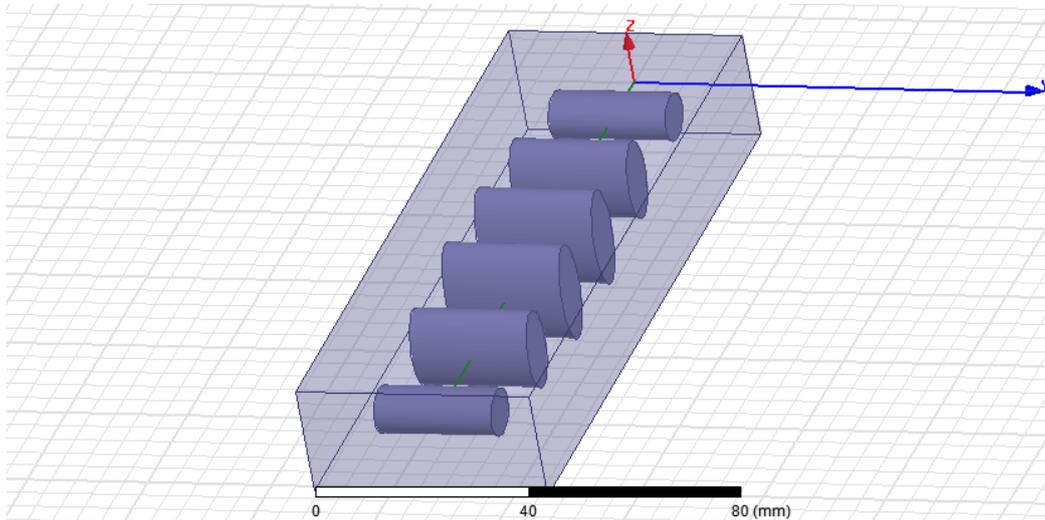


Figura 3.68. Filtro paso bajo con postes capacitivos "flotando" con  $\Theta=40^\circ$ .

Hemos separado las gráficas en dos, con el fin de estudiar con más profundidad la zona de actuación del filtro (figura 3.69), donde se puede observar un funcionamiento "correcto". Aunque parece que no es muy selectivo.

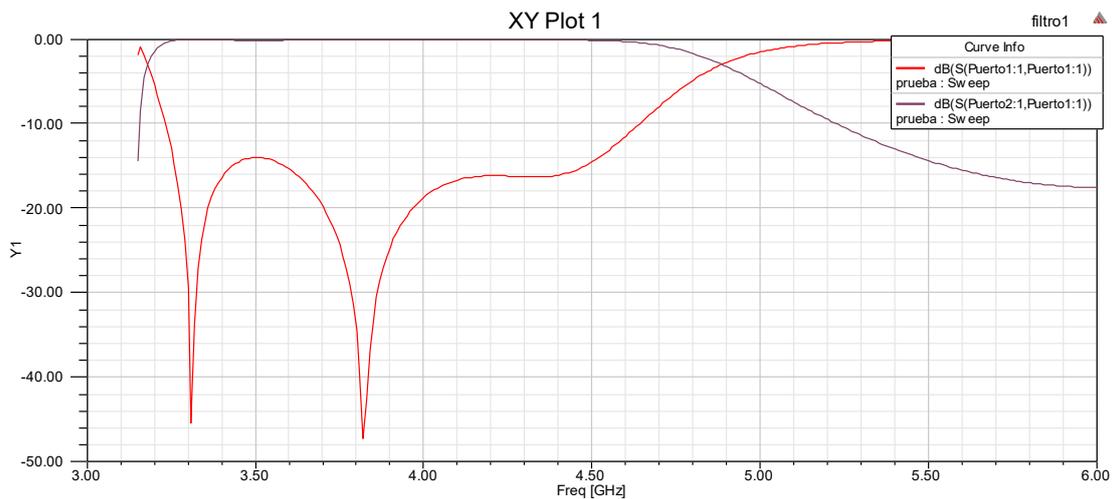


Figura 3.69. Respuesta de la zona de filtrado del filtro mostrado en la Figura 3.68

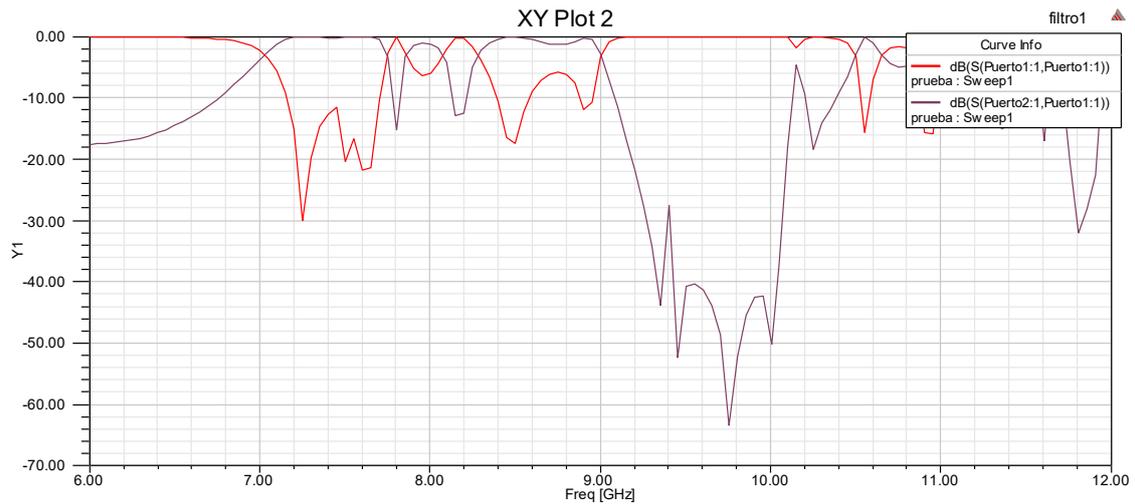


Figura 3.70. Respuesta de la zona de espurios del filtro mostrado en la Figura 3.68

Con este resultado podemos decir que la gráfica obtenida con anterioridad (figura 3.65) no tenía la resolución idónea, por lo que no se comportaba de manera normal.

### 3.6.1.2 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=7.5$

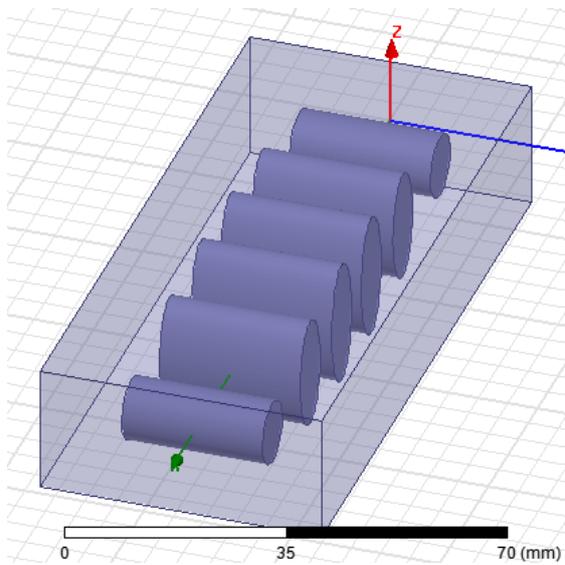


Figura 3.71. Filtro paso bajo con postes capacitivos "flotando" con  $\Theta=30^\circ$ .

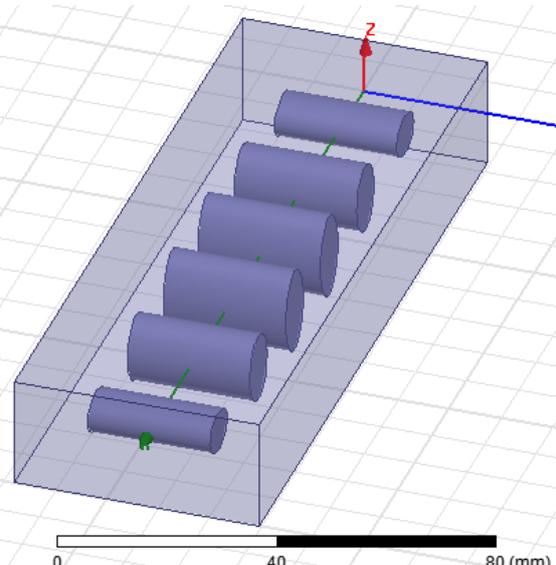


Figura 3.72. Filtro paso bajo con postes capacitivos "flotando" con  $\Theta=40^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 15 del capítulo 4.

Se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.73 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$  (ver las figuras 3.71 y 3.72):

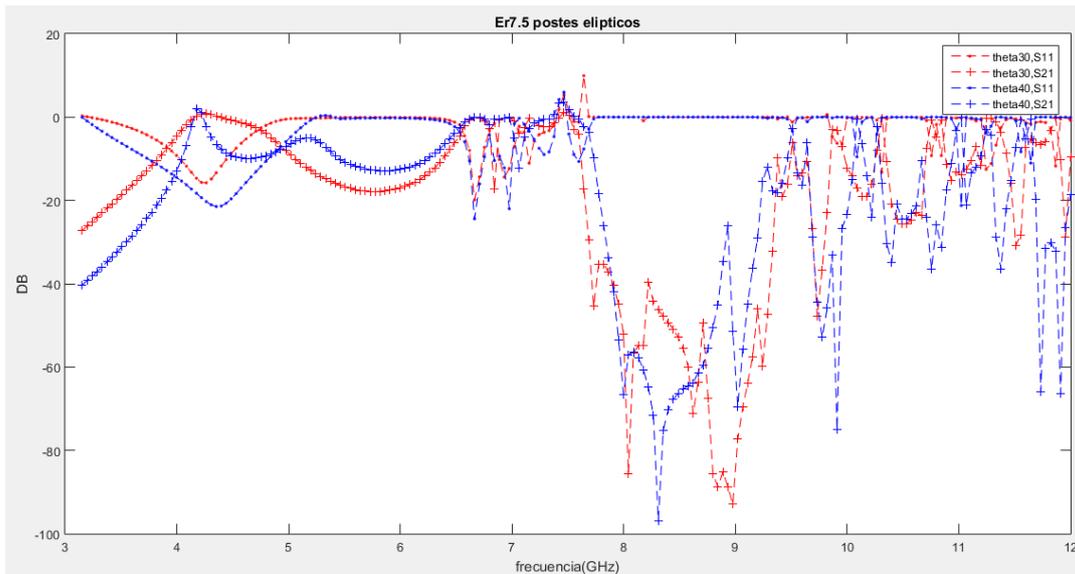


Figura 3.73. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 7.5$  y  $\theta$  variables.

Como se puede ver en la figura 3.73, la respuesta no es buena, es decir, que seguimos teniendo el mismo problema, ya que conforme vamos aumentando los valores de  $\epsilon_r$ , las respuestas son más difusas.

### 3.6.2 FILTROS CON POSTES ELÍPTICOS SEPARADOS CON GAP

La segunda alternativa que usaremos será la de filtros con postes elípticos separados con *gap*. Mediante este *gap* conseguimos eliminar parte del poste con el fin de reducir el volumen de dieléctrico y que la resonancias no afecten a nuestra frecuencia de trabajo.

Los valores con las dimensiones de los filtros se encuentran en este apartado están en la tabla 16 del capítulo 4.

#### 3.6.2.1 *FILTRO CON GAP=5mm, $\theta=30^\circ$ y $Er=5$*

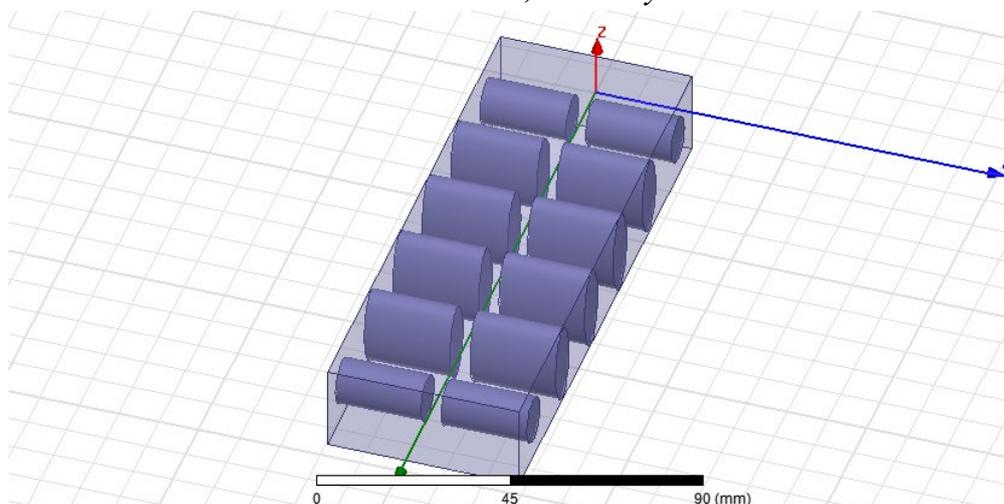


Figura 3.74. Filtro de postes elípticos con GAP de 5mm y  $\theta=30^\circ$

Hemos separado las gráficas en dos, con el fin de estudiar con más profundidad la zona de actuación del filtro (figura 75), donde se puede observar un funcionamiento “correcto”.

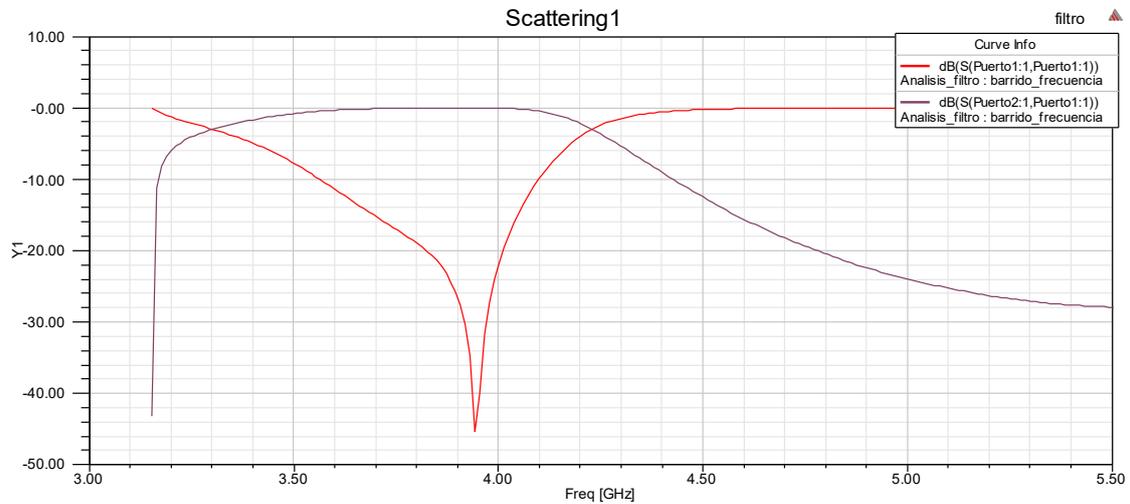


Figura 3.75. Respuesta de la zona de filtrado del filtro mostrado en la Figura 3.74

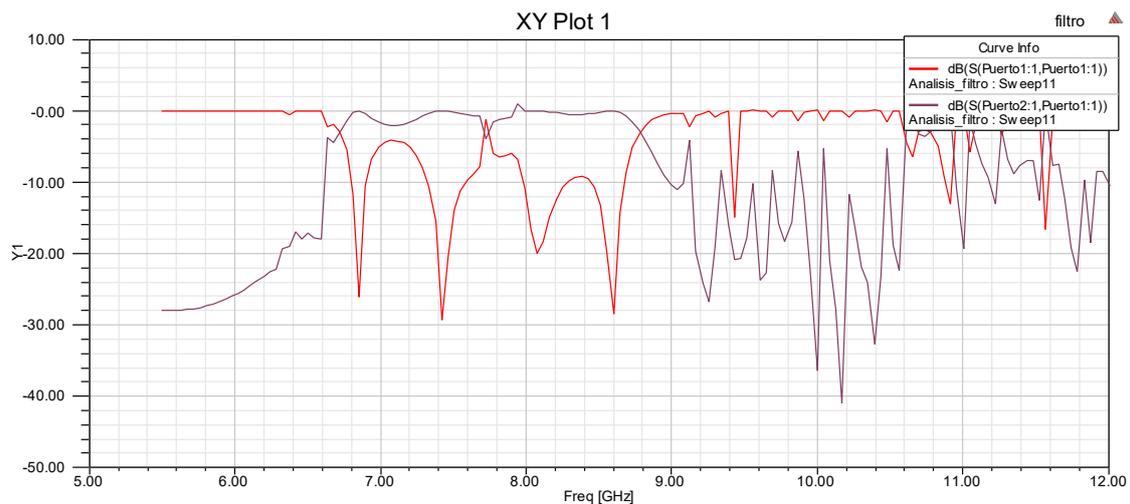


Figura 3.76. Respuesta de la zona de espurios del filtro mostrado en la Figura 3.74

Se puede comprobar que el filtro no sale como debería, puesto que no respeta ni la banda de paso ya que corta mucho antes que la frecuencia de corte. Es más, se puede observar una banda de paso entre  $f=6.75$  GHz y  $f=8.75$  GHz. Por tanto este filtro no sería válido.

### 3.6.2.2 FILTRO CON GAP=10mm y $\Theta=30^\circ$ Er=5

Aumentamos el valor del gap (separación intermedia) con el fin de tratar de reducir las resonancias que se producen y poder conseguir una respuesta natural de un filtro paso-bajo como los que estamos estudiando, en este caso el valor del gap=10mm.

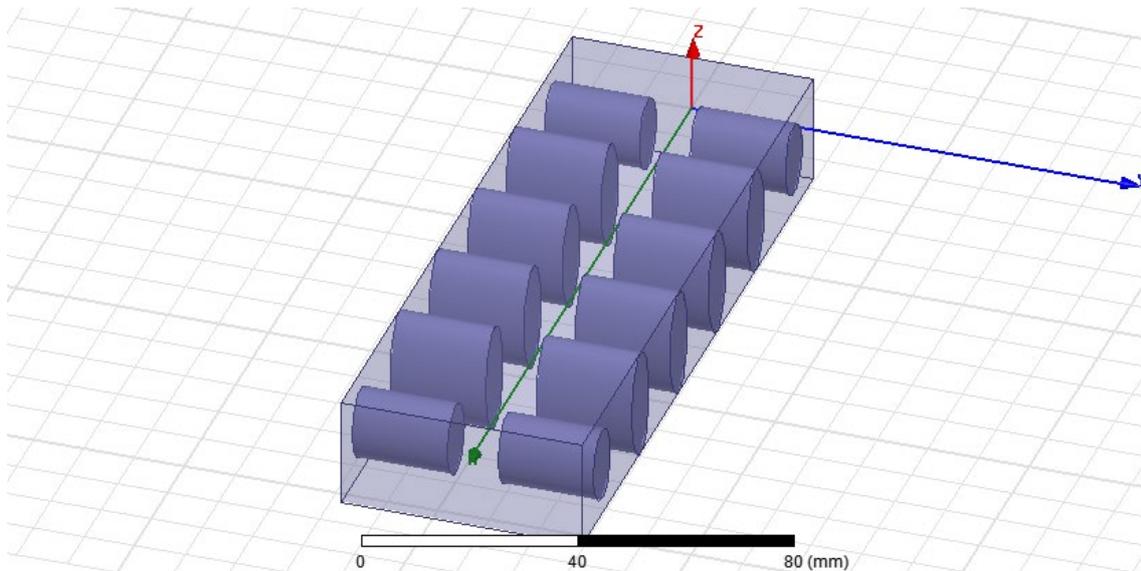


Figura 3.77. Filtro de postes elípticos con GAP de 10mm y  $\Theta=30^\circ$

Hemos separado las gráficas en dos, con el fin de estudiar con más profundidad la zona de actuación del filtro (figura 78), donde se puede observar un funcionamiento “correcto”.

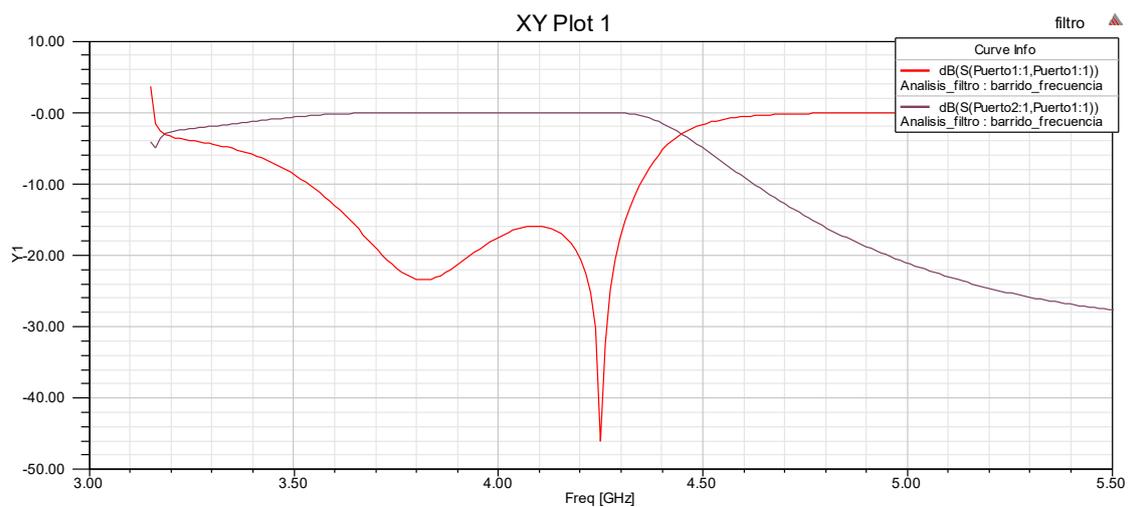


Figura 3.78. Respuesta de la zona de filtrado del filtro mostrado en la Figura 3.77



Figura 3.79. Respuesta de la zona de espurios del filtro mostrado en la Figura 3.77

En este caso sí que se intuye más el filtro, aunque la frecuencia de corte cae antes de lo que debería. Tampoco aparecen todos los polos y ceros esperados. Todo esto es producido por las resonancias.

Explicamos el por qué separamos en dos gráficas los apartados anteriores y el siguiente. Como se puede ver en la figura 3.80, la respuesta no es real, puesto que obtendríamos un filtro que amplificaría la señal, por tanto, con el fin de intentar obtener una respuesta, que aunque no sea buena, sea real, separamos en dos para estudiar con más profundidad cada una de las zonas que no presenta el filtro, la zona de filtrado y la zona de los espurios.

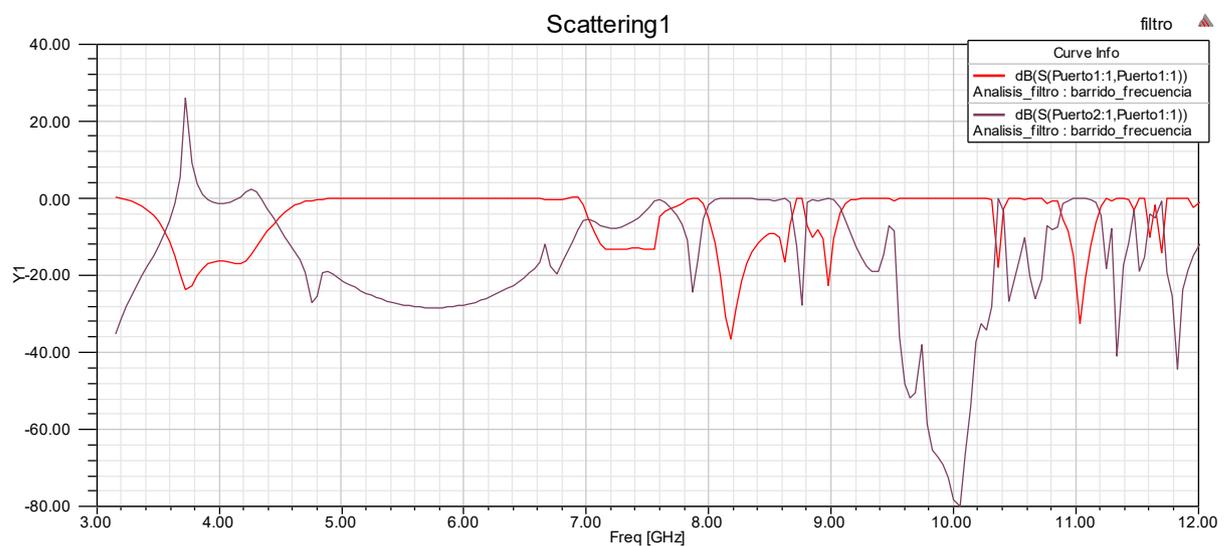


Figura 3.80. Respuesta en frecuencia del filtro de la figura 3.75

Como se puede ver, esto no es una respuesta de la que se puedan obtener conclusiones, puesto que no es una respuesta válida.

### 3.6.2.3 FILTRO CON GAP=10mm y $\Theta=40^\circ$ Er=7.5

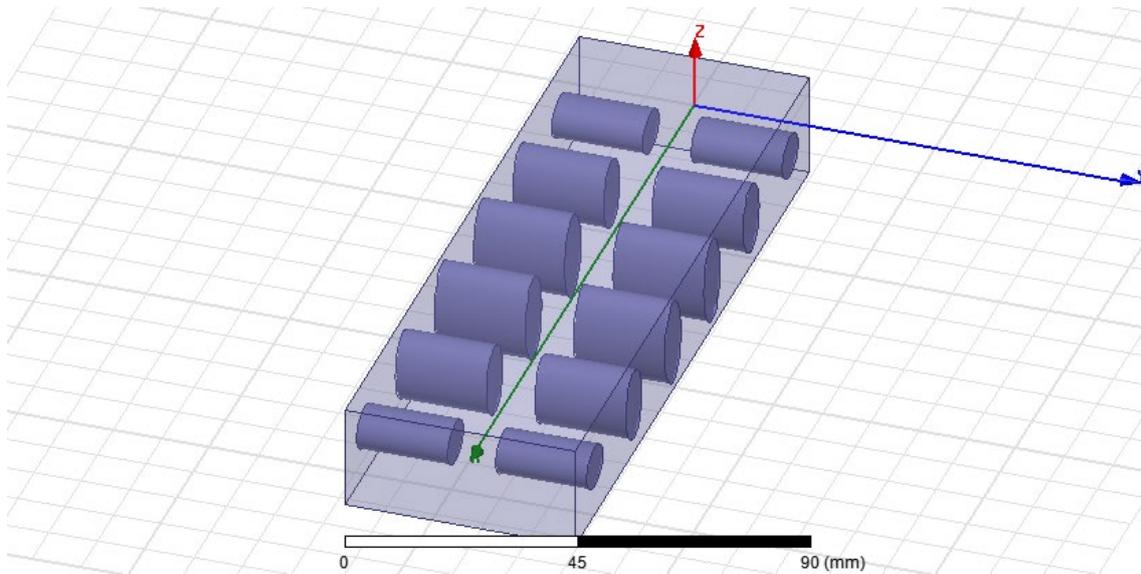


Figura 3.81. Filtro de postes elípticos con GAP de 10mm y  $\Theta=40^\circ$

Hemos separado las gráficas en dos, con el fin de estudiar con más profundidad la zona de actuación del filtro (figura 3.82), donde se puede observar un funcionamiento “correcto”.

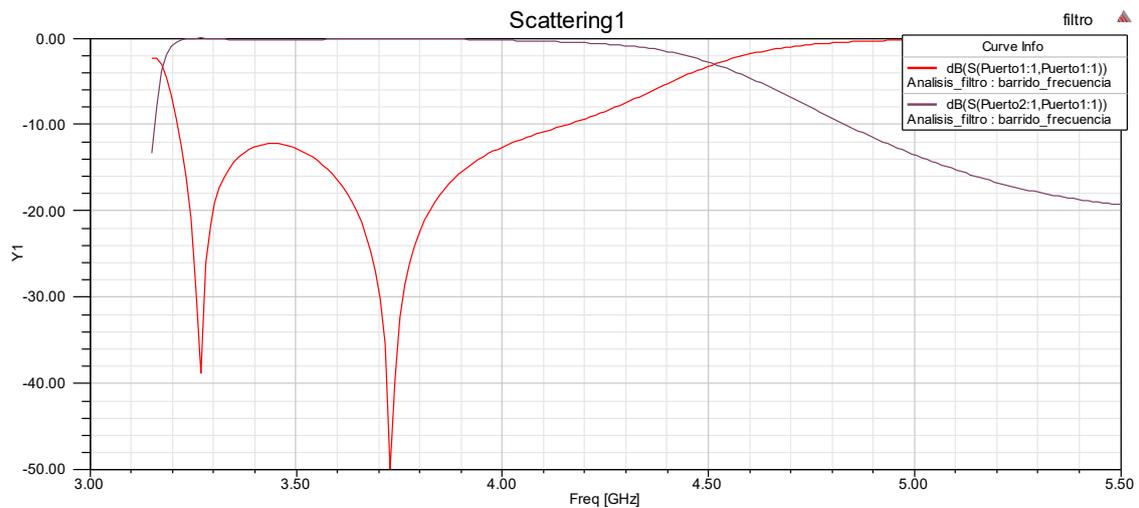


Figura 3.82. Respuesta en frecuencia del filtro de la figura 3.81

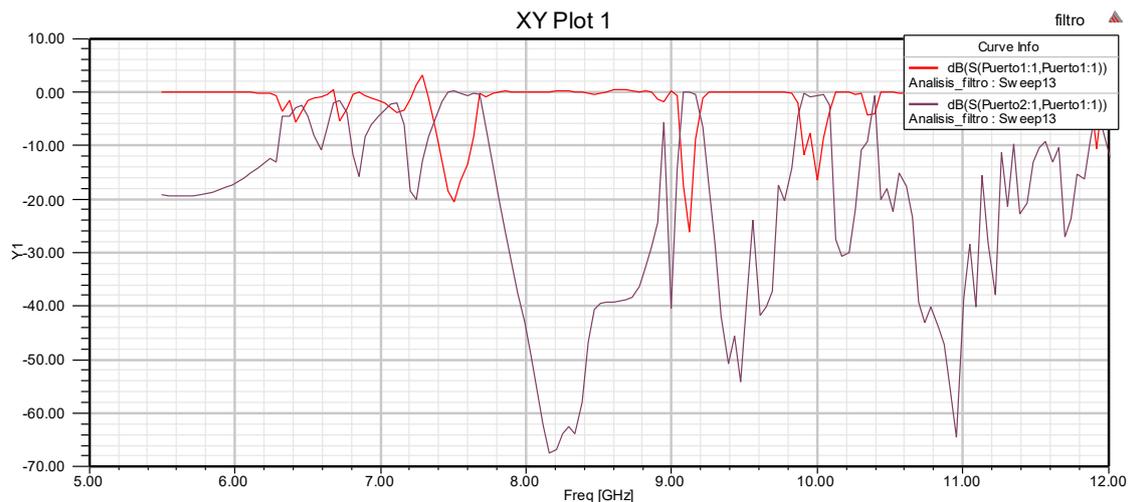


Figura 3.83. Respuesta de la zona de espurios del filtro mostrado en la Figura 3.81

En este caso sí que se intuye más el filtro, aunque la frecuencia de corte cae antes de lo que debería. Tampoco aparecen todos los polos y ceros esperados. Todo esto es producido por las resonancias.

Por tanto, deducimos que cuanto mayor es el *gap*, mejor podemos ver la respuesta obtenida. Pero si ponemos un *gap* muy grande, al final los postes serían demasiado pequeños, y no causarían efecto.

### 3.6.3 FILTROS CON POSTES ELIPTICOS MÁS FINOS

Hemos planteado esta solución a posteriori de ver los resultados que aparecerán en el apartado siguiente (3.7), en el que hemos concluido que con los postes rectangulares se obtenían respuestas más reconocibles. Estudiando un poco este caso, y viendo las principales diferencias con los postes elípticos de este apartado, observamos que la anchura, y por tanto, el área que ocupan podían ser un factor determinante en que las respuestas no fueran correctas. Ya que cuanto mayor son los postes, las resonancias aparecen en posiciones más bajas en frecuencia y pueden alterar nuestra respuesta en la banda de paso.

Al estudiar este apartado vemos que no conseguimos lo esperado, puesto que, aunque hemos hecho los postes dieléctricos más finos, no obtenemos mejores respuestas.

Los valores con las dimensiones de los filtros se encuentran en este apartado están en la tabla 17 del capítulo 4.

#### 3.6.3.1 *FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=7.5$*

Antes de mostrar los resultados, diremos que en el diseño de los postes elípticos, hemos dado de valores iniciales: radio menor ( $e_m$ )=1,5 y radio mayor ( $e_{am}$ )=3.

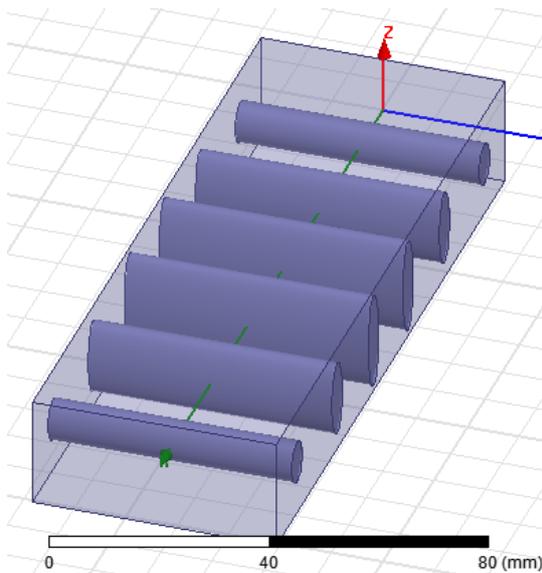


Figura 3.84. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

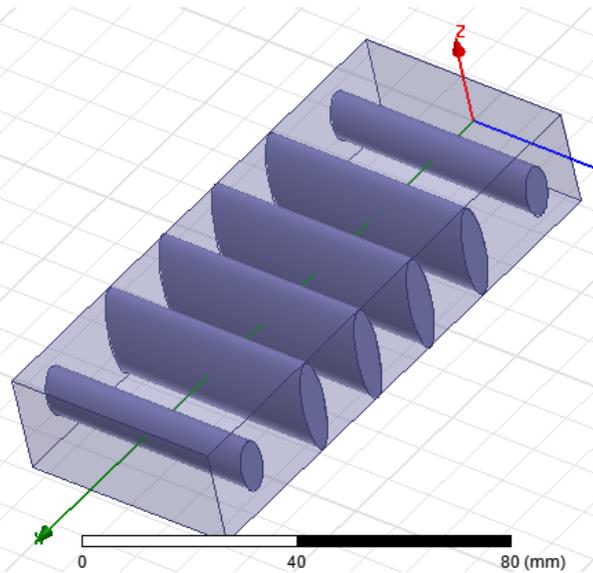


Figura 3.85. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

Se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.86 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$  (ver las figuras 3.84 y 3.85):

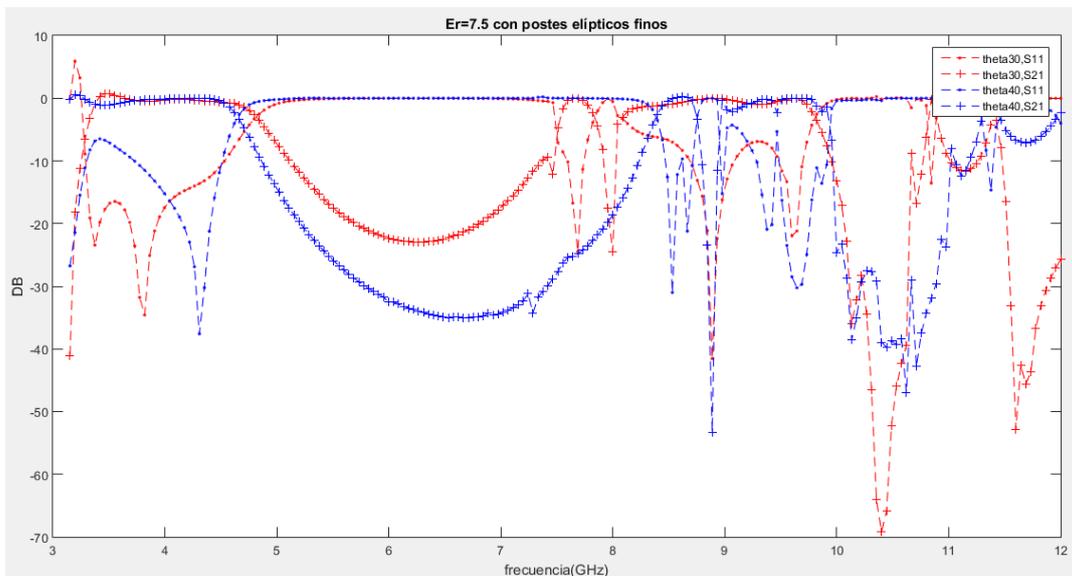


Figura 3.86. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 7.5$  y  $\Theta$  variables.

### 3.6.3.2 FILTRO CON $\Theta_c=30^\circ$ y $\epsilon_r=10$

Este filtro está diseñado con las mismas medidas que el apartado anterior (3.6.3.1), pero hemos aumentado la permitividad dieléctrica para ver sus variaciones.

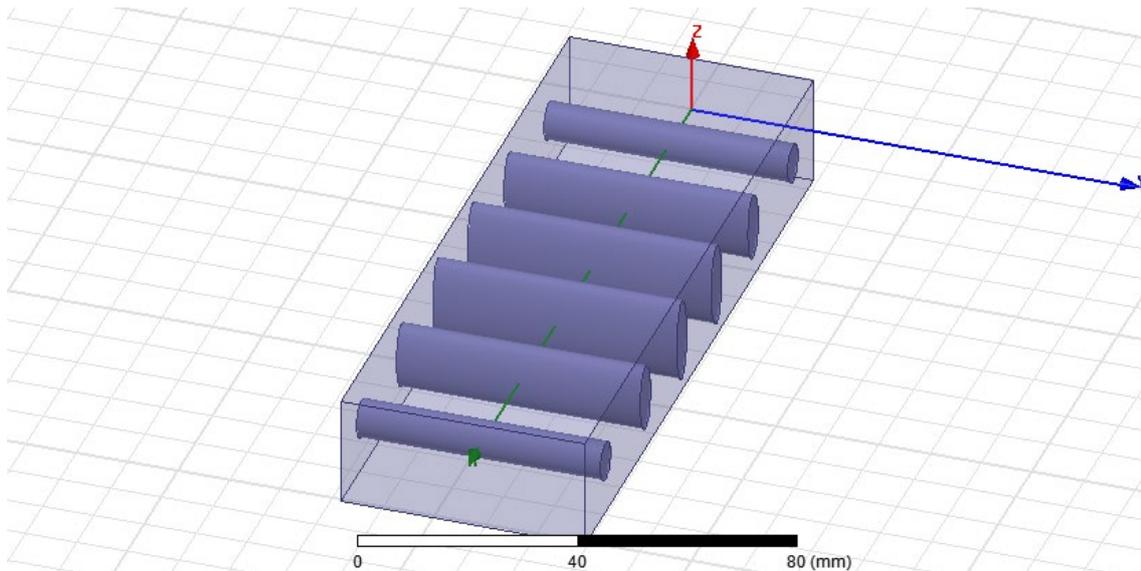


Figura 3.87. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

Se obtiene la respuesta representada en la figura 3.88 tras analizar el filtro de la figura 3.87:

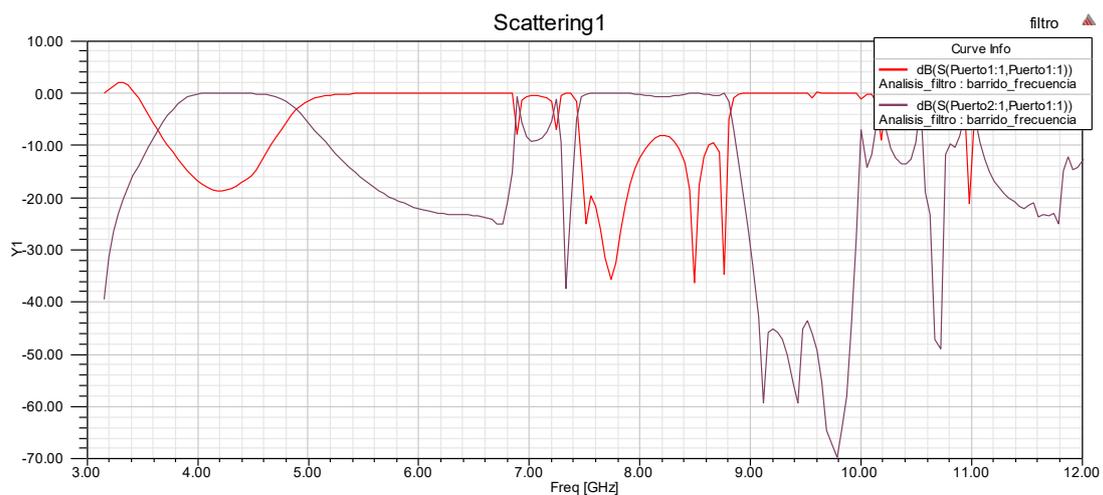


Figura 3.88. Respuesta en frecuencia del filtro de la figura 3.87

### 3.7 FILTROS CON POSTES DIELECTRICOS RECTANGULARES CAPACITIVOS

Ahora vamos a estudiar el homólogo del apartado anterior, para realizar la comparativa de cómo se obtienen mejores respuestas. En este apartado trabajaremos con filtros cuyos postes dieléctricos son rectangulares y capacitivos.

Como veremos a continuación, gracias a que estos postes son más finos que los utilizados en el apartado 3.6, conseguimos que las resonancias se muevan hacia frecuencias altas y no nos afecten en nuestros diseños. Habría que tener en cuenta

lo finos se pueden hacer estos postes para que mantengan las propiedades y sean filtros que se puedan construir en un futuro.

### 3.7.1 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=5$ .

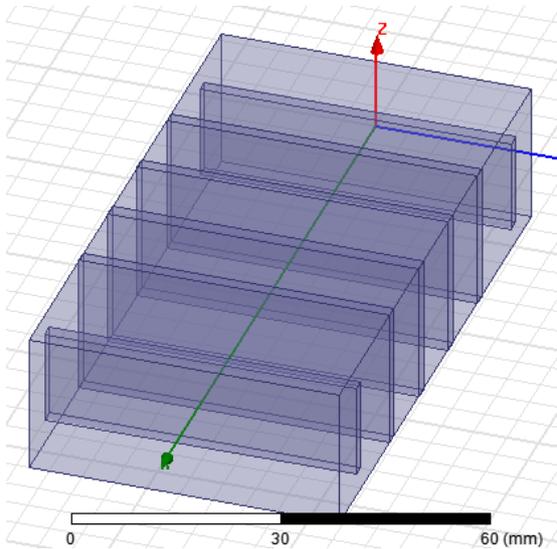


Figura 3.89. Filtro paso bajo  $\Theta=20^\circ$ .

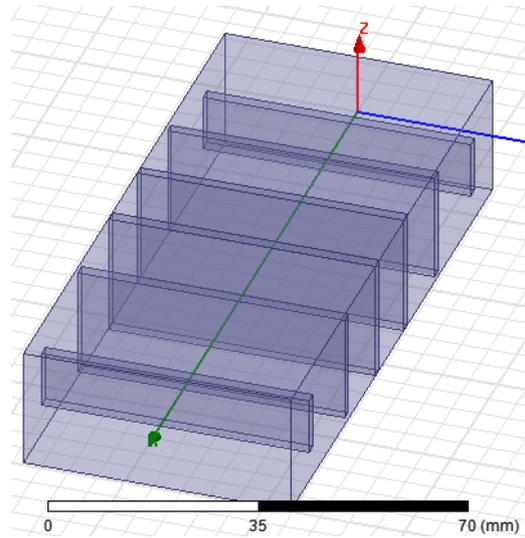


Figura 3.90. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

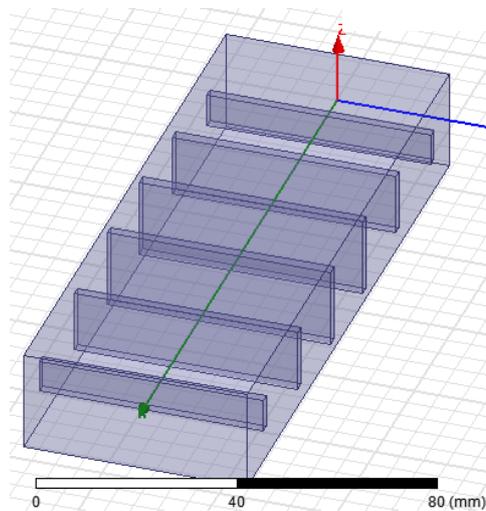


Figura 3.91. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de los filtros se encuentran en este apartado están en la tabla 18 del capítulo 4.

Se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.92 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$  (ver las figuras 3.89, 3.90 y 3.91):

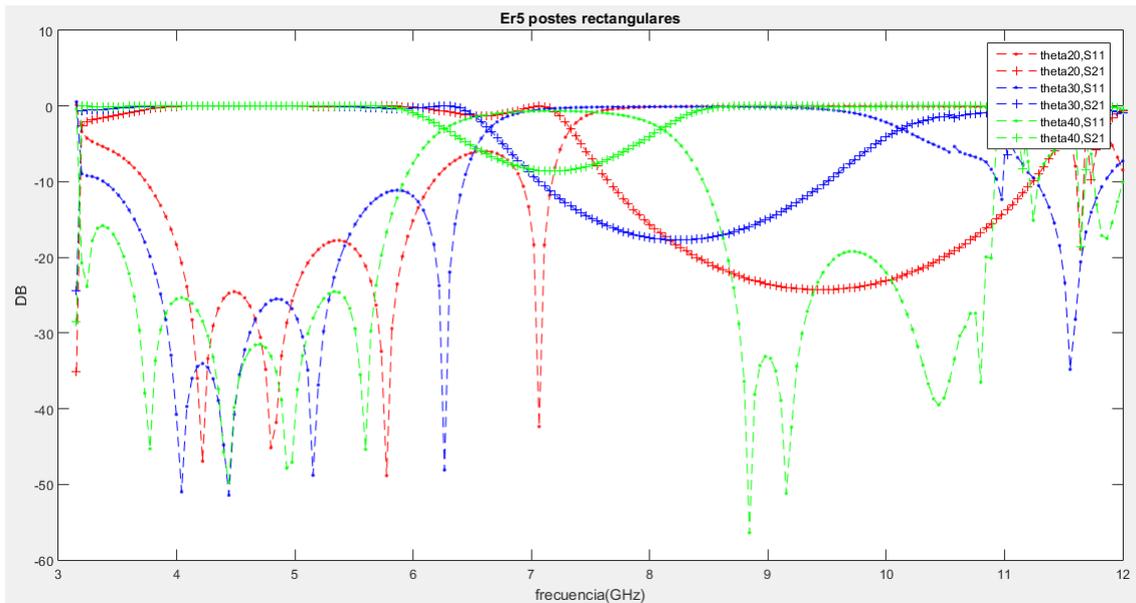


Figura 3.92. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 5$  y  $\Theta$  variables.

Como se puede apreciar en la figura 3.92 y en las figuras posteriores (figuras 3.96 y 3.99), las frecuencias de corte están desplazadas, puesto que ninguna aparece en 5.15 GHz. Esto se puede producir porque los postes rectangulares son muy finos.

Nos fijamos también en que a menor  $\Theta$  mas se desplaza hacia arriba en frecuencia y los espurios se encuentran más alejados de la banda de paso.

### 3.7.2 FILTROS CON DIFERENTE $\Theta_c$ y $\epsilon_r=7.5$ .

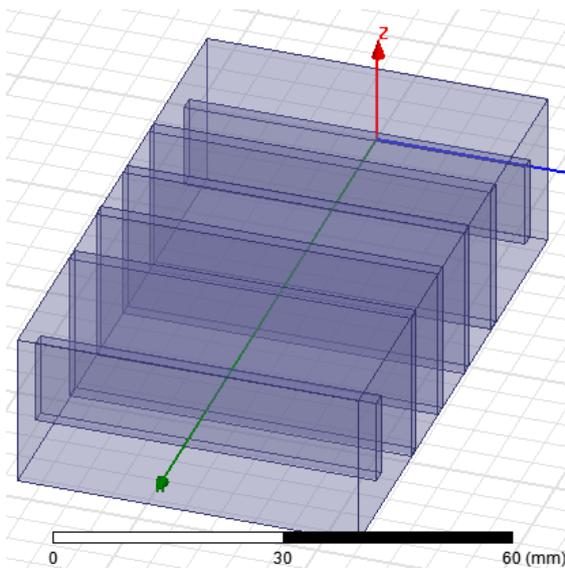


Figura 3.93. Filtro paso bajo  $\Theta=20^\circ$ .

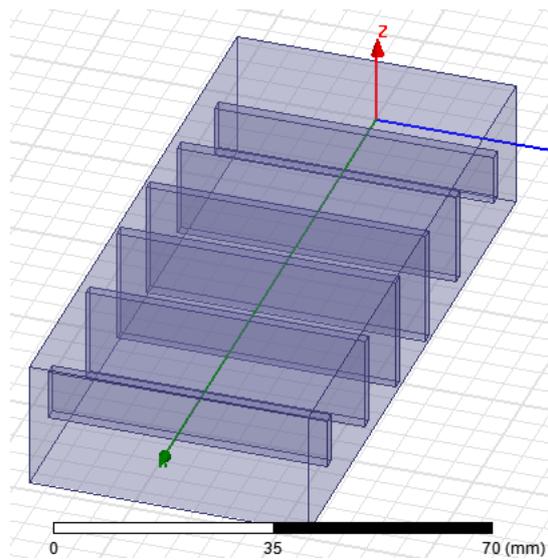


Figura 3.94. Filtro paso bajo  $\Theta=30^\circ$ .

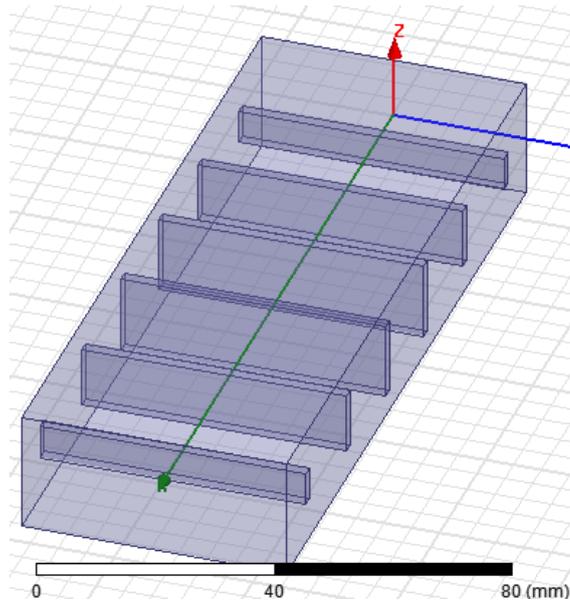


Figura 3.95. Filtro paso bajo  $\Theta=40^\circ$ .

Los valores con las dimensiones de los filtros se encuentran en este apartado están en la tabla 19 del capítulo 4.

Se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.96 tras analizar los filtros con diferentes  $\Theta$  (ver las figuras 3.93, 3.94 y 3.95):

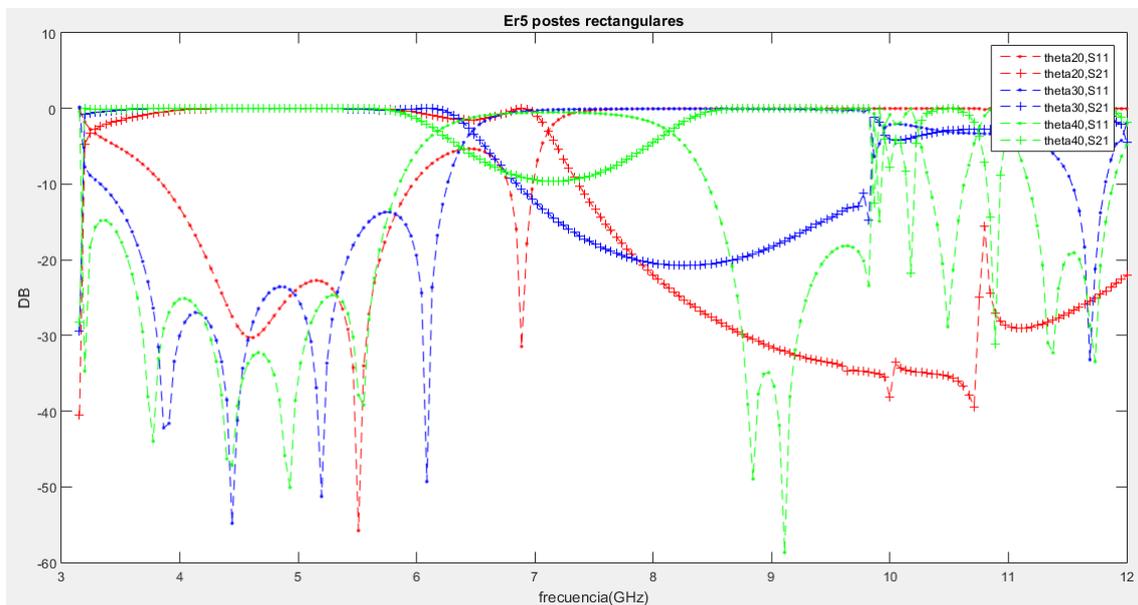


Figura 3.96. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r = 7.5$  y  $\Theta$  variables.

Como se puede apreciar en la figura 3.96, y como hemos dicho en el apartado anterior, se desplazan las frecuencias de corte superiores cuanto menor es el valor de  $\Theta$ .

### 3.7.3 FILTRO CON $\epsilon_r$ ELEVADAS y $\Theta_c=30^\circ$ .

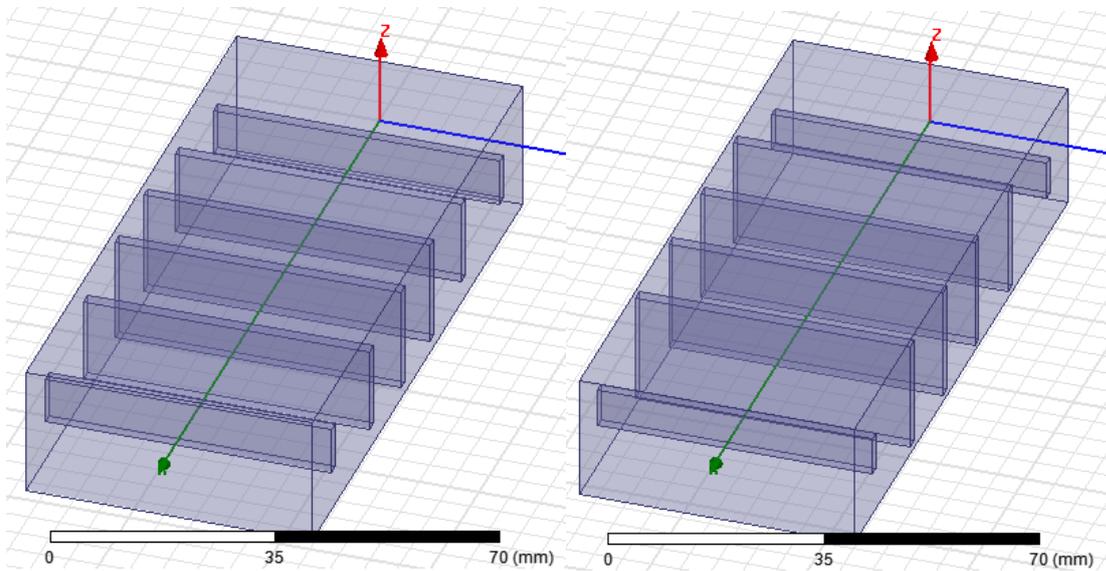


Figura 3.97. Filtro paso bajo con  $\epsilon_r=10$

Figura 3.98. Filtro paso bajo con  $\epsilon_r=20$

Los valores con las dimensiones de los filtros se encuentran en este apartado están en la tabla 20 del capítulo 4.

Se obtienen las respuestas representadas en la figura 3.99 tras analizar los filtros con diferentes  $\epsilon_r$  (ver las figuras 3.97 y 3.98):

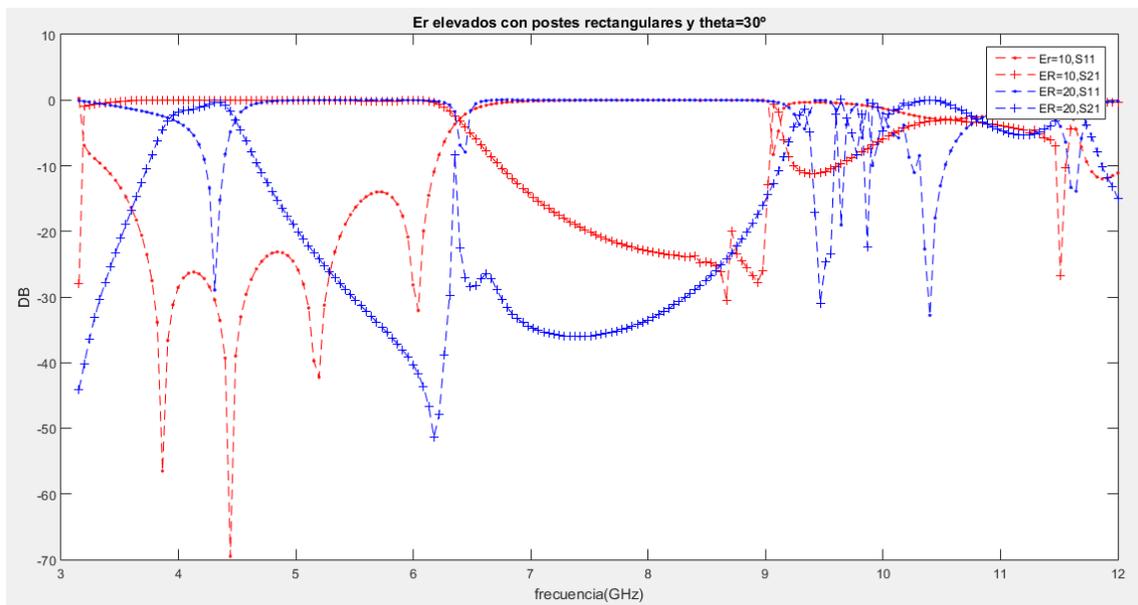


Figura 3.99. Respuesta de filtros con  $\epsilon_r$  altos y  $\Theta=30$

Como podemos observar cuando la  $\epsilon_r=20$ , la respuesta no es la esperada. Para explicar este fenómeno enseñaremos la siguiente figura donde se puede

apreciar que como consecuencia de las resonancias de los postes eléctricos, los valores que deberían de tomarse para la síntesis, no son los adecuados. El efecto es el mismo que el apartado 3.3, más concretamente en la figura 3.29.

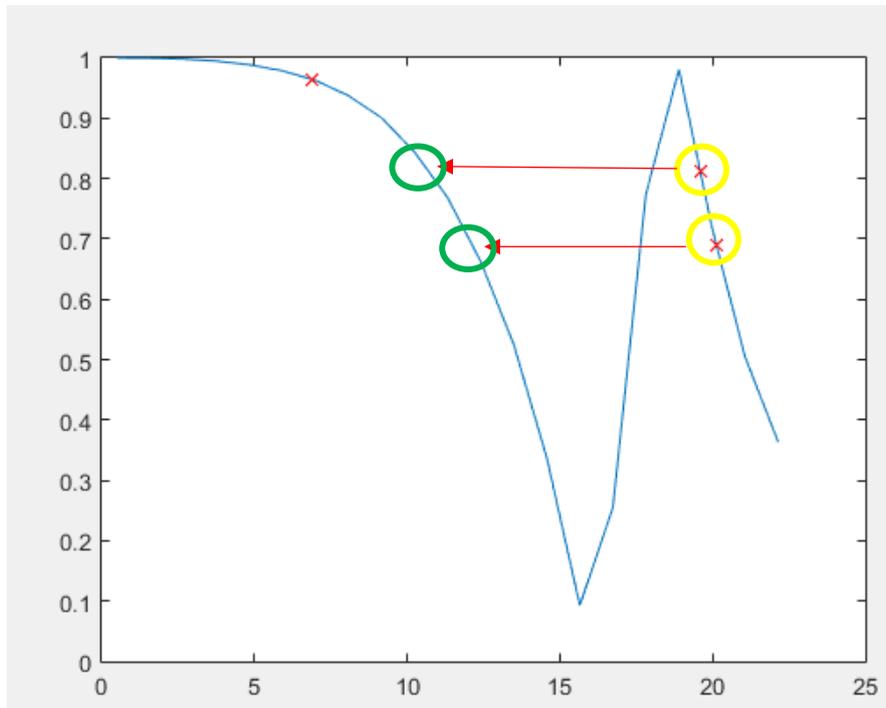


Figura 3.100. Valor desplazado por motivo de la resonancia

## 4 TABLAS

Tabla 1. Valores de los filtros del apartado 3.2.1

Valores	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$	$\Theta_c=50^\circ$
<b>a</b>	47.5448 mm	47.5448 mm	47.5448 mm
<b>b</b>	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
<b>e m</b>	2.5 mm	2.5 mm	2.5 mm
<b>l1</b>	21.3895 mm	24.5987mm	27.2383 mm
<b>e am1</b>	9.3157 mm	5.0132 mm	3.4439mm
<b>l2</b>	19.6497 mm	21.9945 mm	26.0441 mm
<b>e am2</b>	23.7724 mm	18.9751 mm	6.7456 mm
<b>l3</b>	19.6497 mm	21.7011 mm	25.2136 mm
<b>e am3</b>	23.7724 mm	23.7724 mm	10.522 mm
<b>l4</b>	19.6497 mm	21.7011 mm	25.2136 mm
<b>e am4</b>	23.7724 mm	23.7724 mm	10.522 mm
<b>l5</b>	19.6497 mm	21.9945 mm	26.0441 mm
<b>e am5</b>	23.7724 mm	18.9751 mm	6.7456 mm
<b>l6</b>	21.3895 mm	24.5987 mm	27.2383 mm
<b>e am6</b>	9.3157 mm	5.0132 mm	3.4439 mm

Tabla 2. Valores de los filtros del apartado 3.2.2

Valores	$\Theta_c=20^\circ$	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
a	47.5448 mm	47.5448 mm	47.5448 mm
b	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
e m	2.5 mm	2.5 mm	2.5 mm
l1	17.4822 mm	21.4166 mm	24.6175 mm
e am1	4.5845 mm	2.7466 mm	1.7293 mm
l2	12.6905 mm	17.1136 mm	22.0383 mm
e am2	23.7724 mm	8.5498 mm	4.0502 mm
l3	12.6905 mm	14.7429 mm	20.382 mm
e am3	23.7724 mm	23.7724 mm	6.0168 mm
l4	12.6905 mm	14.7429 mm	20.382 mm
e am4	23.7724 mm	23.7724 mm	6.0168 mm
l5	12.6905 mm	17.1136 mm	22.0383 mm
e am5	23.7724 mm	8.5498 mm	4.0502 mm
l6	17.4822 mm	21.4166 mm	24.6175 mm
e am6	4.5845 mm	2.7466 mm	1.7293 mm

Tabla 3. Valores de los filtros del apartado 3.2.3

Valores	$\Theta_c=20^\circ$	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
a	47.5448 mm	47.5448 mm	47.5448 mm
b	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
e m	2.5 mm	2.5 mm	2.5 mm
l1	17.5894 mm	21.4084 mm	24.8955 mm
e am1	2.5462 mm	1.612 mm	0.8935 mm
l2	11.8 mm	17.2555 mm	22.19 mm
e am2	9.6806 mm	4.0048 mm	2.2562 mm
l3	10.2648 mm	15.165 mm	20.4145 mm
e am3	23.7724 mm	6.1291 mm	3.2194 mm
l4	10.2648 mm	15.165 mm	20.4144 mm
e am4	23.7724 mm	6.129 mm	3.2194 mm
l5	11.8 mm	17.2555 mm	22.19 mm
e am5	9.6806 mm	4.0048 mm	2.2562 mm
l6	17.5894 mm	21.408 mm	24.8955 mm
e am6	2.5462 mm	1.612 mm	0.8935 mm

Tabla 4. Valores de los filtros del apartado 3.2.4

Valores	$\Theta_c=10^\circ$	$\Theta_c=20^\circ$	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
<b>a</b>	47.5448 mm	47.5448 mm	47.5448 mm	47.5488
<b>b</b>	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488
<b>e m</b>	2.5 mm	2.5 mm	2.5 mm	2.5 mm
<b>l1</b>	12.5775 mm	17.5307 mm	21.8219 mm	25.0552 mm
<b>e am1</b>	3.0509 mm	1.7704 mm	0.9931 mm	0.6526 mm
<b>l2</b>	6.8587 mm	12.2653 mm	17.3356 mm	22.1307 mm
<b>e am2</b>	22.4784 mm	4.6393 mm	2.6373 mm	1.5828 mm
<b>l3</b>	8.345 mm	9.9209 mm	15.2327 mm	20.5037 mm
<b>e am3</b>	22.6088 mm	10.5839 mm	3.7353 mm	2.1569 mm
<b>l4</b>	8.345 mm	9.9209 mm	15.2327 mm	20.5037 mm
<b>e am4</b>	22.6088 mm	10.5839 mm	3.7353 mm	2.1569 mm
<b>l5</b>	6.8587 mm	12.2653 mm	17.3356 mm	22.1307 mm
<b>e am5</b>	22.4784 mm	4.6393 mm	2.6373 mm	1.5825 mm
<b>l6</b>	12.5775 mm	17.5307 mm	21.8219 mm	25.0552 mm
<b>e am6</b>	3.0509 mm	1.7704 mm	0.9931 mm	0.6526 mm

Tabla 5. Valores de los filtros del apartado 3.2.5

Valores	$\Theta_c=20^\circ$	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$	$\Theta_c=50^\circ$
<b>a</b>	47.5488	47.5488	47.5448 mm	47.5488 mm
<b>b</b>	22.1488	22.1488	22.1488 mm	22.1488 mm
<b>e m</b>	2.5 mm	2.5 mm	2.5 mm	2.5 mm
<b>l1</b>	17.9114 mm	22.0377 mm	25.0001 mm	27.2174 mm
<b>e am1</b>	1.2457 mm	0.7532 mm	0.5596 mm	0.5 mm
<b>l2</b>	12.3106 mm	17.2909 mm	22.5943 mm	26.6391 mm
<b>e am2</b>	3.2356 mm	1.9724 mm	1.0884 mm	0.6446 m
<b>l3</b>	33.7809 mm	15.3285 mm	20.4239 mm	25.8543 mm
<b>e am3</b>	17.418 mm	2.6661 mm	1.648 mm	0.7978 mm
<b>l4</b>	33.7809 mm	15.3285 mm	20.4239 mm	25.8543 mm
<b>e am4</b>	17.418 mm	2.6661 mm	1.648 mm	0.7978 mm
<b>l5</b>	12.3106 mm	17.2909 mm	22.5943 mm	26.6391 mm
<b>e am5</b>	3.2356 mm	1.9724 mm	1.0884 mm	0.6446 mm
<b>l6</b>	17.9114 mm	22.0377 mm	25.0001 mm	27.2174 mm
<b>e am6</b>	1.2457 mm	0.7532 mm	0.5596 mm	0.5 mm

Tabla 6. Valores de los filtros del apartado 3.4.1

Valores	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$	$\Theta_c=50^\circ$
<b>a</b>	47.5488 mm	47.5488 mm	47.5488 mm
<b>b</b>	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
<b>e m</b>	4 mm	4 mm	4 mm
<b>l1</b>	21.3627 mm	24.6028 mm	27.2496 mm
<b>e am1</b>	17.9107 mm	9.8044 mm	6.6463 mm
<b>l2</b>	20.1599 mm	22.2051 mm	26.0569 mm
<b>e am2</b>	45.1945 mm	45.1945 mm	13.3589 mm
<b>l3</b>	20.1599 mm	22.2051 mm	25.232 mm
<b>e am3</b>	45.1945 mm	45.1945 mm	19.9052 mm
<b>l4</b>	20.1599 mm	22.2051 mm	25.232 mm
<b>e am4</b>	45.1945 mm	45.945 mm	19.9052 mm
<b>l5</b>	20.1599 mm	22.2051 mm	26.0569 mm
<b>e am5</b>	45.1945 mm	45.1945 mm	13.3589 mm
<b>l6</b>	21.3627 mm	24.6028 mm	27.2496 mm
<b>e am6</b>	17.9107 mm	9.8044 mm	6.6463 mm

Tabla 7. Valores de los filtros del apartado 3.4.2

Valores	$\Theta_c=20^\circ$	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
<b>a</b>	47.5488 mm	47.5488 mm	47.5488 mm
<b>b</b>	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
<b>e m</b>	4 mm	4 mm	4 mm
<b>l1</b>	17.4802 mm	21.3872 mm	24.6683 mm
<b>e am1</b>	9.0501 mm	5.3304 mm	3.2528 mm
<b>l2</b>	13.378 mm	17.1362 mm	22.0501 mm
<b>e am2</b>	45.1945 mm	16.9793 mm	7.9134 mm
<b>l3</b>	13.378 mm	15.4229 mm	20.3756 mm
<b>e am3</b>	45.1945 mm	45.1945 mm	12.0962 mm
<b>l4</b>	13.378 mm	15.4229 mm	20.3756 mm
<b>e am4</b>	45.1945 mm	45.1945 mm	12.0962 mm
<b>l5</b>	13.378 mm	17.1362 mm	22.05001 mm
<b>e am5</b>	45.1945 mm	16.9793 mm	7.9134 mm
<b>l6</b>	17.4802 mm	21.3872 mm	24.6683 mm
<b>e am6</b>	9.0501 mm	5.3304 mm	3.2528 mm

Tabla 8. Valores de los filtros del apartado 3.4.3

Valores	$\Theta_c=20^\circ$	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
<b>a</b>	47.5488 mm	47.5488 mm	47.5488 mm
<b>b</b>	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
<b>e m</b>	4 mm	4 mm	4 mm
<b>l1</b>	17.528 mm	21.4472 mm	24.6046 mm
<b>e am1</b>	4.9761 mm	3.0794 mm	2.0237 mm
<b>l2</b>	11.7318 mm	17.2205 mm	22.1513 mm
<b>e am2</b>	21.1194 mm	7.9324 mm	4.3704 mm
<b>l3</b>	10.8733 mm	15.1359 mm	20.4046 mm
<b>e am3</b>	47.5468 mm	12.726 mm	6.2942 mm
<b>l4</b>	10.8733 mm	15.1359 mm	20.4046 mm
<b>e am4</b>	47.5468 mm	12.726 mm	6.2942 mm
<b>l5</b>	11.7318 mm	17.2205 mm	22.1513 mm
<b>e am5</b>	21.1194 mm	7.9324 mm	4.3704 mm
<b>l6</b>	17.5218 mm	214472 mm	24.6046 mm
<b>e am6</b>	4.9761 mm	3.0794 mm	2.0237 mm

Tabla 9. Valores de los filtros del apartado 3.4.4

Valores	$\Theta_c=10^\circ$	$\Theta_c=20^\circ$	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
<b>a</b>	47.5488 mm	47.5488 mm	47.5488 mm	47.5488 mm
<b>b</b>	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
<b>e m</b>	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm
<b>l1</b>	12.5412 mm	17.5998 mm	21.4279 mm	24.9691 mm
<b>e am1</b>	6.0137 mm	3.381 mm	2.1918 mm	1.2009 mm
<b>l2</b>	8.1 mm	12.2291 mm	17.2558 mm	22114 mm
<b>e am2</b>	26.3757 mm	9.4489 mm	5.1699 mm	3.0693 mm
<b>l3</b>	8.1 mm	9.7443 mm	15.2529 mm	20.4921 mm
<b>e am3</b>	26.3757 mm	26.3757 mm	7.3725 mm	4.1786 mm
<b>l4</b>	8.1 mm	9.7443 mm	15.2529 mm	20.4921 mm
<b>e am4</b>	26.3757 mm	26.3757 mm	7.3725 mm	4.1786 mm
<b>l5</b>	8.1 mm	12.2291 mm	17.2558 mm	22.114 mm
<b>e am5</b>	26.3757 mm	9.4489 mm	5.1699 mm	3.0693 mm
<b>l6</b>	12.5412 mm	17.5998 mm	21.4279 mm	24.9691 mm
<b>e am6</b>	6.0137 mm	3.381 mm	2.1918 mm	1.2009 mm

Tabla 10. Valores de los filtros del apartado 3.4.5

Valores	$\Theta_c=20^\circ$	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$	$\Theta_c=50^\circ$
a	47.5488 mm	47.5488 mm	47.5488 mm	47.5488 mm
b	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
e m	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm
l1	17.5411 mm	21.7204 mm	25.1013 mm	27.554 mm
e am1	2.6091 mm	1.5506 mm	0.8664 mm	0.6431 mm
l2	12.2569 mm	17.2983 mm	22.1221 mm	26.5721 mm
e am2	6.4373 mm	3.8184 mm	2.3468 mm	1.1667 mm
l3	10.6383 mm	15.3079 mm	20.4668 mm	25.4855 mm
e am3	9.4642 mm	5.209 mm	3.1798 mm	1.708 mm
l4	10.6383 mm	15.3079 mm	20.4668 mm	25.4855 mm
e am4	9.4642 mm	5.209 mm	3.1798 mm	1.708 mm
l5	12.2569 mm	17.2983 mm	22.1221 mm	26.5721 mm
e am5	6.4373 mm	3.8184 mm	2.3168 mm	1.1667 mm
l6	17.5411 mm	21.7204 mm	25.1013 mm	27.554 mm
e am6	2.6091 mm	1.5506 mm	0.8664 mm	0.6431 mm

Tabla 11. Valores de los filtros del apartado 3.5.1

Valores	$\Theta_c=20^\circ$	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
a	47.5488 mm	47.5488 mm	47.5488 mm
b	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
e m	5 mm	5 mm	5 mm
l1	17.268 mm	21.2698 mm	24.5659 mm
e am1	8.0949 mm	5.7086 mm	4.1032 mm
l2	14.0931 mm	16.9966 mm	21.9186 mm
e am2	11.0723 mm	10.5976 mm	7.4041 mm
l3	14.0931 mm	16.1769 mm	20.219 mm
e am3	11.0723 mm	11.0723 mm	9.4451 mm
l4	14.0931 mm	16.1769 mm	20.219 mm
e am4	11.0723 mm	11.0723 mm	9.4451 mm
l5	14.0931 mm	16.9966 mm	21.9186 mm
e am5	11.0723 mm	10.5976 mm	7.4041 mm
l6	17.268 mm	21.2968 mm	24.5659 mm
e am6	8.0949 mm	5.7086 mm	4.1032 mm

Tabla 12. Valores de los filtros del apartado 3.5.2

Valores	$\Theta_c=20^\circ$	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
<b>a</b>	47.5488 mm	47.5488 mm	47.5488 mm
<b>b</b>	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
<b>e m</b>	5 mm	5 mm	5 mm
<b>l1</b>	17.1942 mm	21.2452 mm	24.5462 mm
<b>e am1</b>	6.758 mm	4.9419 mm	3.6198 mm
<b>l2</b>	11.6297 mm	16.8254 mm	21.8633 mm
<b>e am2</b>	11.0723 mm	8.9765 mm	6.2759 mm
<b>l3</b>	11.6297 mm	14.6826 mm	20.1221 mm
<b>e am3</b>	11.0723 mm	10.6661 mm	7.8447 mm
<b>l4</b>	11.6297 mm	14.6827 mm	20.1221 mm
<b>e am4</b>	11.0723 mm	10.6661 mm	7.8447 mm
<b>l5</b>	11.6297 mm	16.8254 mm	21.8633 mm
<b>e am5</b>	11.0723 mm	8.9765 mm	6.2759 mm
<b>l6</b>	17.1942 mm	21.2452 mm	24.5462 mm
<b>e am6</b>	6.758 mm	4.9419 mm	3.6198 mm

Tabla 13. Valores de los filtros del apartado 3.5.3

Valores	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
<b>a</b>	47.5488 mm	47.5488 mm
<b>b</b>	22.1488 mm	22.1488 mm
<b>e m</b>	5 mm	5 mm
<b>l1</b>	21.2119 mm	24.5223 mm
<b>e am1</b>	4.5832 mm	3.4009 mm
<b>l2</b>	16.6837 mm	21.7684 mm
<b>e am2</b>	8.066 mm	5.7784 mm
<b>l3</b>	14.4646 mm	20.0136 mm
<b>e am3</b>	9.8564 mm	7.0789 mm
<b>l4</b>	14.4646 mm	20.0136 mm
<b>e am4</b>	9.8564 mm	7.0789 mm
<b>l5</b>	16.6837 mm	21.7684 mm
<b>e am5</b>	8.066 mm	5.7784 mm
<b>l6</b>	21.2119 mm	20.5223 mm
<b>e am6</b>	4.5832 mm	3.4009 mm

Tabla 14. Valores de los filtros del apartado 3.6.1.1

Valores	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
<b>a</b>	47.5448 mm	47.5448 mm
<b>b</b>	22.1488 mm	22.1488 mm
<b>e m</b>	5 mm	5 mm
<b>l1</b>	21.3142 mm	24.5562 mm
<b>e am1</b>	6.3384 mm	4.593 mm
<b>l2</b>	17.0028 mm	22.0024 mm
<b>e am2</b>	11.0654 mm	8.2306 mm
<b>l3</b>	16.9963 mm	20.3489 mm
<b>e am3</b>	11.0723 mm	10.1829 mm
<b>l4</b>	16.9963 mm	20.3489 mm
<b>e am4</b>	11.0723 mm	10.1829 mm
<b>l5</b>	17.0028 mm	22.0024 mm
<b>e am5</b>	11.0654 mm	8.2306 mm
<b>l6</b>	21.3142 mm	24.5562 mm
<b>e am6</b>	6.3384 mm	4.953 mm

Tabla 15. Valores de los filtros del apartado 3.6.1.2

Valores	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
<b>a</b>	47.5448 mm	47.5448 mm
<b>b</b>	22.1488 mm	22.1488 mm
<b>e m</b>	5 mm	5 mm
<b>l1</b>	21.2773 mm	24.5265 mm
<b>e am1</b>	5.4448 mm	4.034 mm
<b>l2</b>	16.9274 mm	21.9054 mm
<b>e am2</b>	9.6415 mm	6.8899 mm
<b>l3</b>	14.9564 mm	20.1805 mm
<b>e am3</b>	10.9075 mm	8.5657 mm
<b>l4</b>	14.9564 mm	20.1805 mm
<b>e am4</b>	10.9075 mm	8.5657 mm
<b>l5</b>	16.9264 mm	21.9054 mm
<b>e am5</b>	9.6415 mm	6.8899 mm
<b>l6</b>	21.2773 mm	24.5265 mm
<b>e am6</b>	5.4448 mm	4.034 mm

Tabla 16. Valores de los filtros del apartado 3.6.2.1, 3.6.2.2 y 3.6.2.3

Valores	$\Theta_c=40^\circ$ gap 5	$\Theta_c=30^\circ$ gap 10	$\Theta_c=40^\circ$ gap 10
a	47.5488 mm	47.5488 mm	47.5488 mm
b	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
e m	5 mm	5 mm	5 mm
gap	10 mm	10 mm	10 mm
l1	22.1639 mm	22.7129 mm	24.211 mm
e am1	6.0718 mm	7.441 mm	4.4782 mm
l2	22.1639 mm	22.7129 mm	24.211 mm
e am2	10.3139 mm	11.0723 mm	7.6516 mm
l3	22.1693 mm	22.7129 mm	24.211 mm
e am3	11.0723 mm	11.0723 mm	9.3444 mm
l4	22.1639 mm	22.7129 mm	24.211 mm
e am4	11.0723 mm	11.0723 mm	9.3444 mm
l5	22.1639 mm	22.7129 mm	24.211 mm
e am5	10.3139 mm	11.0723 mm	7.6516 mm
l6	22.1639 mm	22.7129 mm	24.211 mm
e am6	6.0718 mm	7.441 mm	4.4782 mm

Tabla 17. Valores de los filtros del apartado 3.6.3.1 y 3.6.3.2

Valores	$\Theta_c=30^\circ$ er7.5	$\Theta_c=40^\circ$ er7.5	$\Theta_c=40^\circ$ er10
a	47.5448 mm	47.5448 mm	47.5448 mm
b	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
e m	3 mm	3 mm	3 mm
l1	24.6102 mm	21.4366 mm	24.6124 mm
e am1	4.3086 mm	5.9401 mm	3.9629 mm
l2	22.1811 mm	17.0645 mm	22.0942 mm
e am2	7.6737 mm	10.7102 mm	6.8492 mm
l3	20.28 mm	16.2745 mm	20.387 mm
e am3	9.797 mm	11.0723 mm	8.539 mm
l4	20.28 mm	16.2745 mm	20.387 mm
e am4	9.797 mm	11.0723 mm	8.539 mm
l5	22.1811 mm	17.0645 mm	22.0942 mm
e am5	7.6737 mm	10.7102 mm	6.8492 mm
l6	24.6102 mm	21.4366 mm	24.6124 mm
e am6	4.3086 mm	5.9401 mm	3.9629 mm

Tabla 18. Valores de los filtros del apartado 3.7.1

Valores	$\Theta_c=20^\circ$	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
a	47.5448 mm	47.5448 mm	47.5448 mm
b	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
e m	2 mm	2 mm	2 mm
l1	17.3762 mm	21.3465 mm	22.1468 mm
e am1	14.791 mm	10.335 mm	7.2431 mm
l2	13.3792 mm	17.0442 mm	22.0114 mm
e am2	22.1467 mm	19.8448 mm	13.5856 mm
l3	13.3792 mm	15.4241 mm	20.3391 mm
e am3	22.1467 mm	22.1467 mm	17.3247 mm
l4	13.3792 mm	15.4241 mm	20.3391 mm
e am4	22.1467 mm	22.1467 mm	17.3247 mm
l5	13.3792 mm	17.0442 mm	22.0114 mm
e am5	22.1467 mm	19.8448 mm	13.5856 mm
l6	17.3762 mm	21.3465 mm	22.1468 mm
e am6	14.791 mm	10.335 mm	7.2431 mm

Tabla 19. Valores de los filtros del apartado 3.7.2

Valores	$\Theta_c=20^\circ$	$\Theta_c=30^\circ$	$\Theta_c=40^\circ$
a	47.5448 mm	47.5448 mm	47.5448 mm
b	22.1488 mm	22.1488 mm	22.1488 mm
e m	2 mm	2 mm	2 mm
l1	17.356 mm	21.345 mm	22.1468 mm
e am1	12.1505 mm	8.7109 mm	6.1781 mm
l2	11.4759 mm	16.9937 mm	21.9722 mm
e am2	21.6491 mm	16.3354 mm	11.2466 mm
l3	10.8763 mm	14.7684 mm	20.2784 mm
e am3	22.1467 mm	20.0744 mm	14.202 mm
l4	10.8763 mm	14.7684 mm	20.2784 mm
e am4	22.1467 mm	20.0744 mm	14.202 mm
l5	11.4759 mm	16.9937 mm	21.9722 mm
e am5	21.6491 mm	16.3354 mm	11.2466 mm
l6	17.3566 mm	21.345 mm	22.1468 mm
e am6	12.1505 mm	8.7109 mm	6.1781 mm

Tabla 20. Valores de los filtros del apartado 3.7.3

Valores	$\Theta_c=30^\circ$ er10	$\Theta_c=30^\circ$ er20
<b>a</b>	47.5448 mm	47.5448 mm
<b>b</b>	22.1488 mm	22.1488 mm
<b>e m</b>	2 mm	2 mm
<b>l1</b>	21.3163 mm	21.1375 mm
<b>e am1</b>	8.0056 mm	6.8552 mm
<b>l2</b>	16.8902 mm	18.2131 mm
<b>e am2</b>	14.5414 mm	19.6015 mm
<b>l3</b>	14.6628 mm	16.2789 mm
<b>e am3</b>	18.0556 mm	20.1236 mm
<b>l4</b>	14.6628 mm	16.2789 mm
<b>e am4</b>	18.0556 mm	20.1236 mm
<b>l5</b>	16.8902 mm	18.2131 mm
<b>e am5</b>	14.5414 mm	19.6015 mm
<b>l6</b>	21.3163 mm	21.1375 mm
<b>e am6</b>	8.0056 mm	6.8552 mm

## 5 CONCLUSIÓN

En este apartado vamos a hacer unas breves conclusiones de nuestro proyecto, con el fin de dejar unas reflexiones sobre lo que hemos estudiado en este trabajo.

Antes de empezar con estas breves reflexiones, decir que, al ser una línea experimental, no teníamos seguridad de lo que los resultados que obtuviéramos fuesen satisfactorios. Se trataba de indagar más en el tema de los filtros paso bajo e intentar explicar el porqué de los fenómenos que nos iban ocurriendo.

No podemos decir que todos los resultados de este proyecto han sido satisfactorios, puesto que no todas las geometrías de filtros planteados han resultado poder realizarse de manera correcta. Por lo que, podemos determinar que hay algunas geométricas que producen una serie de resonancias que hacen inviable construir filtros paso bajo como ellos. Podemos decir, que gracias a que algunas de estas geometrías no resultaban respuestas correctas, hemos indagado en buscar soluciones y se han planteado alternativas con el fin de corregir las resonancias que se producían. Esto podría ser una futura línea de investigación para este proyecto

Cabe destacar que sí hemos conseguido obtener buenos filtros de otras de las geometrías propuestas, pudiendo estudiar en detalle cómo es su funcionamiento.

## 6 ANEXOS Y BIBLIOGRAFIA

- [1] EcuRed, «Guía de onda,» [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Gu%C3%ADa\\_de\\_onda](https://www.ecured.cu/Gu%C3%ADa_de_onda). [Último acceso: 02 09 2018].
- [2] Matlab R2015a. Herramienta de software matemático. Desarrollado por MathWorks y Cleve Moler. Autor: Cleve Moler.
- [3] HFSS 15.0. Solucionador comercial de métodos de elementos finitos para estructuras electromagnéticas.
- [4] Pons Abenza, Alejandro (2017). Diseño e implementación de filtros evanescentes para fabricación con técnicas aditivas.
- [5] Kudsia, Cameron (2007). Microwave Filters for Communication Systems OCR
- [6] Romera Pérez, Antonio (2014). Diseño de filtros pasobajo alternativos en tecnología guiada para aplicaciones de alta potencia en comunicaciones espaciales.