

# Optimización de Antenas Monopolo con algoritmos mediante Matlab

**Ana Guijarro Sanz**

Máster de Ingeniería de Telecomunicación  
Tecnologías de Antenas

**Nombre Tutor/a de TF**

Dr. Jaume Anguera Pros  
Dr. Aurora Andújar Linares

**Profesor/a responsable de la asignatura**

Dr. Germán Cobo Rodríguez

**Fecha Entrega 07/2024**

Universitat Oberta  
de Catalunya

---



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

**FICHA DEL TRABAJO FINAL**

<b>Título del trabajo:</b>	<i>Optimización de Antenas Monopolo con algoritmos mediante Matlab</i>
<b>Nombre del autor:</b>	<i>Ana Guijarro Sanz</i>
<b>Nombre del consultor/a:</b>	<i>Dr. Jaume Anguera Pros Dra. Aurora Andújar Linares</i>
<b>Nombre del PRA:</b>	<i>Dr. Germán Cobo Rodríguez</i>
<b>Fecha de entrega (mm/aaaa):</b>	<i>07/2024</i>
<b>Titulación o programa:</b>	Máster de Ingeniería de Telecomunicación
<b>Área del Trabajo Final:</b>	Tecnologías de Antenas
<b>Idioma del trabajo:</b>	<i>Castellano</i>
<b>Palabras clave</b>	<i>Optimización, Matlab, antenas</i>

**Resumen del Trabajo**

En este trabajo de fin de máster se detalla la capacidad que tiene Matlab a la hora de diseñar, simular y optimizar antenas a través de las herramientas *Antenna Designer* y *PCB Antenna Designer*.

Se ha empezado comparando los parámetros de dos antenas, la *InvertedFcoplanar* y la *InvertedLcoplanar*, para ver cuál era la que contaba con las mejores prestaciones en referencia al ancho de banda. A continuación, se optimizan los parámetros de la antena *InvertedLcoplanar* con la opción *Optimization* hasta que se obtiene el mayor ancho de banda.

Se ha continuado diseñando, simulando y optimizando una antena coplanar invertida de tipo L en la herramienta *PCB Antenna Designer* y comparar los resultados con los obtenidos anteriormente y al ver que eran peores se ha decidido añadir un *slot* a distintas posiciones y comprobar la posición con mejor ancho de banda.

Para concluir, se puede decir que Matlab es un programa con infinidad de posibilidades a la hora de diseñar y optimizar una antena para obtener el mejor ancho de banda posible.

**Abstract**

*This master's Thesis details the ability of Matlab to design, simulate and optimize antennas through the Antenna Designer and PCB Antenna Designer tools.*

*We began by comparing the parameters of two antennas, the InvertedFcoplanar and the InvertedLcoplanar, to see which one had the best*

*performance in reference to bandwidth. Next, the parameters of the InvertedLcoplanar antenna are optimized with the Optimization option until the highest bandwidth is obtained.*

*We have continued designing, simulating and optimizing an L-type inverted coplanar antenna in the PCB Antenna Designer tool and comparing the results with those obtained previously and seeing that they were worse, it was decided to add a slot to various positions and check the position with the best results. bandwidth.*

*To conclude, it can be said that Matlab is a program with infinite possibilities when it comes to designing and optimizing an antenna to obtain the best possible bandwidth.*

# Índice

1	Introducción .....	1
1.1.	Contexto y justificación del Trabajo .....	1
1.2.	Objetivos del Trabajo .....	1
1.3.	Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad .....	1
1.4.	Enfoque y método seguido .....	2
1.5.	Planificación del Trabajo .....	2
1.6.	Breve resumen de productos obtenidos .....	4
1.7.	Breve descripción de los otros capítulos de la memoria .....	4
2	Fundamentos teóricos.....	6
2.1	Definición de una antena .....	6
2.2	Ancho de banda.....	7
2.3	Parámetros S .....	7
2.4	Antenas monopolo .....	8
2.5	Parches <i>microstrip</i> .....	8
2.6	Algoritmos de optimización .....	9
3	Simulaciones <i>Antenna Designer</i> .....	10
3.1	Diseño y simulación de antena del tipo InvertedFCoplanar .....	10
3.2	Diseño y simulación de antena del tipo InvertedLCoplanar .....	12
3.3	Comparación de ambas antenas coplanares .....	14
3.4	Optimización de la antena del tipo InvertedLCoplanar .....	15
4	Simulaciones <i>PCB Antenna Designer</i> .....	20
4.1	Diseño y simulación de antena del tipo InvertedLCoplanar .....	20
4.2	Diseño y simulación de antena del tipo InvertedLCoplanar con un <i>slot</i> 30	
5	Conclusiones .....	36
6	Glosario .....	37
6.1	Definiciones .....	37
6.2	Acrónimos.....	37
7	Bibliografía.....	38
8	Anexos.....	40
8.1	Código de Matlab de una antena coplanar L invertida – Antena Designer 40	
8.2	Código de Matlab de una antena coplanar L invertida – PCB Antena Designer .....	41
8.3	Código de Matlab de una antena coplanar L invertida con <i>slot</i> .....	43

# Lista de figuras

Figura 1.5-1. Diagrama de Gantt.....	3
Figura 1.5-2. Planificación.....	3
Figura 3.1-1. Antenna Designer – coplanar F invertida .....	10
Figura 3.1-2. Coplanar F invertida – elemento .....	11
Figura 3.1-3. Coplanar F invertida – distribución de la corriente.....	11
Figura 3.1-4. Parámetro $S_{11}$ – feed en posición central .....	12
Figura 3.1-5. Parámetro $S_{11}$ – feed en extremo derecho .....	12
Figura 3.1-6. Parámetro $S_{11}$ – feed en extremo izquierdo .....	12
Figura 3.2-1. Antenna Designer – coplanar L invertida.....	12
Figura 3.2-2. Coplanar L invertida – elemento.....	13
Figura 3.2-3. Coplanar L invertida – distribución de la corriente.....	13
Figura 3.2-4. Parámetro $S_{11}$ – feed en posición central .....	14
Figura 3.2-5. Parámetro $S_{11}$ – feed en extremo derecho .....	14
Figura 3.2-6. Parámetro $S_{11}$ – feed en extremo izquierdo .....	14
Figura 3.3-1. Parámetro $S_{11}$ – antena coplanar tipo F .....	15
Figura 3.3-2. Parámetro $S_{11}$ – antena coplanar tipo L .....	15
Figura 3.4-1. Parámetro $S_{11}$ .....	16
Figura 3.4-2. Pantalla optimización .....	17
Figura 3.4-3. Resultado optimización .....	17
Figura 3.4-4. Parámetro $S_{11}$ .....	18
Figura 4.1-1. Entorno de trabajo PCB Antenna Designer .....	20
Figura 4.1-2. PCB Antenna Designer - variables de diseño .....	21
Figura 4.1-3. Dibujo <i>Rectangle1</i> .....	21
Figura 4.1-4. Propiedades del <i>Rectangle1</i> .....	21
Figura 4.1-5. Dibujo <i>Rectangle2</i> .....	22
Figura 4.1-6. Propiedades del <i>Rectangle2</i> .....	22
Figura 4.1-7. Dibujo <i>Dielectric</i> .....	22
Figura 4.1-8. Propiedades del <i>Dielectric</i> .....	22
Figura 4.1-9. Dibujo <i>Rectangle3</i> .....	23
Figura 4.1-10. Propiedades del <i>Rectangle3</i> .....	23
Figura 4.1-11. <i>Dibujo Rectangle4</i> .....	23
Figura 4.1-12. Propiedades del <i>Rectangle4</i> .....	23
Figura 4.1-13. Dibujo <i>Rectangle5</i> .....	24
Figura 4.1-14. Propiedades del <i>Rectangle5</i> .....	24
Figura 4.1-15. <i>PCB Antenna Designer</i> - variables de diseño.....	24
Figura 4.1-16. Parámetro $S_{11}$ .....	25
Figura 4.1-17. Optimización <i>PCB Antenna Designer</i> .....	25
Figura 4.1-18. Antena optimizada .....	26
Figura 4.1-19. Parámetro $S_{11}$ .....	27
Figura 4.1-20. Antena modificada .....	28
Figura 4.1-21. Parámetro $S_{11}$ .....	29
Figura 4.1-22. Distribución de la corriente .....	29
Figura 4.2-1. Dibujo <i>Rectangle6</i> .....	30
Figura 4.2-2. Propiedades del <i>Rectangle6</i> .....	30
Figura 4.2-3. Parámetro $S_{11}$ .....	31
Figura 4.2-4. Dibujo <i>Rectangle6</i> .....	31
Figura 4.2-5. Propiedades del <i>Rectangle6</i> .....	31
Figura 4.2-6. Parámetro $S_{11}$ .....	32

Figura 4.2-7. Dibujo <i>Rectangle6</i> .....	32
Figura 4.2-8. Propiedades del <i>Rectangle6</i> .....	32
Figura 4.2-9. Parámetro $S_{11}$ .....	33
Figura 4.2-10. Distribución de la corriente .....	33
Figura 4.2-11. Diseño optimizado.....	34
Figura 4.2-12. Parámetro $S_{11}$ .....	34
Figura 4.2-13. Distribución de la corriente .....	35

## Lista de tablas

Tabla 3.1-1. Parámetros por defecto .....	10
Tabla 3.2-1. Parámetros por defecto .....	13
Tabla 3.4-1. Parámetros para optimizar .....	16
Tabla 3.4-2. Parámetros optimizados.....	17
Tabla 3.4-3. Valores obtenidos - feed en posición central .....	18
Tabla 3.4-4. Valores obtenidos - feed en extremo derecho .....	19
Tabla 4.1-1. Parámetros optimizados.....	26
Tabla 4.1-2. Parámetros antena.....	28



# 1 Introducció

## 1.1. Contexto y justificación del Trabajo

Este trabajo de fin de máster surge de la necesidad de valorar el potencial que ofrece Matlab de cara a diseñar, simular y optimizar diferentes tipos de antenas a través de las herramientas *Antenna Designer* y *PCB Antenna Designer*.

A día de hoy hay multitud de programas, aplicaciones y/o herramientas que permiten caracterizar antenas y optimizarlas, sin embargo, su empleo está muy restringido debido a los costes económicos de dichos programas o la complejidad de estos.

Debido a esto se plantea el uso de Matlab, ya que cuenta con un entorno de fácil manejo con gran capacidad de análisis, tiene un lenguaje propio y una accesibilidad a toda la comunidad educativa universitaria.

## 1.2. Objetivos del Trabajo

Los objetivos de este Trabajo Fin de Máster son:

- La simulación mediante la herramienta *Antenna Designer* de Matlab de antenas coplanares y la caracterización de distintos tipos de antenas.
- La comparación del ancho de banda entre las antenas InvertedFcoplanar [1] e InvertedLcoplanar [2] simuladas con la herramienta *Antenna Designer*.
- La simulación mediante la herramienta *PCB Antenna Designer* de Matlab de la antena coplanar invertida de tipo L y caracterizarla
- La optimización de las antenas diseñadas en las herramientas *Antenna Designer* y *PCB Antenna Designer*.
- La simulación mediante la herramienta *PCB Antenna Designer* de Matlab de la antena coplanar invertida de tipo L con un *slot* y caracterizarla
- La optimización de la antena diseñada con el *slot* en la herramienta *PCB Antenna Designer*.

## 1.3. Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad

La competencia UOC de Máster Universitario es una y se trata del Compromiso ético y global, se trata de “Actuar de forma honesta, ética, sostenible, socialmente responsable y respetuosa con los derechos humanos y la diversidad, tanto en la práctica académica como en la profesional, y diseñar soluciones para la mejora de estas prácticas” [3].

En este trabajo se da una guía de como emplear la herramienta PCB Antenna Designer para que cualquier persona que necesite usarla.

#### 1.4. Enfoque y método seguido

La estrategia llevada a cabo es conocer el entorno de trabajo, por ello se simulan las antenas *InvertedFcoplanar* e *InvertedLcoplanar* de la herramienta *Antenna Designer* de Matlab.

Se valora el uso que puede tener esta herramienta con su función optimización y se simulan las distintas opciones que ofrece obteniendo el parámetro  $S_{11}$ , el ancho de banda y la distribución de la corriente.

Se decide maximizar el valor del ancho de banda añadiendo un *slot* al plano de masa y se encontró un problema debido a que no se podía realizar con la herramienta *Antenna Designer*, por ello, se decide explorar la herramienta *PCB Antenna Designer* también de Matlab.

Se diseña la antena coplanar invertida de tipo L en dicha herramienta y se obtiene un ancho de banda a 6 dB muy bajo, debido a ello se decide añadir un *slot*.

#### 1.5. Planificación del Trabajo

Se han realizado reuniones periódicas con el fin de definir el tema e ir valorando los resultados obtenidos.

Durante las primeras semanas, el trabajo que se ha realizado han sido las lecturas de distintos *papers* y artículos [4], [5], [6], [7], [8] y [9] mediante los cuales se ha podido definir el tema de este trabajo fin de máster.

En la Figura 1.5-2 se muestra el diagrama de Gantt y la Figura 1.5-1 se indica la planificación detallada.

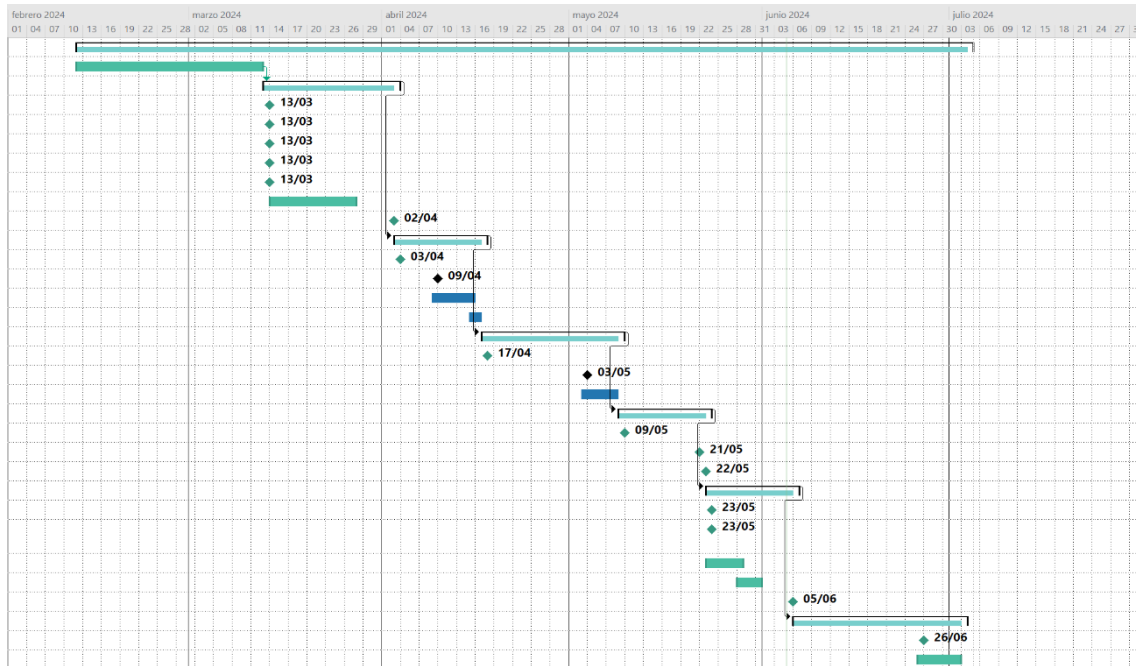


Figura 1.5-1. Diagrama de Gantt

Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Duraci	Predec	Sucesora
<b>TFM</b>	<b>lun 12/02/24</b>	<b>jue 04/07/24</b>	<b>104 días</b>		
Lectura inicial de articulos	lun 12/02/24	mar 12/03/24	22 días		3
<b>Especificación del trabajo</b>	<b>mié 13/03/24</b>	<b>mié 03/04/24</b>	<b>16 días</b>	<b>2</b>	<b>11</b>
Reunión con el tutor	mié 13/03/24	mié 13/03/24	1 día		
Planteamiento del trabajo	mié 13/03/24	mié 13/03/24	1 día		
Elección del trabajo	mié 13/03/24	mié 13/03/24	1 día		
Instalación MATLAB	mié 13/03/24	mié 13/03/24	1 día		
Instalación aplicación	mié 13/03/24	mié 13/03/24	1 día		
Aprender uso aplicación	jue 14/03/24	mié 27/03/24	10 días		
Documentación	mié 27/03/24	mar 02/04/24	5 días		
<b>Primer diseño</b>	<b>mié 03/04/24</b>	<b>mié 17/04/24</b>	<b>11 días</b>	<b>3</b>	<b>16</b>
Reunión con el tutor	mié 03/04/24	mié 03/04/24	1 día		
Diseño y simulacion antena coplanar	mié 03/04/24	mar 09/04/24	5 días		
Diseño y simulacion antena coplanar	mar 09/04/24	lun 15/04/24	5 días		
Lectura y redacción	lun 15/04/24	mar 16/04/24	2 días		
<b>Segundo diseño</b>	<b>mié 17/04/24</b>	<b>jue 09/05/24</b>	<b>17 días</b>	<b>11</b>	<b>20</b>
Reunión con el tutor	mié 17/04/24	mié 17/04/24	1 día		
Optimización antena coplanar L	mié 17/04/24	vie 03/05/24	13 días		
Lectura y redacción	vie 03/05/24	mié 08/05/24	4 días		
<b>Tercer diseño</b>	<b>jue 09/05/24</b>	<b>jue 23/05/24</b>	<b>11 días</b>	<b>16</b>	<b>24</b>
Reunión con el tutor	jue 09/05/24	jue 09/05/24	1 día		
Optimización antena coplanar L	vie 10/05/24	mar 21/05/24	8 días		
Lectura y redacción	mar 21/05/24	mié 22/05/24	2 días		
<b>Optimización final</b>	<b>jue 23/05/24</b>	<b>jue 06/06/24</b>	<b>11 días</b>	<b>20</b>	<b>30</b>
Reunión con el tutor	jue 23/05/24	jue 23/05/24	1 día		
Empleo aplicación PCB Antenna Designer	jue 23/05/24	jue 23/05/24	1 día		
Diseño antena coplanar L	jue 23/05/24	mar 28/05/24	4 días		
Optimización antena coplanar L	mar 28/05/24	vie 31/05/24	4 días		
Diseño antena coplanar L + slot	vie 31/05/24	mié 05/06/24	4 días		
<b>Redacción final</b>	<b>jue 06/06/24</b>	<b>mié 03/07/24</b>	<b>20 días</b>	<b>24</b>	
Redacción y maquetación	jue 06/06/24	mié 26/06/24	15 días		
Redacción del power point	mié 26/06/24	mar 02/07/24	5 días		

Figura 1.5-2. Planificación

## 1.6. Breve resumen de productos obtenidos

Como se puede observar en los apartados 3 y 4, este trabajo consiste en simulaciones de Matlab, por lo que los productos obtenidos son diseños, simulaciones y optimizaciones de estos.

## 1.7. Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

Este trabajo fin de máster cuenta con siete capítulos y un anexo, y son:

- **Capítulo 1: Introducción**  
Este primer capítulo sirve para contextualizar, justificar por qué y para fijar los objetivos de este trabajo. Se identifican los impactos en las tres dimensiones de la competencia transversal UOC. Se indican las estrategias para llevar a cabo el trabajo, se da una descripción de los recursos, las tareas a realizar y se da una planificación temporal de cada una de ellas y para terminar se resumen los productos obtenidos.
- **Capítulo 2: Fundamentos teóricos**  
Se realiza un pequeño resumen de la Teoría de Antenas, donde se introducen parámetros que caracterizan las antenas como pueden ser el ancho de banda o los parámetros S y se detallan las características de las antenas monopolo y los parches *microstrip*.
- **Capítulo 3: Simulaciones *Antenna Designer***  
Se simulan las antenas *InvertedFcoplanar* e *InvertedLcoplanar* y se centra en aquella que da los mejores resultados optimizándolos mediante la opción "*Optimization*" de la herramienta *Antenna Designer* hasta obtener el máximo ancho de banda a la frecuencia de diseño, 900 MHz.
- **Capítulo 4: Simulaciones *PCB Antenna Designer***  
Se traza una guía de la herramienta *PCB Antenna Designer* mientras se diseña una antena coplanar invertida de tipo L. Se obtienen su parámetro  $S_{11}$  y se optimiza hasta obtener el máximo ancho de banda a la frecuencia de diseño, 900 MHz.  
También, se añade un *slot* a para ver el comportamiento de esta antena comportamiento.
- **Capítulo 5: Conclusiones**  
Se exponen las conclusiones obtenidas en este trabajo fin de máster.
- **Capítulo 6: Glosario**  
Se detallan las definiciones y acrónimos.
- **Capítulo 7: Bibliografía**  
Se muestra la bibliografía consultada en este trabajo fin de máster.
- **Anexos**  
Se incluyen los códigos en Matlab de una antena coplanar L invertida diseñada con las herramienta *Antena Designer* y *PCB Antena Designer* y

de antena coplanar L invertida con *slot* diseñada con la herramienta *PCB Antena Designer*.

## 2 Fundamentos teóricos

### 2.1 Definición de una antena

Según la RAE una antena es un “Dispositivo de los aparatos emisores o receptores que, con formas muy diversas, sirve para emitir o recibir ondas electromagnéticas” [10].

El IEEE define antena como “*That part of a transmitting or receiving system that is designed to radiate or to receive electromagnetic waves*” [11].

Las antenas se clasifican según su geometría, comportamiento y función [12].

Según su geometría, las antenas se clasifican en:

- Antenas de hilo:  
Estructuras formadas por elementos conductores con una sección muy pequeña con respecto a la longitud de onda, un ejemplo de una antena de hilo son los dipolos o monopolos.
- Antenas planas:  
Antenas caracterizadas por presentar un perfil reducido respecto a la longitud de onda. Se clasifican en ranuras y parches *microstrip*.  
Cuando a una antena se le hace una hendidura sobre una superficie conductora, de tal modo que la parte libre de metal es la responsable de la radiación se trata de una ranura.  
Los parches *microstrip* están formados por un conductor plano metálico colocado a una cierta altura respecto a un plano de masa y separado de éste mediante un dieléctrico. La principal aplicación de las antenas planas *microstrip* se encuentra en el campo de las comunicaciones móviles.
- Antenas de apertura: bocinas, reflectores y lentes  
Las bocinas son antenas de apertura y son guías de onda en las que se ensancha la parte final con el objetivo de concentrar la potencia radiada y tener mayor directividad.

Según su comportamiento y función las antenas se clasifican en:

- Agrupaciones de antenas  
Conjunto de antenas que brindan unas prestaciones superiores a las que aportaría un elemento único
- Sistemas MIMO  
Antenas, en transmisión y en recepción, para aumentar la velocidad de transmisión de datos en un entorno de propagación múltiple.
- Antenas miniatura  
Las antenas tienen un tamaño similar a la longitud de onda de operación, por lo que, las antenas que operan a bajas frecuencias son más grandes que una a altas frecuencias.

- Antenas de banda ancha  
Antenas capaces de radiar y recibir correctamente señales de banda ancha
- Antenas multifrecuencia  
Antenas que trabajan de manera similar en varias bandas de frecuencia.

Las ondas se caracterizan a través de la ecuación:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

$\lambda$ : es la longitud de onda

$c$ : velocidad de propagación de la luz

$f$ : frecuencia de trabajo

En este caso la frecuencia es  $f = 900 \text{ MHz}$ , por lo que

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{900 \cdot 10^6} = \frac{1}{3}$$

## 2.2 Ancho de banda

El ancho de banda se refiere a el rango de frecuencias dentro del cual el coeficiente de reflexión es inferior o igual a -6 dB.

Este ancho de banda se mide en tanto por ciento

$$BW @ 6 \text{ dB} = \frac{f_{superior} - f_{inferior}}{f_{central}} \times 100$$

Donde:

$f_{central}$ : frecuencia central, en nuestro caso es entorno a los 900 MHz

$f_{superior}$ : frecuencia a la derecha de la frecuencia de trabajo

$f_{inferior}$ : frecuencia a la izquierda de la frecuencia de trabajo

## 2.3 Parámetros S

Las antenas se caracterizan como una red de dos puertos para poder analizar la respuesta general del sistema, en este trabajo fin de master se emplean los parámetros de dispersión o parámetros S.

La ventaja de los parámetros S es que se pueden emplear para todo el rango de frecuencias porque se basan en niveles de potencia que se reciben en los dos terminales.

Los parámetros S son 4, pero este trabajo fin de máster se centra en el  $S_{11}$

- $S_{11}$ : mide la potencia reflejada en comparación con la potencia que se envía en el puerto 1. El parámetro  $S_{11}$  es el coeficiente de reflexión de puerto de entrada  $\rho$ .
- $S_{12}$ : potencia recibida en el puerto 1 en comparación con la enviada por el puerto 2.
- $S_{21}$ : mide la potencia recibida en el puerto 2 en comparación con la enviada por el puerto 1.
- $S_{22}$ : mide la potencia reflejada en el puerto 2 en comparación con la cantidad de potencia que se envía del puerto 2.

## 2.4 Antenas monopolo

Una antena monopolo consiste en un elemento conductor con forma de varilla o hilo colocado sobre un plano de masa. Por tanto, el monopolo radia como un dipolo, pero, solo lo hace por encima del plano de masa.

Al estar montado en un plano de masa, el patrón de radiación de un monopolo de un cuarto de onda ( $\lambda/4$ ). La corriente que se aplica al monopolo genera ondas electromagnéticas que se propagan desde el plano de masa.

Se trata de uno de los tipos de antenas más sencillos y los hay de dos tipos de cuarto y de media onda, en monopolo de cuarto de onda la longitud del elemento radiante es  $\lambda/4$  y el monopolo de media onda la longitud es de  $\lambda/2$ .

Estos tipos de antenas cuenta con ventajas como es la sencillez, la eficiencia y la facilidad para su ajuste pero también cuentan con desventajas como es la necesidad de un plano de masa para tener un rendimiento optimo y cuenta con una directividad omnidireccional en el plano horizontal.

## 2.5 Parches *microstrip*

Las antenas *microstrip* se constituyen de un par de capas conductoras paralelas separadas de una capa dieléctrica, el sustrato. Donde la capa superior conductora es la fuente de radiación donde la energía electromagnética se extiende desde los bordes del parche hacia el sustrato y la capa superior actúa como plano de masa. Los parches suelen estar grabados sobre el sustrato dieléctrico que suele ser no magnético.

La forma las antenas *microstrip* suele ser rectangulares o cuadradas por la facilidad de diseño, análisis y fabricación y porque cuentan con una polarización cruzada baja e incluso con geometrías complejas como las fractales [13]y [14].

Estos tipos de antenas ofrecen muchas ventajas, son perfiles muy simples y económicos de fabricar empleando la tecnología de circuitos impresos. Además, los diseños se vuelven muy variables en función de frecuencia de funcionamiento, la impedancia y la polarización. Además el mecanismo de alimentación puede venir por debajo de la propia estructura conductora compactando la antena [15].



A pesar de las ventajas también hay inconvenientes. Cuentan con un ancho de banda muy bajo aunque se han desarrollado algunas mejoras para aumentar el ancho de banda: como agrandar la altura del dieléctrico o disminuir la constante dieléctrica, también cuentan con baja eficiencia o añadir elementos parásitos [16] y [17].

## 2.6 Algoritmos de optimización

Los algoritmos de optimización ofrecen funciones para hallar parámetros que minimizan o maximizan la función objetivo al tiempo que respetan restricciones.

El objetivo de la optimización es minimizar la superficie de la antena mientras se mejora la ganancia y ancho de banda de la antena.

### 3 Simulaciones *Antenna Designer*

En este apartado se presentan los resultados obtenidos mediante la herramienta de Matlab *Antenna Designer* [18].

Gracias a esta herramienta se consiguen unos diseños de antenas con unos resultados muy optimizados según el ancho de banda y la ganancia que se desee dando la información del parámetro  $S_{11}$  y de la distribución de la corriente.

Se realizan simulaciones a una frecuencia central de 900 MHz con dos tipos de antenas ambas con un plano de masa rectangular, antena coplanar de tipo F invertida y de tipo L invertida.

#### 3.1 Diseño y simulación de antena del tipo InvertedFCoplanar

Se comienza simulando la antena coplanar de tipo F invertida con los parámetros por defecto para ver cuál es el comportamiento de la antena con el *feed* en la posición central y en ambos extremos del plano de masa.

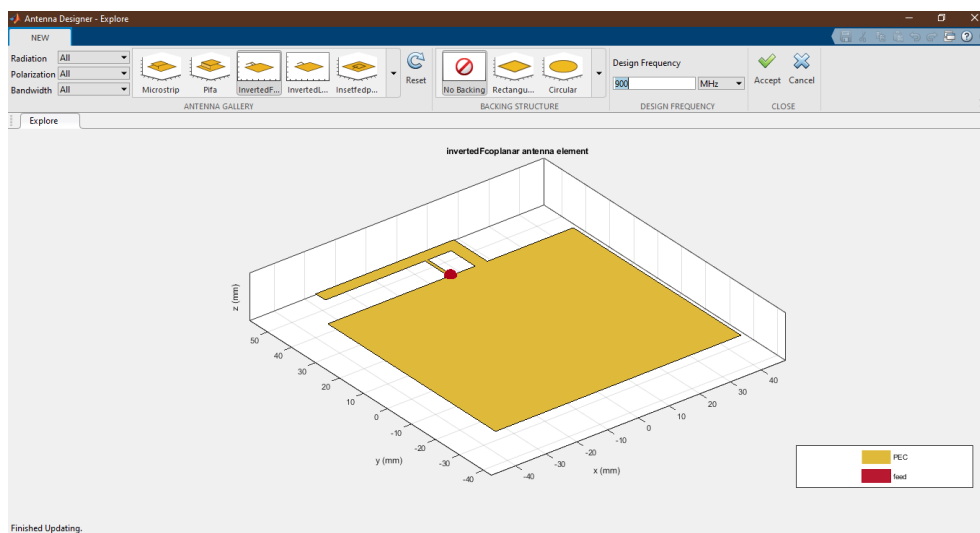


Figura 3.1-1. Antenna Designer – coplanar F invertida

En este tipo de antena se pueden variar los siguientes parámetros cuyos valores por defecto se detallan en la Tabla 3.1-1.

Tabla 3.1-1. Parámetros por defecto

Parámetro	Valor (m)
<i>Height</i> - Altura de la antena desde el plano de tierra	0.022207
<i>RadiatorArmWidth</i> - Ancho del brazo radiante	0.0037011
<i>FeederArmWidth</i> - Ancho del brazo de alimentación	0.0037011
<i>ShortingArmWidth</i> - Ancho del brazo de cortocircuito	0.0037011
<i>LengthToOpenEnd</i> - Longitud del <i>stub</i> desde la alimentación hasta el extremo abierto	0.057931

<i>LengthToShortEnd</i> - Longitud del <i>stub</i> desde la alimentación hasta el extremo del cortocircuito	0.011546
<i>GroundPlaneWidth</i> - Ancho del plano de tierra	0.1954
<i>GroundPlaneLength</i> - Longitud del plano de tierra	0.1954

La posición donde se sitúa el *feed* se varía para ver el comportamiento de la antena a las posiciones 0 m (posición central), 0.083 m (extremo derecho) y -0.094 m (extremo izquierdo). En la Figura 3.1-2 se muestra la antena con las distintas posiciones del *feed*.

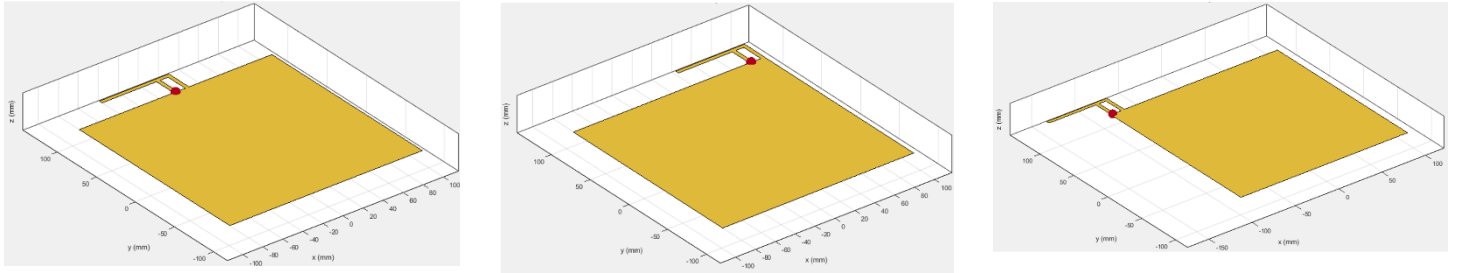


Figura 3.1-2. Coplanar F invertida – elemento

En la Figura 3.1-3 se muestran las distintas distribuciones de la corriente según la posición del *feed*.

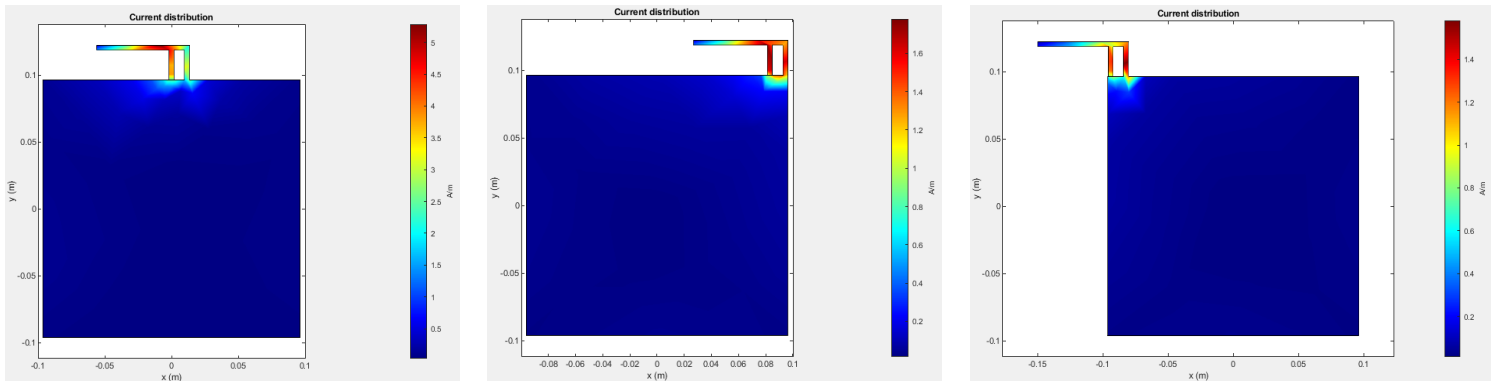


Figura 3.1-3. Coplanar F invertida – distribución de la corriente

A la hora de obtener la información de los parámetros  $S_{11}$  obtenemos que para la posición central del *feed* el ancho de banda a 6 dB es del 12.2% como se puede observar en la Figura 3.1-4, sin embargo, cuando se sitúa el *feed* en los extremos el comportamiento que se obtiene es de multibanda como se puede observar en la Figura 3.1-5 y la Figura 3.1-6.

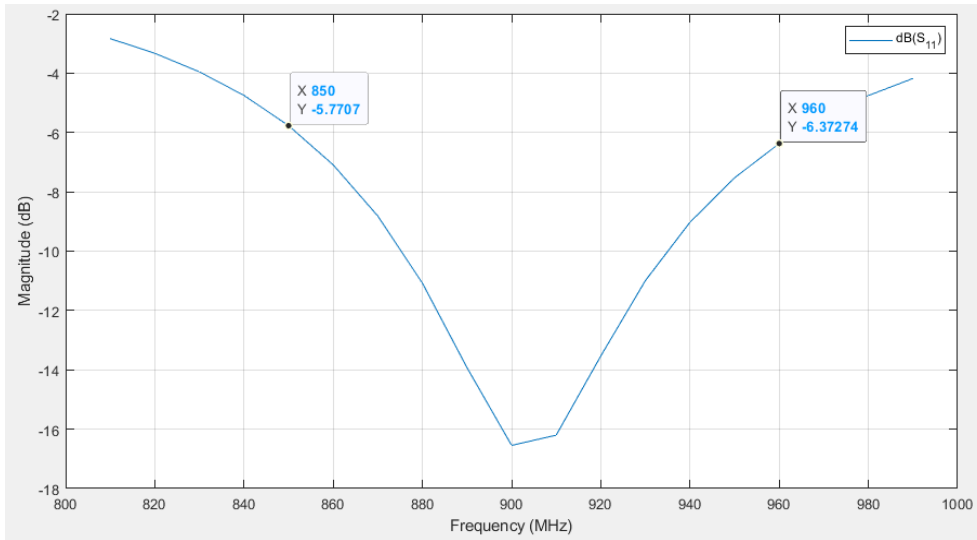


Figura 3.1-4. Parámetro  $S_{11}$  – feed en posición central

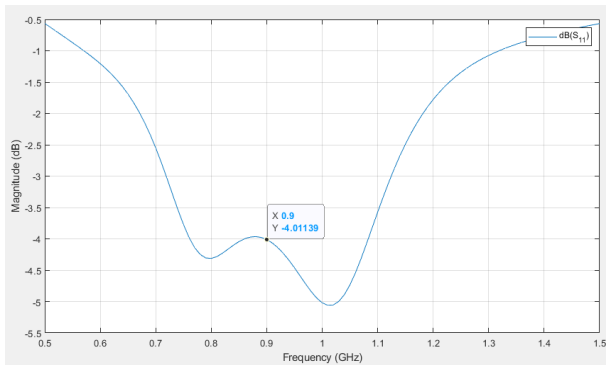


Figura 3.1-5. Parámetro  $S_{11}$  – feed en extremo derecho

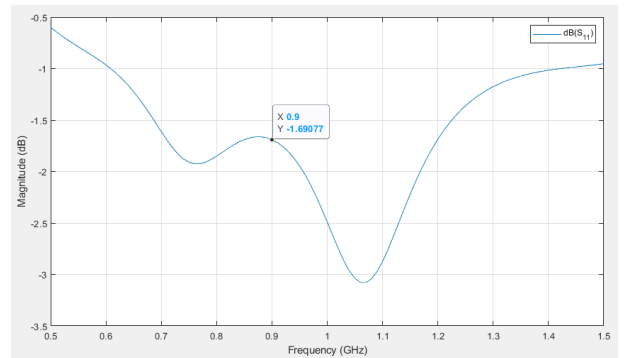


Figura 3.1-6. Parámetro  $S_{11}$  – feed en extremo izquierdo

### 3.2 Diseño y simulación de antena del tipo InvertedLcoplanar

A continuación, se simula la antena coplanar de tipo L invertida con los parámetros por defecto para ver cuál es el comportamiento de la antena con el *feed* en la posición central y en ambos extremos del plano de masa.

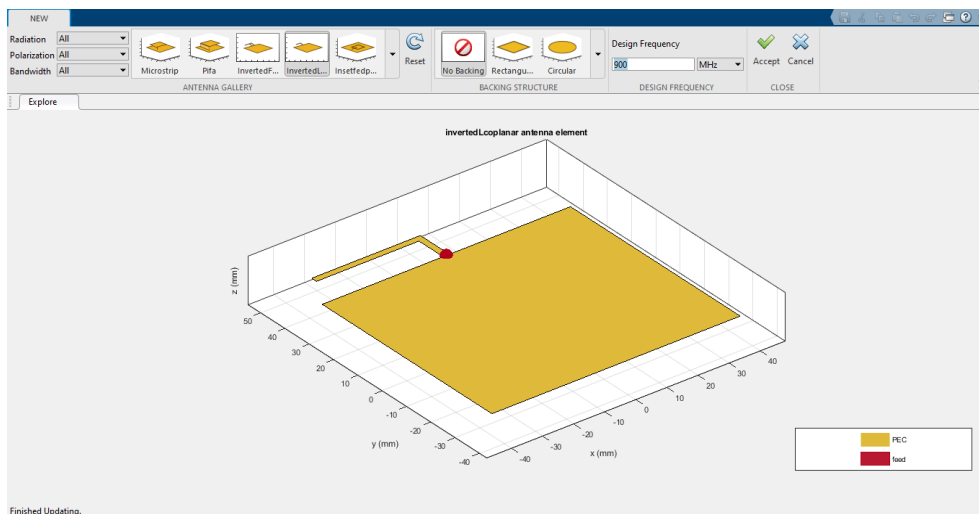


Figura 3.2-1. Antenna Designer – coplanar L invertida

En este tipo de antena se pueden variar los siguientes parámetros cuyos valores por defecto se detallan en la Tabla 3.2-1.

Tabla 3.2-1. Parámetros por defecto

Parámetro	Valor (m)
<i>Height</i> - Altura de la antena desde el plano de tierra	0.025822
<i>RadiatorArmWidth</i> - Ancho del brazo radiante	0.0036848
<i>FeederArmWidth</i> - Ancho del brazo de alimentación	0.0036848
<i>Length</i> - Longitud del stub desde la alimentación hasta el extremo abierto	0.053726
<i>GroundPlaneWidth</i> - Ancho del plano de tierra	0.18506
<i>GroundPlaneLength</i> - Longitud del plano de tierra	0.18506

La posición donde se sitúa el *feed* se varía para ver el comportamiento de la antena a las posiciones 0 (posición central), 0.09053 m (extremo derecho) y -0.09053 m (extremo izquierdo). En la Figura 3.2-2 se muestra la antena con las distintas posiciones del *feed*.

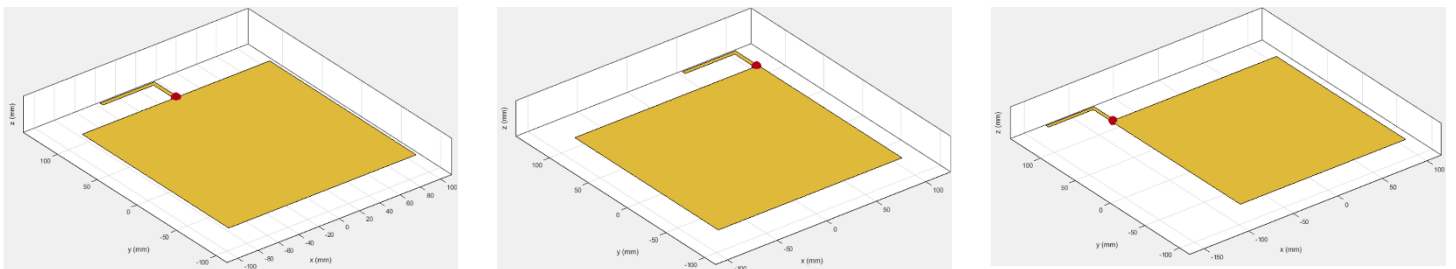


Figura 3.2-2. Coplanar L invertida – elemento

En la Figura 3.2-3 se muestran las distintas distribuciones de la corriente según la posición del *feed*.

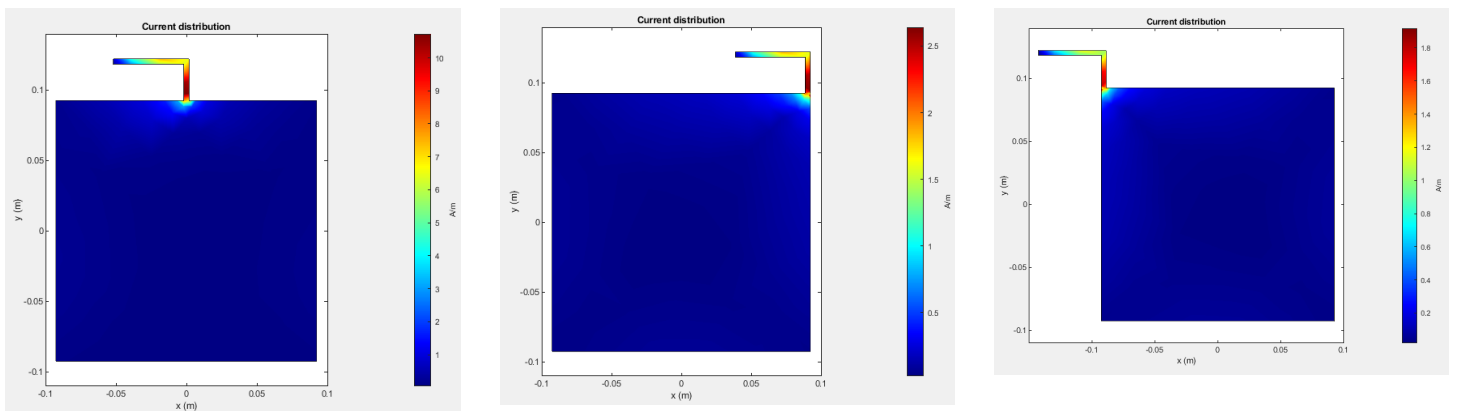


Figura 3.2-3. Coplanar L invertida – distribución de la corriente

A la hora de obtener la información de los parámetros  $S_{11}$  obtenemos que para la posición central del *feed* el ancho de banda a 6 dB es del 15.6% como se puede observar en la Figura 3.2-4, sin embargo, cuando se sitúa el *feed* en uno

de los extremos el comportamiento que se obtiene es de multibanda como se puede observar en la Figura 3.2-5 y la Figura 3.2-6.

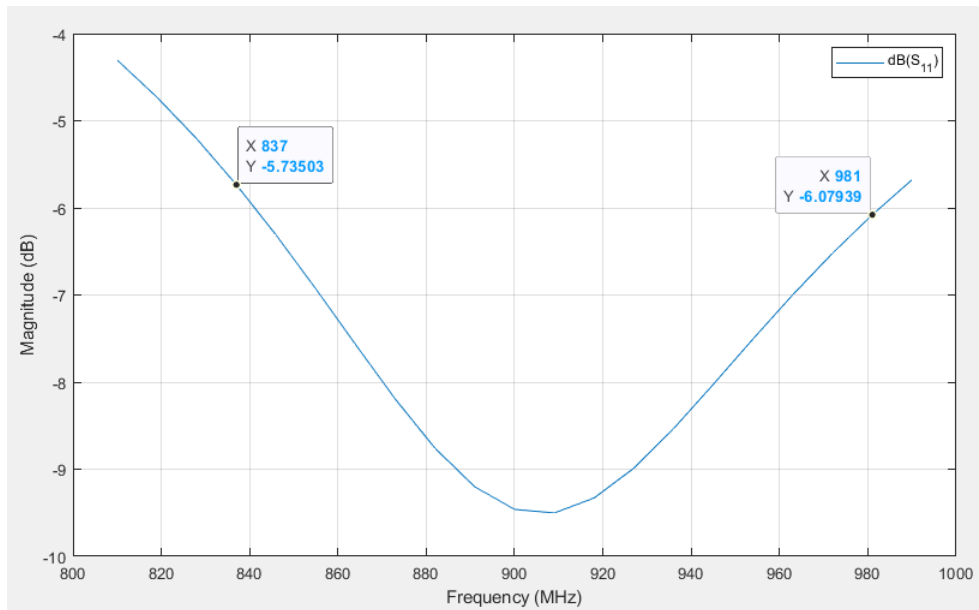


Figura 3.2-4. Parámetro  $S_{11}$  – feed en posición central

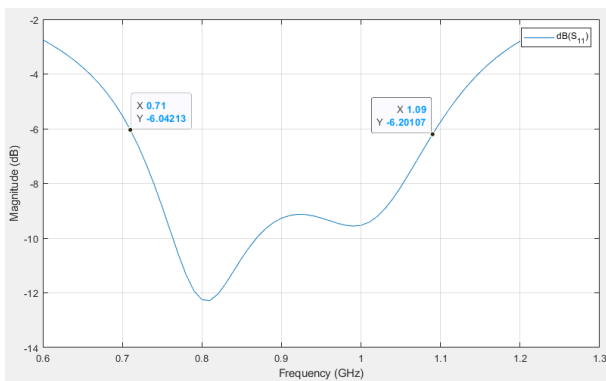


Figura 3.2-5. Parámetro  $S_{11}$  – feed en extremo derecho

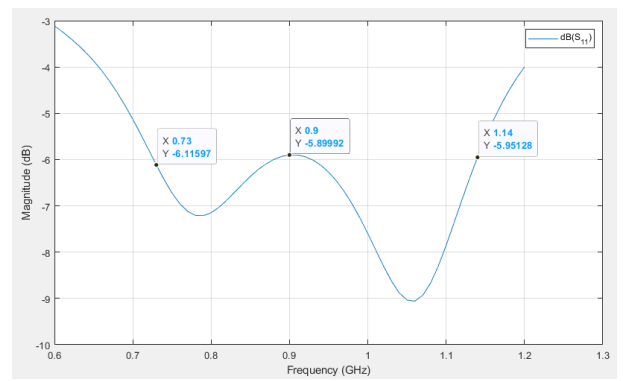


Figura 3.2-6. Parámetro  $S_{11}$  – feed en extremo izquierdo

### 3.3 Comparación de ambas antenas coplanares

Una vez se ha visto como es el comportamiento de ambas antenas se hace una comparación para saber cuál es la que cuenta con mejor ancho de banda a 6 dB, por ello se hace la simulación con los mismos datos de largo y ancho del plano de masa, 0,2 x 0,2 m.

En la Figura 3.3-1 se muestran los datos del parámetro  $S_{11}$  que se obtienen para la antena coplanar de tipo F y en la Figura 3.3-2 se muestran los datos del parámetro  $S_{11}$  que se obtienen para la antena coplanar de tipo L.

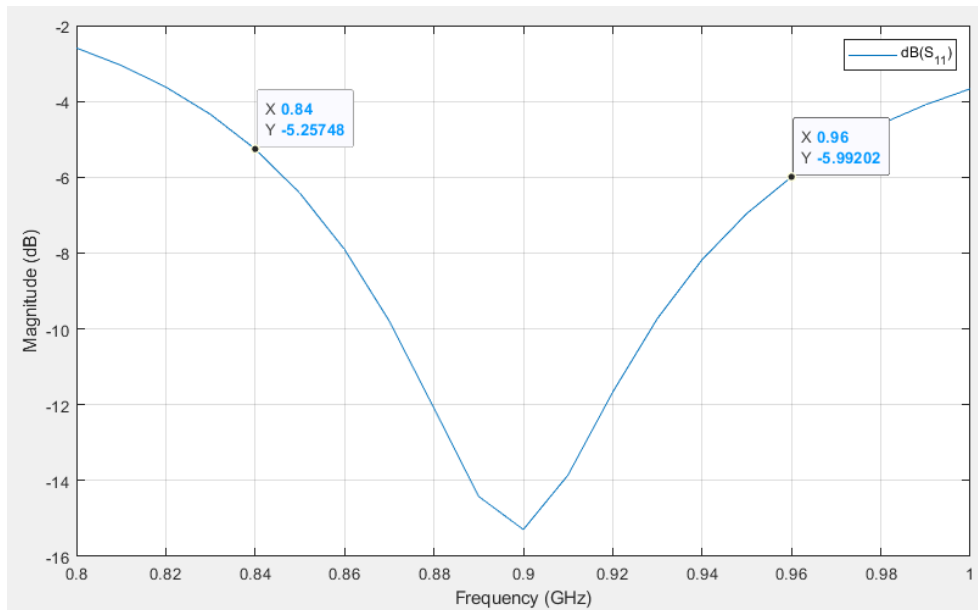


Figura 3.3-1. Parámetro  $S_{11}$  – antena coplanar tipo F

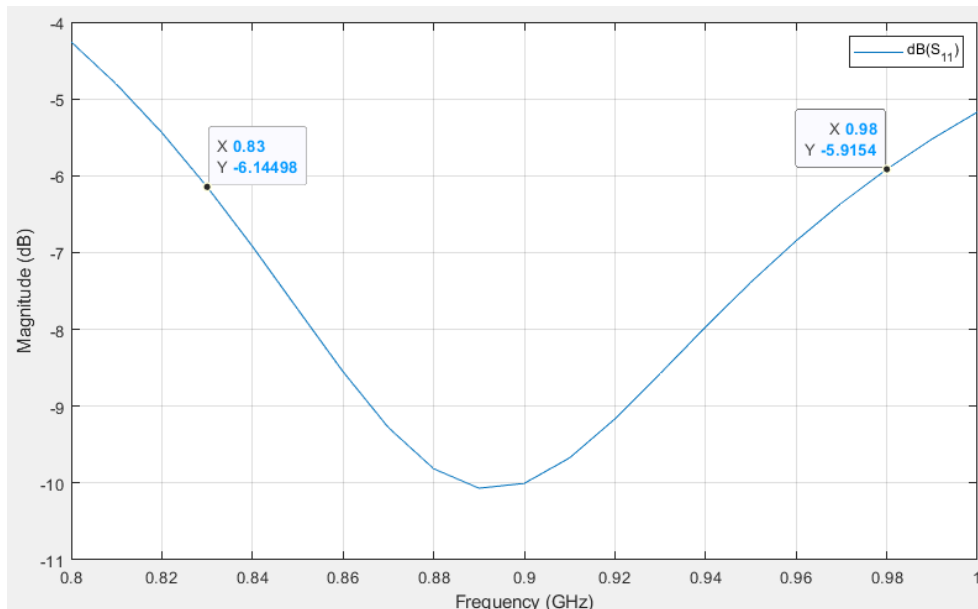


Figura 3.3-2. Parámetro  $S_{11}$  – antena coplanar tipo L

De la Figura 3.3-1 y la Figura 3.3-2 podemos calcular el ancho de banda de ambas antenas y obtenemos que para la antena tipo F el ancho de banda a 6 dB es del 12.8% y para la antena tipo L el ancho de banda a 6 dB es de 16.9%.

De estos datos se comprueba que la antena con mejores prestaciones es la antena coplanar de tipo L, por lo tanto, a partir de aquí se harán las modificaciones y optimizaciones de este tipo de antena para una frecuencia central de 900 MHz.

### 3.4 Optimización de la antena del tipo InvertedLCoplanar

La herramienta *Antenna Designer* cuenta con la función de optimización.

Con esta función se pueden variar todos los parámetros para así conseguir el mejor resultado eligiendo entre maximizar la ganancia o el ancho de banda o minimizando el ancho de banda. En este proyecto se va a emplear la funcionalidad de maximización tanto de ancho de banda como la ganancia y se pueden añadir limitaciones sobre la ganancia, parámetros  $S_{11}$ , etc.

Para probar cómo funciona la optimización partimos de los parámetros que se detallan en la Tabla 3.4-1 y obtenemos un BW @ 6dB = 14.4% como se muestran en la Figura 3.4-1.

Tabla 3.4-1. Parámetros para optimizar

Parámetro	Valor (m)
Height	0.01
RadiatorArmWidth	0.003
FeederArmWidth	0.003
Length	0.07105
GroundPlaneWidth	0.1
GroundPlaneLength	0.15
FeedOffset	0

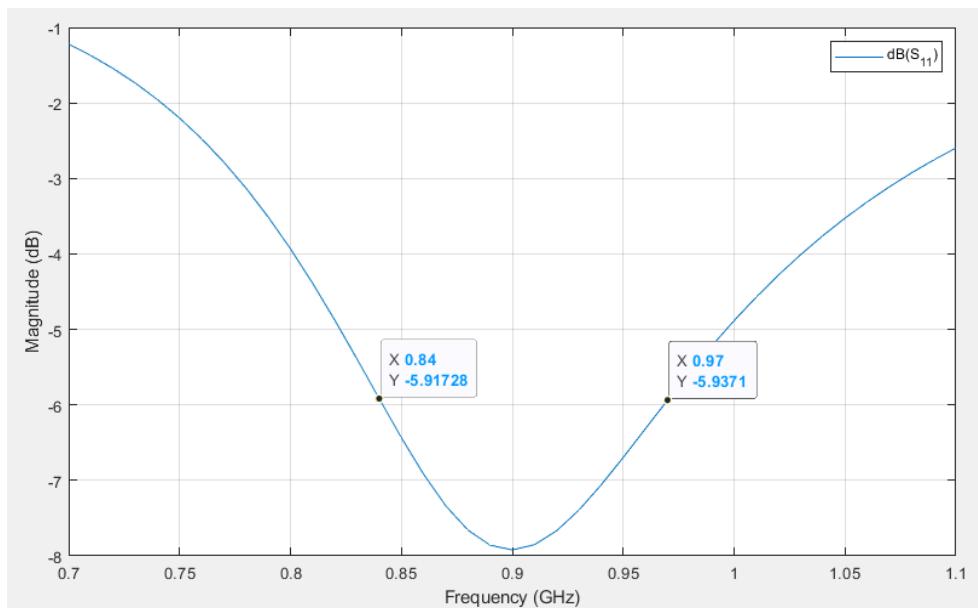


Figura 3.4-1. Parámetro  $S_{11}$



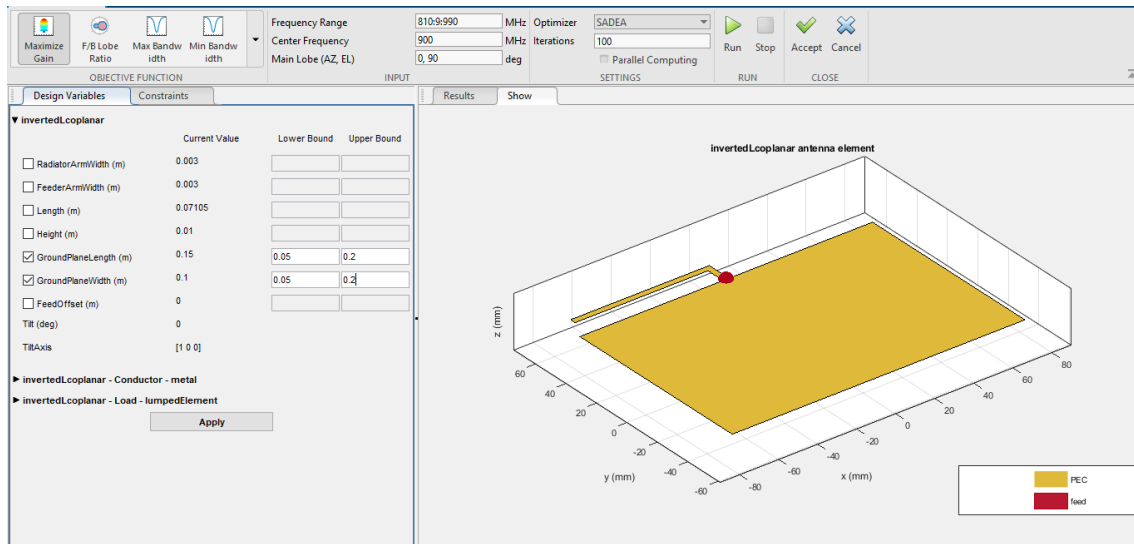


Figura 3.4-2. Pantalla optimización

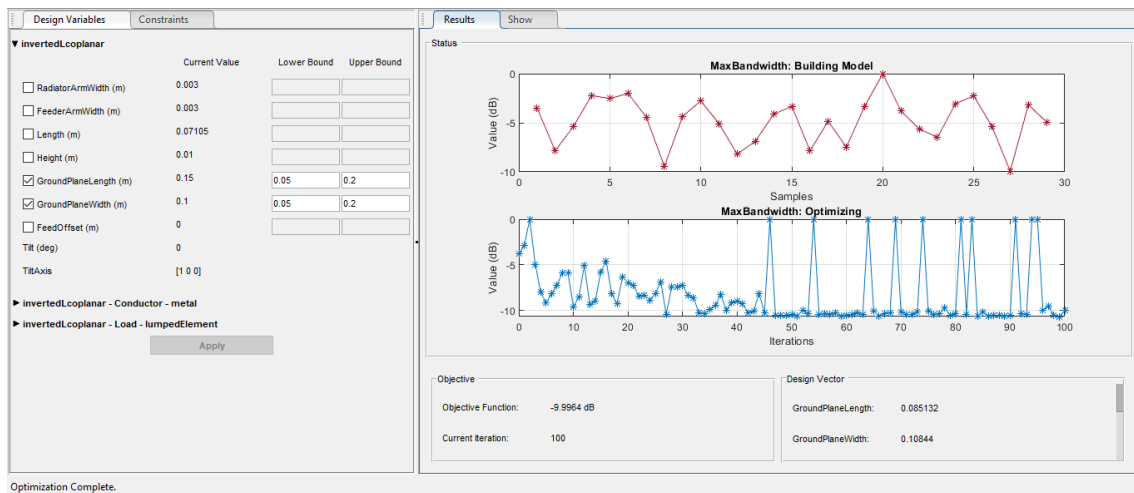


Figura 3.4-3. Resultado optimización

La Figura 3.4-2 muestra cómo se pueden seleccionar los parámetros a optimizar junto con el rango de frecuencias y lo que se va a optimizar que en este caso es el ancho de banda, la Figura 3.4-3 muestra los datos que se obtienen después de completar las iteraciones que se han configurado para optimizar. Los datos obtenidos son los mostrados en la Tabla 3.4-2 y obtenemos un BW @ 6dB = 45.5% como sacamos en la Figura 3.4-4.

Tabla 3.4-2. Parámetros optimizados

Parámetro	Valor (m)
GroundPlaneWidth	0.10844
GroundPlaneLength	0.085132

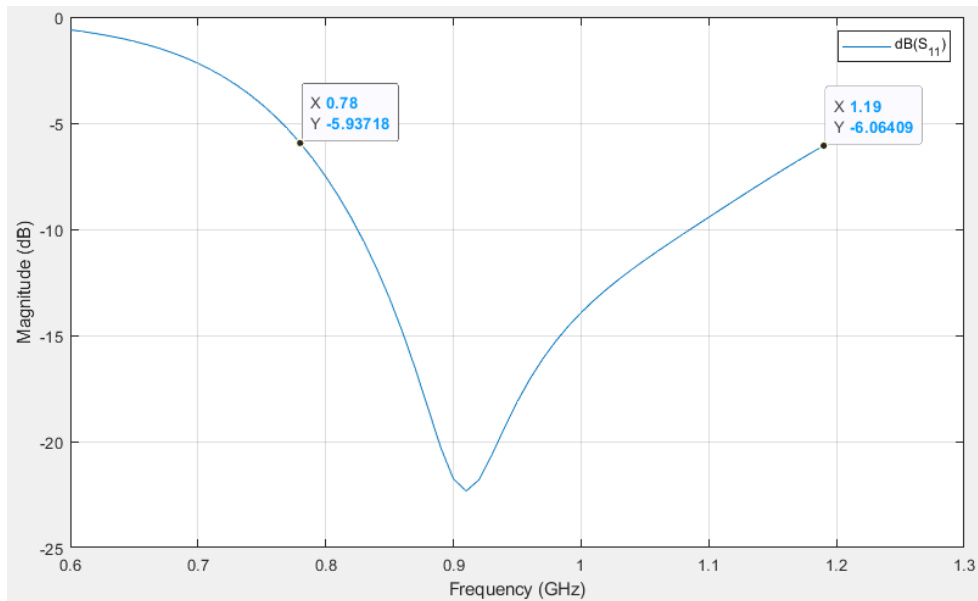


Figura 3.4-4. Parámetro S<sub>11</sub>

Se realizan distintas simulaciones variando los parámetros de la antena invertida coplanar L de los cuales se detallan los valores de los cuales el ancho de banda a 6 dB es el más alto cuando el *feed* se encuentra en la posición central del plano de masa.

Tabla 3.4-3. Valores obtenidos - feed en posición central

	Parámetros	BW @ 6dB (%)
[1]	Height = 0,01; RadiatorArmWidth = 0,003; FeederArmWidth = 0,003; Length = 0,07105; GroundPlaneWidth = 0,10844; GroundPlaneLength = 0,085132; FeedOffset = 0	45,5
[2]	Height = 0,01; RadiatorArmWidth = 0,0051345; FeederArmWidth = 0,003; Length = 0,07015; GroundPlaneWidth = 0,10844; GroundPlaneLength = 0,085132; FeedOffset = 0	50,5
[3]	Height = 0,01; RadiatorArmWidth = 0,002; FeederArmWidth = 0,001; Length = 0,07; GroundPlaneWidth = 0,10844; GroundPlaneLength = 0,085132; FeedOffset = 0	38,9
[4]	Height = 0,01; RadiatorArmWidth = 0,001; FeederArmWidth = 0,001; Length = 0,0725; GroundPlaneWidth = 0,14998; GroundPlaneLength = 0,13285; FeedOffset = 0	10.5
[5]	Height = 0,01; RadiatorArmWidth = 0,001; FeederArmWidth = 0,001; Length = 0,0725; GroundPlaneWidth = 0,1; GroundPlaneLength = 0,15; FeedOffset = 0	8.8

En la Tabla 3.4-3 se observa que para unas dimensiones del plano de masa iguales, como en [1], [2] y [3], cuando más ancho es el brazo radiante mayor es el ancho de banda.

También se observa que cuando la longitud del plano de masa es más próximo a  $\lambda/4$  mayor es el ancho de banda, en este caso  $\lambda/4 = 0.083$ , por eso en [4] y [5] el ancho de banda es tan bajo.

Se modifica la posición del *feed* al extremo derecho para que el brazo radiante este completamente dentro del plano de masa.

Tabla 3.4-4. Valores obtenidos - feed en extremo derecho

	Parámetros	BW @ 6dB (%)
[1]	Height = 0,01; RadiatorArmWidth = 0,003; FeederArmWidth = 0,003; Length = 0,0665; GroundPlaneWidth = 0,1; GroundPlaneLength = 0,15; FeedOffset = 0,074	30
[2]	Height = 0,01; RadiatorArmWidth = 0,003; FeederArmWidth = 0,003; Length = 0,0685; GroundPlaneWidth = 0,1; GroundPlaneLength = 0,1; FeedOffset = 0,032831	20
[3]	Height = 0,01; RadiatorArmWidth = 0,003; FeederArmWidth = 0,003; Length = 0,065398; GroundPlaneWidth = 0,11511; GroundPlaneLength = 0,1; FeedOffset = 0,033	28.3
[4]	Height = 0,01; RadiatorArmWidth = 0,0082767; FeederArmWidth = 0,003; Length = 0,066066; GroundPlaneWidth = 0,11973; GroundPlaneLength = 0,1; FeedOffset = 0,0012114	47.8
[5]	Height = 0,01; RadiatorArmWidth = 0,005059104; FeederArmWidth = 0,0036681; Length = 0,066066; GroundPlaneWidth = 0,11973; GroundPlaneLength = 0,1; FeedOffset = 0,041211	31.1

En la Tabla 3.4-4 se observa que para las mismas dimensiones del *feed* y brazo radiante, como en [1], [2] y [3], cuando pequeño es el plano de masa y más cercano se encuentra el *feed* a la posición central es el ancho de banda es menor.

También se observa que para unas dimensiones del plano de masa iguales y misma longitud del trozo desde la alimentación hasta el extremo abierto, como en [4] y [5], cuanto más grueso es el brazo radiante el ancho de banda es mayor.

De las simulaciones realizadas se puede concluir que para unas dimensiones del plano de masa iguales cuando más ancho es el brazo radiante mayor es el ancho de banda y que cuando la longitud del plano de masa es más próximo a  $\lambda/4$  mayor es el ancho de banda.

## 4 Simulaciones *PCB Antenna Designer*

En este apartado se presentan los resultados obtenidos mediante la herramienta de Matlab *PCB Antenna Designer*.

Gracias a esta herramienta se consiguen unos diseños de antenas en una PCB con unos resultados muy optimizados según el ancho de banda y la ganancia que se desee dando la información del parámetro  $S_{11}$  y de la distribución de la corriente.

Se realizan simulaciones a una frecuencia central de 900 MHz.

Antes de hacer el diseño de la antena, se lleva cabo los pasos de una guía [21] para ver cómo es el entorno de trabajo y ver si es posible simular las antenas en las que se centra este trabajo.

Con esta herramienta se pretende diseñar una antena coplanar invertida de tipo L para comparar los datos de ancho de banda a 6 dB y el parámetro  $S_{11}$  con los obtenidos con la herramienta *Antenna Designer* y añadir un *slot* para estudiar si los resultados obtenidos mejoran con respecto a la antena sin el *slot*.

### 4.1 Diseño y simulación de antena del tipo InvertedLCoplanar

Se simula una antena coplanar de tipo L invertida, esta antena se diseña empleando rectángulos.

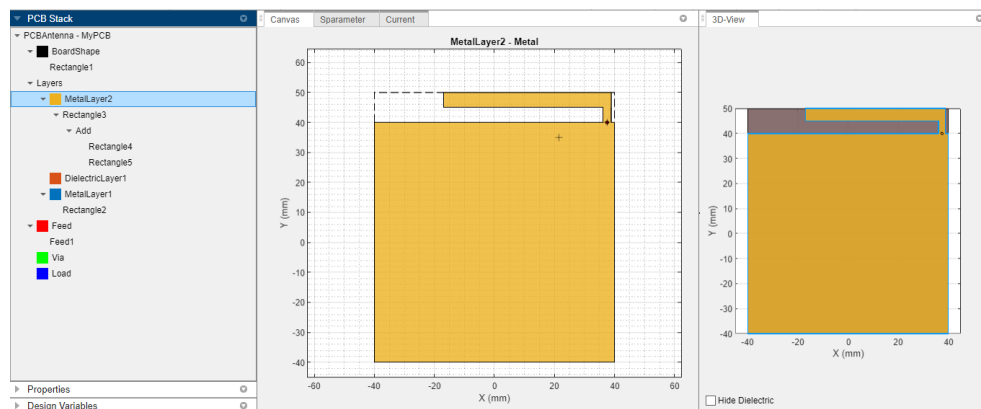


Figura 4.1-1. Entorno de trabajo PCB Antenna Designer

Para llegar a diseñar la antena de la Figura 4.1-1, se realiza los siguientes pasos:

- 1º. Se definen las variables de diseño, Figura 4.1-2, donde cada una de ellas se refiere a los parámetros de la Tabla 3.2-1.

PCB Stack			
Properties			
Design Variables			
Show Dependencies			
Name	Set Value/Expression	Derived Value	
<input type="checkbox"/> h	10	-	
<input type="checkbox"/> Wr	4.9934	-	
<input type="checkbox"/> Wf	2.8177	-	
<input type="checkbox"/> l	55.854	-	
<input type="checkbox"/> Wg	80	-	
<input type="checkbox"/> Lg	80	-	
<input type="checkbox"/> f	37.5	-	

Figura 4.1-2. PCB Antenna Designer - variables de diseño

2º. Se dibuja el primer rectángulo (*Rectangle1*), Figura 4.1-3, el que define la superficie de la PCB y los parámetros de este se muestran en la Figura 4.1-4.

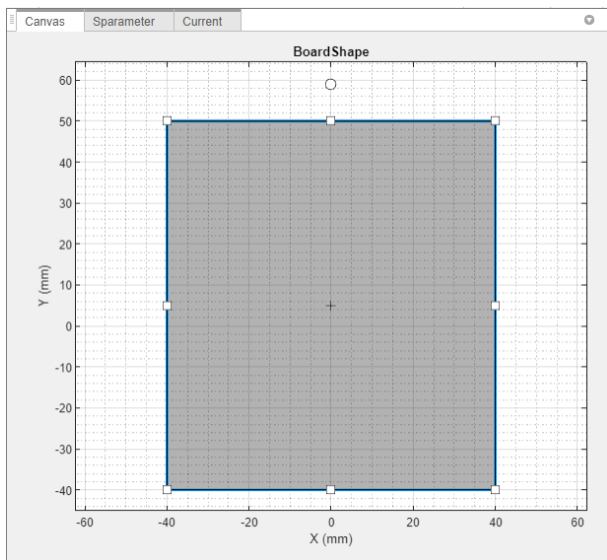


Figura 4.1-3. Dibujo *Rectangle1*

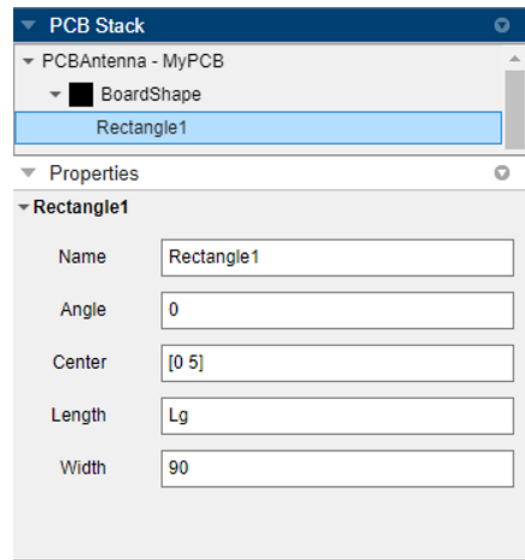


Figura 4.1-4. Propiedades del *Rectangle1*

3º. Se dibuja el segundo rectángulo (*Rectangle2*), Figura 4.1-5, el que define la superficie metálica de la PCB y los parámetros de este se muestran en la Figura 4.1-6.

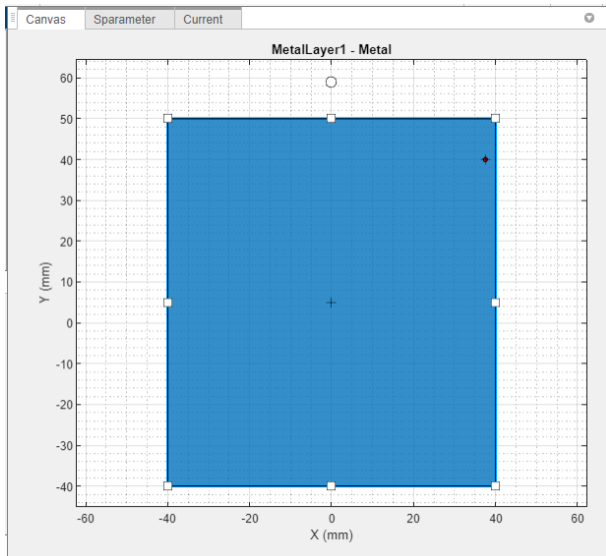


Figura 4.1-5. Dibujo *Rectangle2*

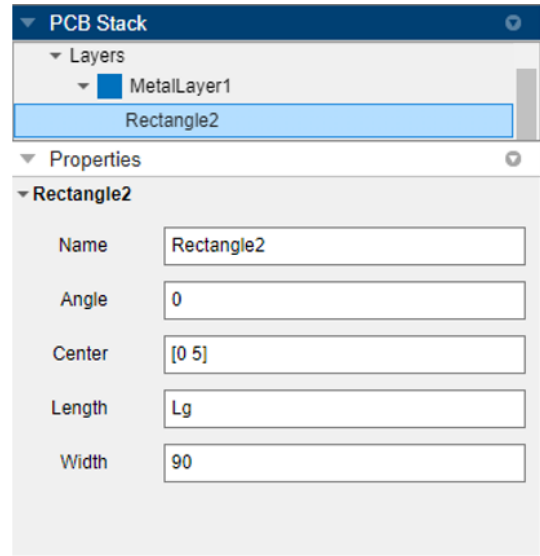


Figura 4.1-6. Propiedades del *Rectangle2*

4º. Se configura la capa del dieléctrico, Figura 4.1-7, tiene las mismas dimensiones que la superficie metálica de la PCB y los parámetros de este se muestran en la Figura 4.1-8.

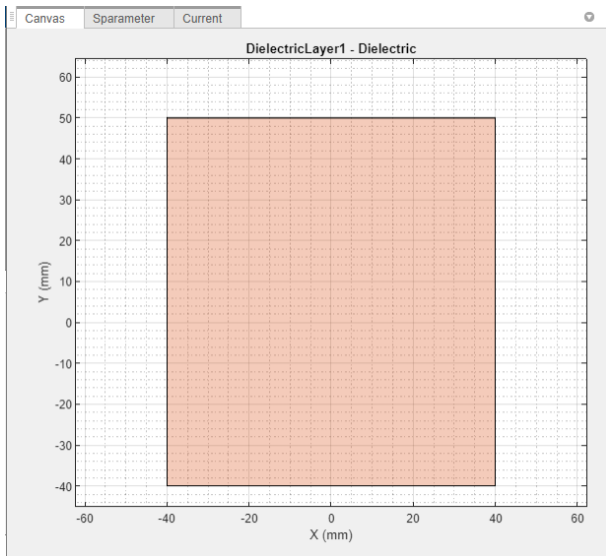


Figura 4.1-7. Dibujo *Dielectric*

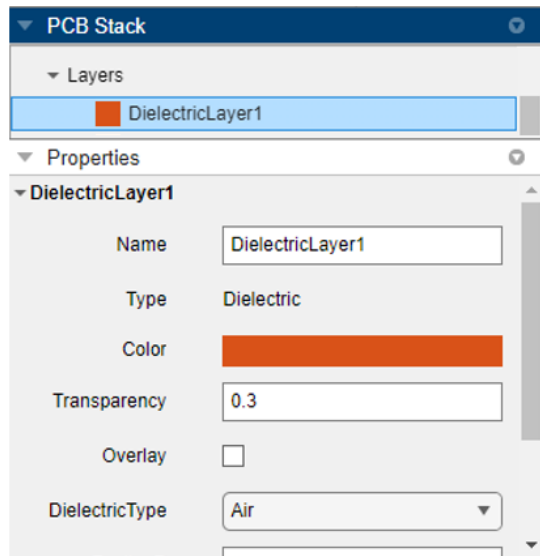


Figura 4.1-8. Propiedades del *Dielectric*

5º. Se dibuja el tercer rectángulo (*Rectangle3*), Figura 4.1-9, el que define el plano de masa de la antena y los parámetros de este se muestran en la Figura 4.1-10.

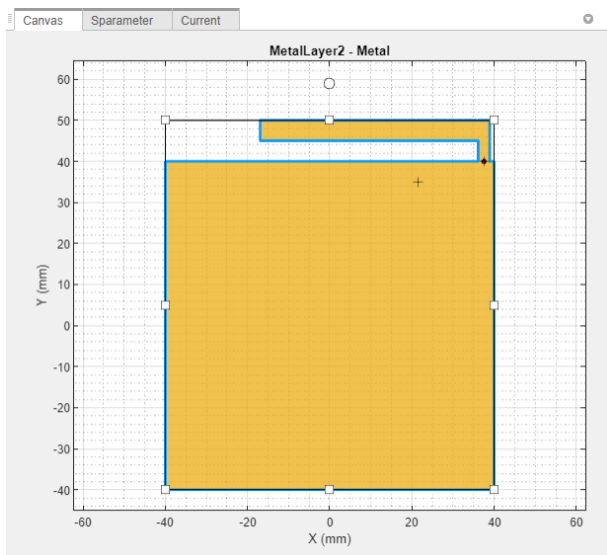


Figura 4.1-9. Dibujo *Rectangle3*

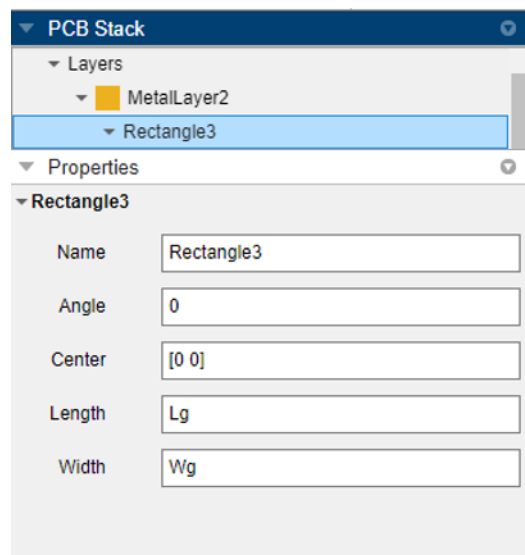


Figura 4.1-10. Propiedades del *Rectangle3*

6°. Se dibuja el cuarto rectángulo (*Rectangle4*), Figura 4.1-11, el que define el brazo de alimentación y los parámetros de este se muestran en la Figura 4.1-12.

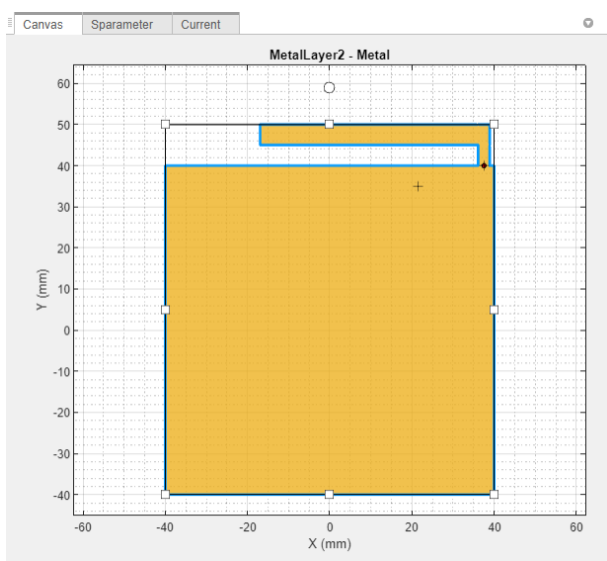


Figura 4.1-11. Dibujo *Rectangle4*

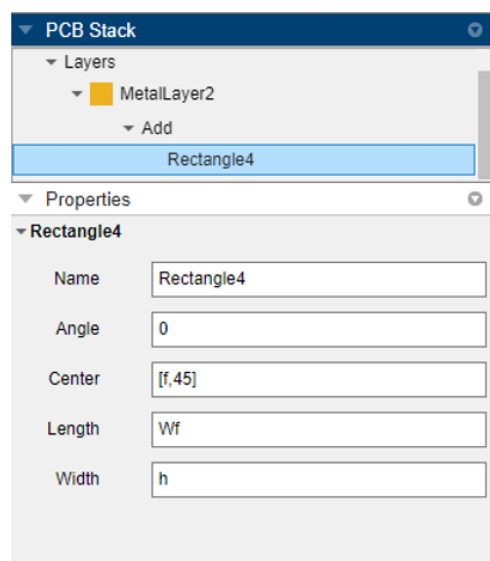


Figura 4.1-12. Propiedades del *Rectangle4*

7°. Se dibuja el último rectángulo (*Rectangle5*), Figura 4.1-13, el que define el brazo radiante y los parámetros de este se muestran en la Figura 4.1-14.

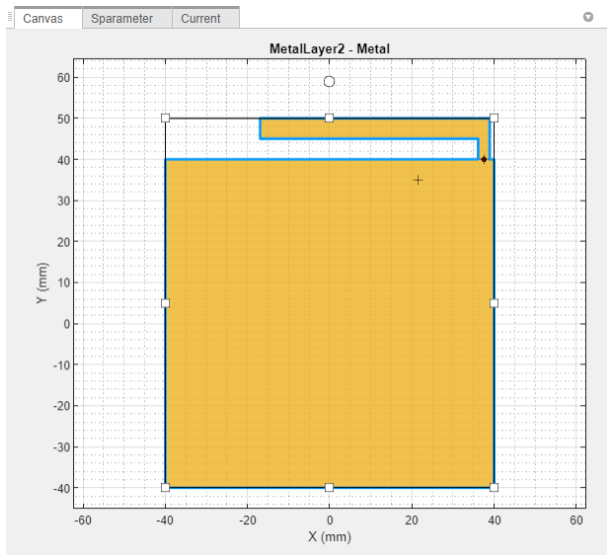


Figura 4.1-13. Dibujo *Rectangle5*

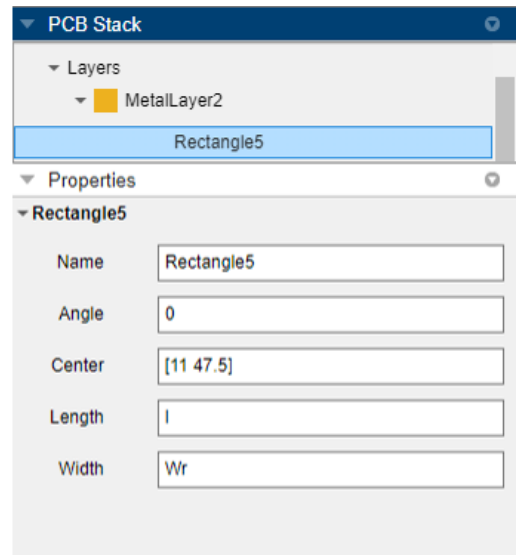


Figura 4.1-14. Propiedades del *Rectangle5*

8º. Se suman los rectángulos *Rectangle3*, *Rectangle4* y *Rectangle5* para conseguir la antena coplanar invertida de tipo L.

9º. Se define la posición del *feed*, Figura 4.1-15.

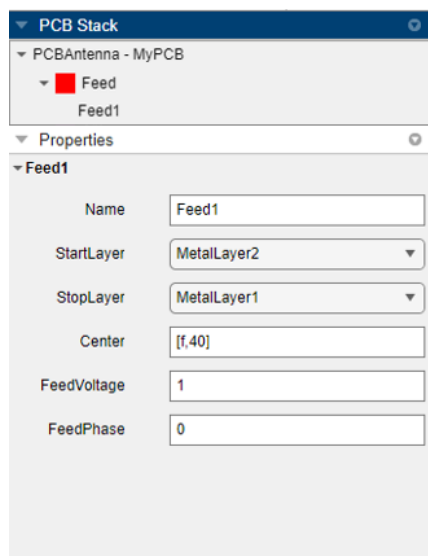


Figura 4.1-15. *PCB Antenna Designer* - variables de diseño

En la Figura 4.1-16 se muestran los datos del parámetro  $S_{11}$  que se obtienen para la antena que se ha diseñado.



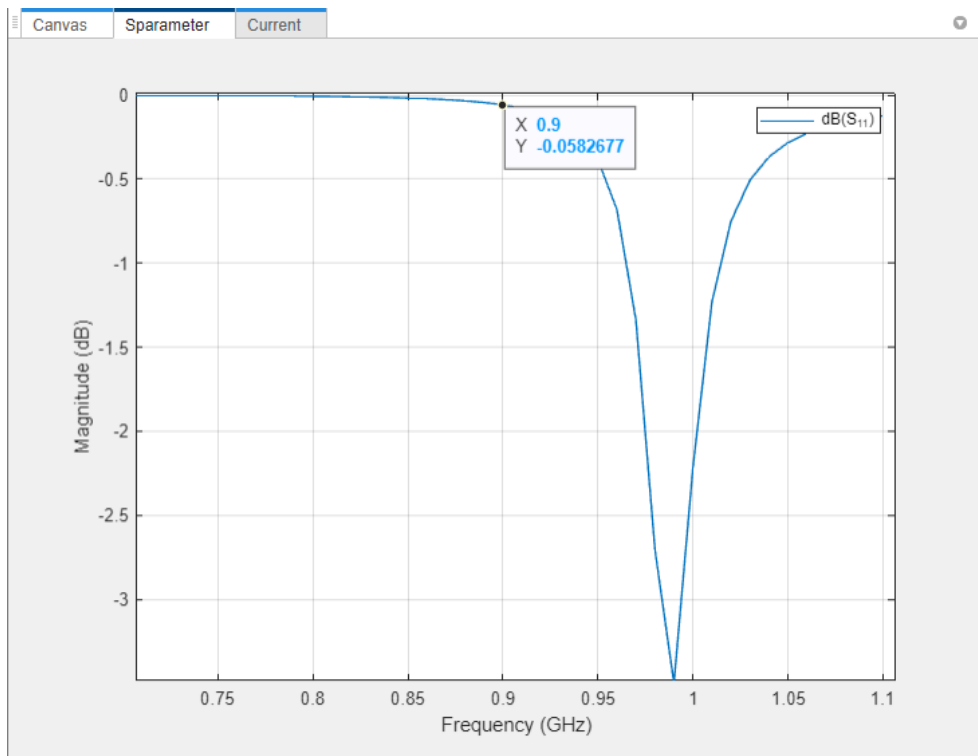


Figura 4.1-16. Parámetro  $S_{11}$

La herramienta *PCB Antenna Designer* cuenta también con la función de optimización.

Con esta función se pueden variar todos los parámetros para así conseguir el mejor resultado eligiendo entre maximizar la ganancia o el ancho de banda o minimizando el ancho de banda. En este caso, se va a emplear la funcionalidad de maximización de la ganancia y también se pueden añadir limitaciones sobre la ganancia, parámetros  $S_{11}$ , etc.

En la Figura 4.1-17 se muestra el resultado de la optimización.

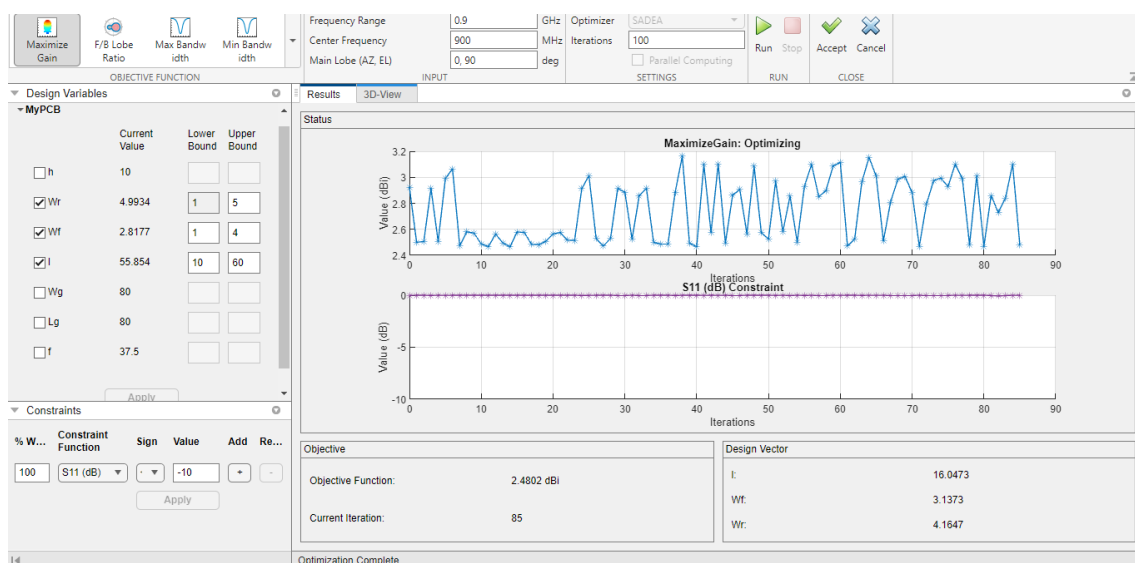


Figura 4.1-17. Optimización *PCB Antenna Designer*

Del resultado de la optimización se obtienen los parámetros de la Tabla 4.1-1 y el diseño de la antena queda según la Figura 4.1-18. Los parámetros  $S_{11}$  no cumplen con la especificación de ancho de banda a 6 dB como se observa en la Figura 4.1-19.

Tabla 4.1-1. Parámetros optimizados

Parámetro	Valor (m)
<i>Height</i>	0.01
<i>RadiatorArmWidth</i>	0.0041647
<i>FeederArmWidth</i>	0.0031373
<i>Length</i>	0.0160473
<i>GroundPlaneWidth</i>	0.08
<i>GroundPlaneLength</i>	0.08
<i>FeedOffset</i>	0.0375

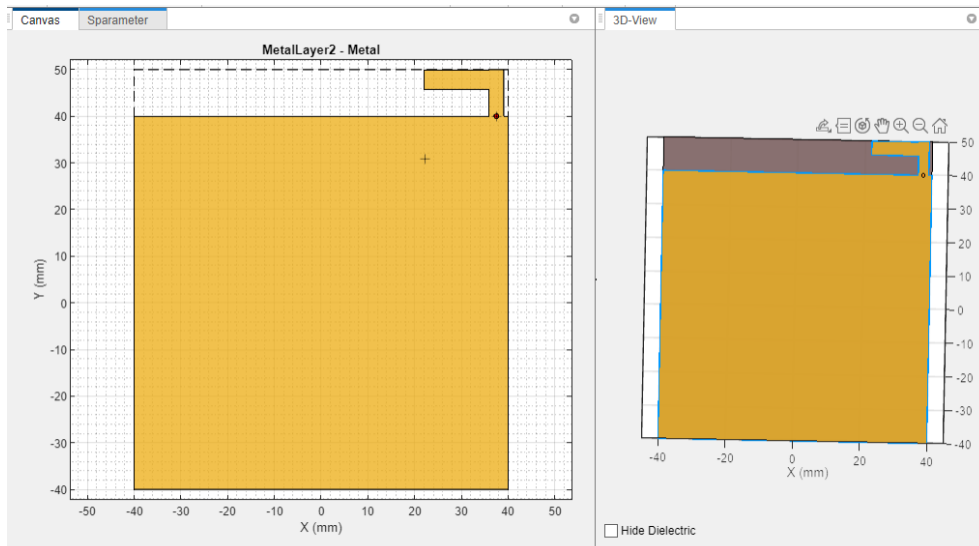


Figura 4.1-18. Antena optimizada

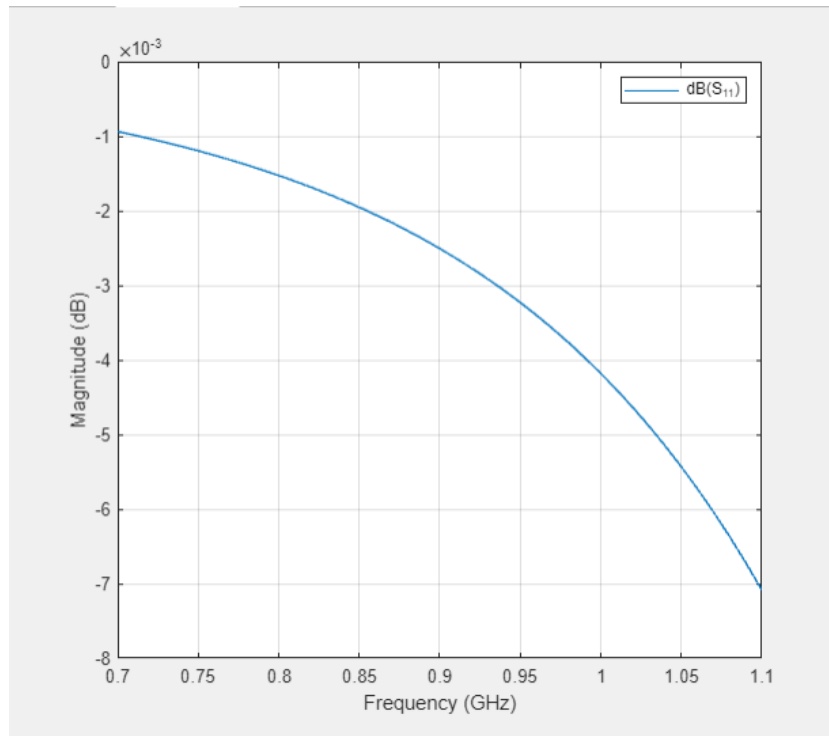


Figura 4.1-19. Parámetro S<sub>11</sub>

Se decide variar los parámetros de la longitud del *stub* desde la alimentación hasta el extremo abierto y los anchos del brazo radiante y de alimentación a unos valores parecidos a los del apartado [2] de la Tabla 3.4-3 y se obtienen los siguientes resultados:

La antena queda definida como se muestra en la Tabla 4.1-2 y Figura 4.1-20.

Tabla 4.1-2. Parámetros antena

Parámetro	Valor (m)
<i>Height</i>	0.01
<i>RadiatorArmWidth</i>	0.003
<i>FeederArmWidth</i>	0.0031373
<i>Length</i>	0.0645
<i>GroundPlaneWidth</i>	0.08
<i>GroundPlaneLength</i>	0.08
<i>FeedOffset</i>	0.0375

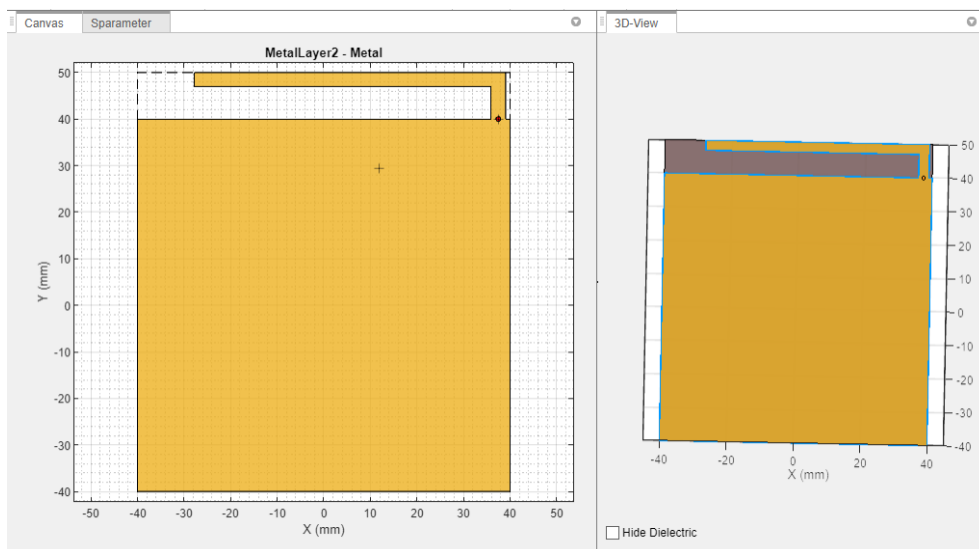


Figura 4.1-20. Antena modificada

En la Figura 4.1-21 se muestran los datos del parámetro  $S_{11}$  que se obtienen para la antena coplanar de tipo L diseñada y obtenemos un  $BW @ 6dB = 0.9\%$ .

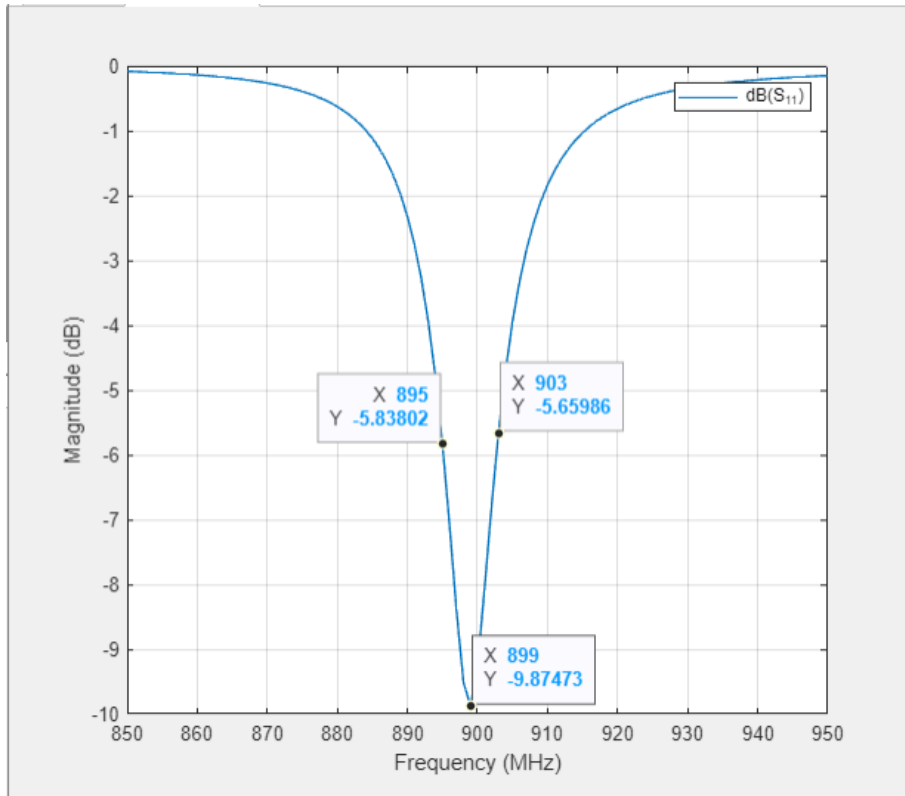


Figura 4.1-21. Parámetro  $S_{11}$

En la Figura 4.1-22 se muestra la distribución de la corriente.

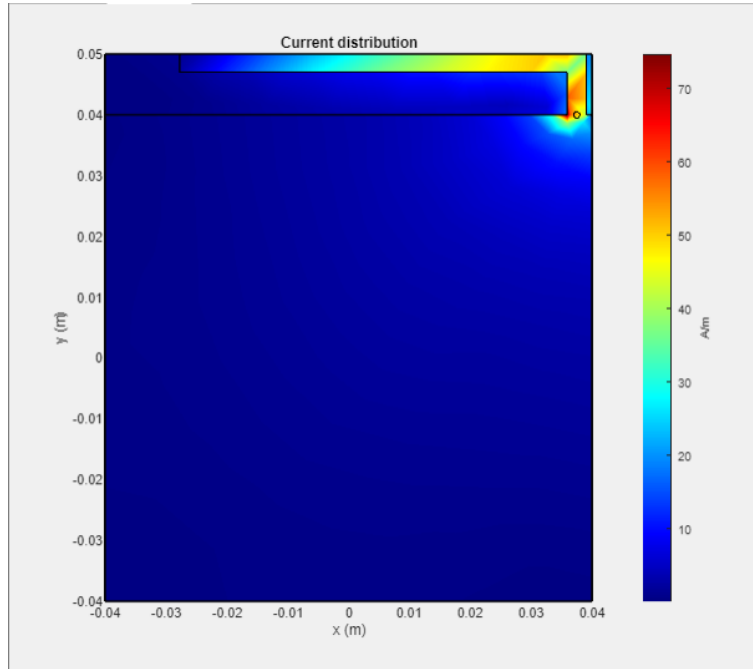


Figura 4.1-22. Distribución de la corriente

Si se comparan los datos conseguidos en la Figura 4.1-21 con los de la Tabla 3.4-4 y se observa que el ancho de banda que se obtiene con la herramienta *PCB Antenna Designer* es muy inferior al de *Antenna Designer*.

Para mejorar estos datos se decide añadir un *slot* al plano de masa.

## 4.2 Diseño y simulación de antena del tipo InvertedLCoplanar con un *slot*

En este apartado se estudiará la posición óptima a la que situar el *slot* para mejorar el ancho de banda obtenido en el apartado anterior.

El *slot* que se diseña es de 40 x 5 mm y se sitúan en tres posiciones, arriba, en medio y abajo del plano de masa. Para obtener el diseño, se dibuja un rectángulo (*Rectangle6*) y se sustrae de los rectángulos *Rectangle3*, *Rectangle4* y *Rectangle5*.

La primera simulación se realiza con el *slot* en la parte superior del plano de masa como se muestra en la Figura 4.2-1, y los parámetros de este se muestran en la Figura 4.2-2.

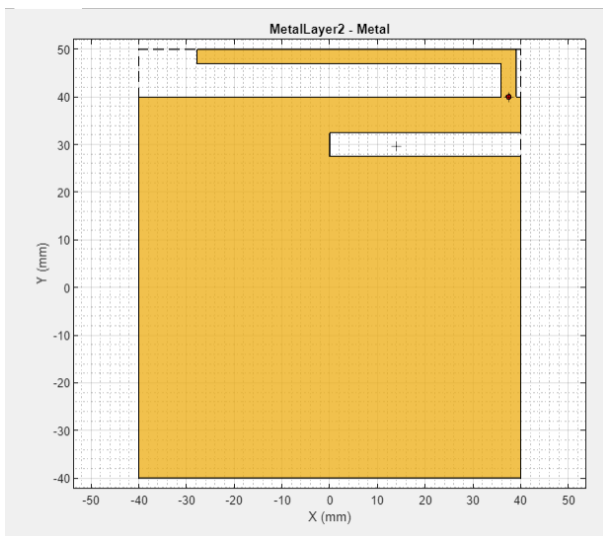


Figura 4.2-1. Dibujo *Rectangle6*

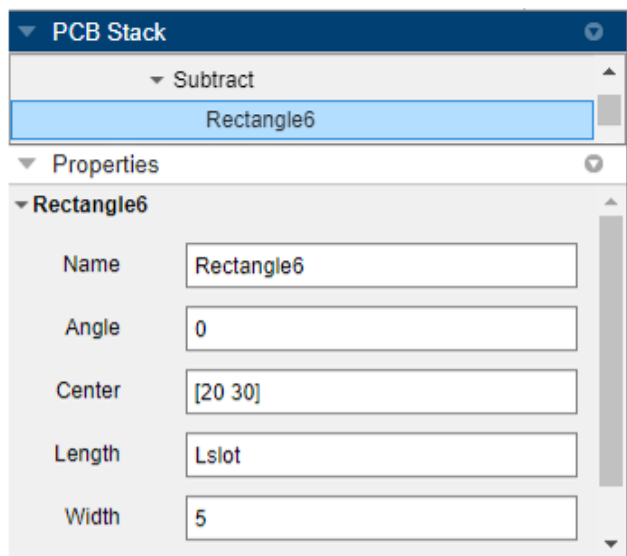


Figura 4.2-2. Propiedades del *Rectangle6*

En la Figura 4.2-3 se muestran los datos del parámetro  $S_{11}$  que se obtienen y se puede observar un comportamiento multibanda.

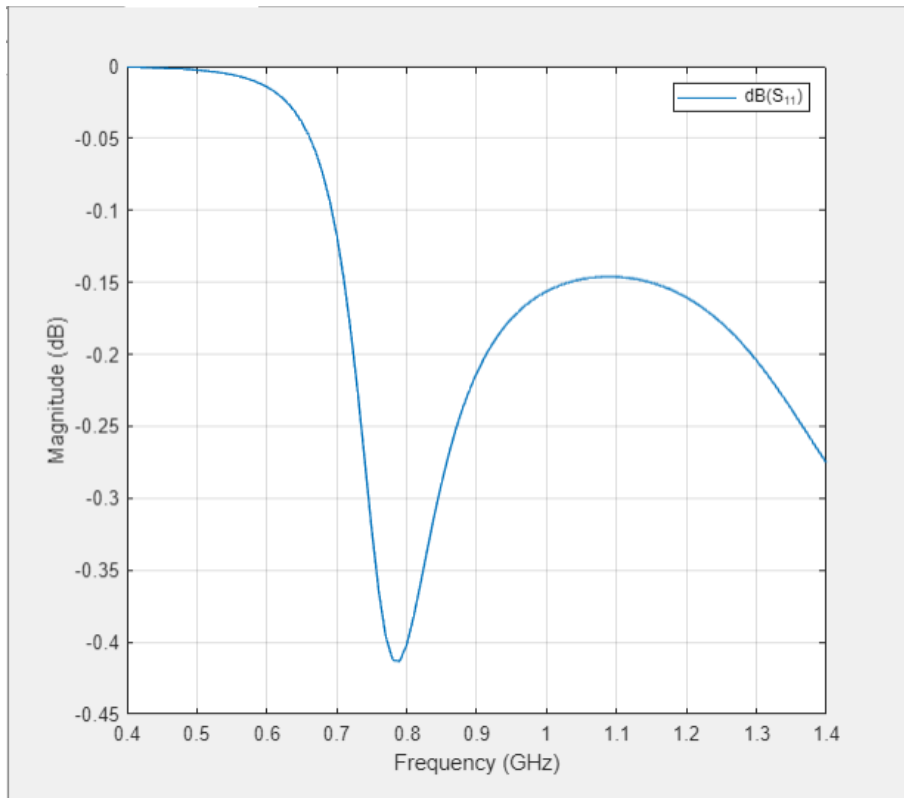


Figura 4.2-3. Parámetro S<sub>11</sub>

A continuación se realiza la simulación con el *slot* en medio del plano de masa como se muestra en la Figura 4.2-4, y los parámetros de este se muestran en la Figura 4.2-5.

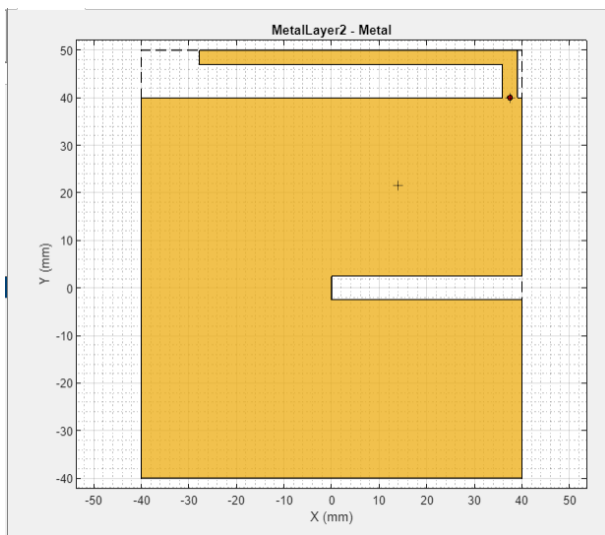


Figura 4.2-4. Dibujo *Rectangle6*

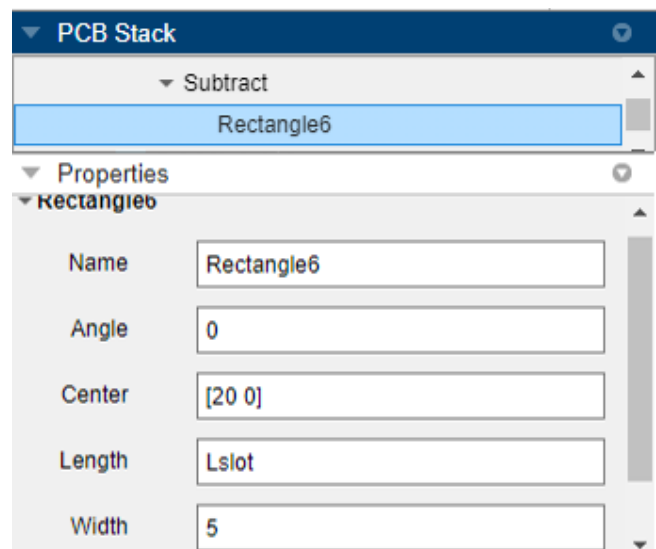


Figura 4.2-5. Propiedades del *Rectangle6*

En la Figura 4.2-6 se exponen los datos del parámetro S<sub>11</sub> que se obtienen y se puede observar que también muestra un comportamiento multibanda.

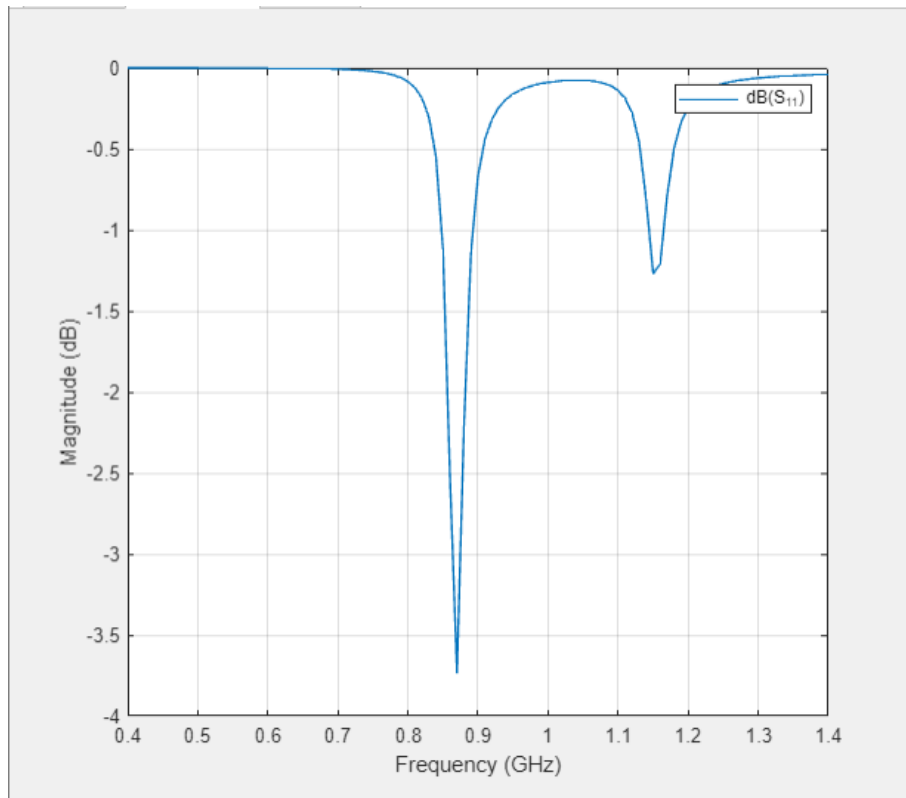


Figura 4.2-6. Parámetro  $S_{11}$

La última simulación se realiza con el *slot* en la parte inferior del plano de masa como se muestra en la Figura 4.2-7, y los parámetros de este se muestran en la Figura 4.2-8.

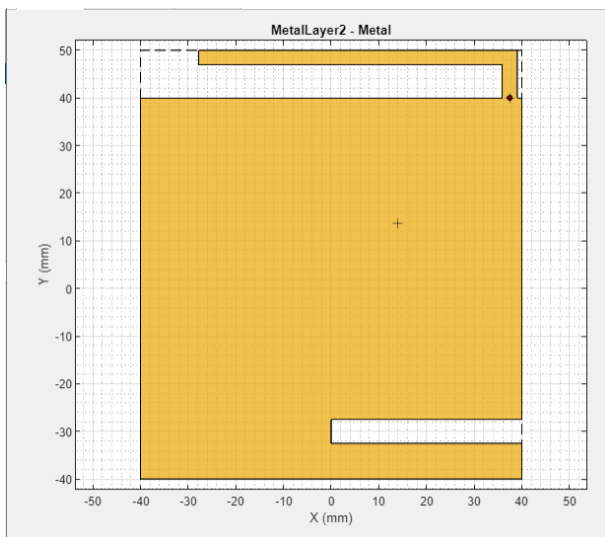


Figura 4.2-7. Dibujo *Rectangle6*

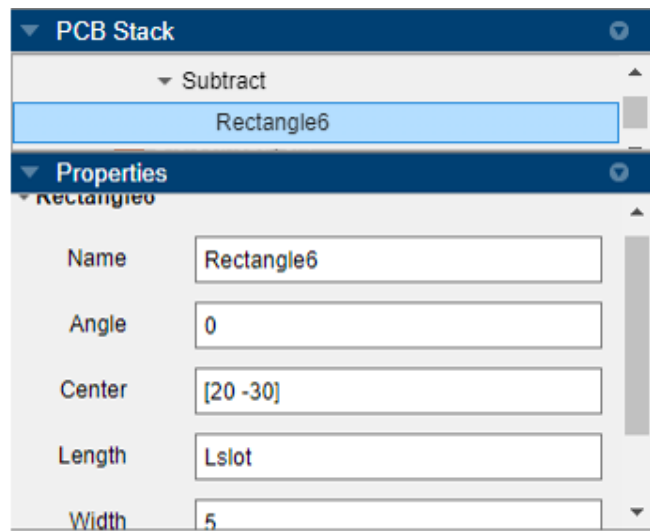


Figura 4.2-8. Propiedades del *Rectangle6*

En la Figura 4.2-9 se muestran los datos del parámetro  $S_{11}$  que se obtienen para la antena coplanar de tipo L diseñada y obtenemos un  $BW @ 6dB = 0.89\%$ .



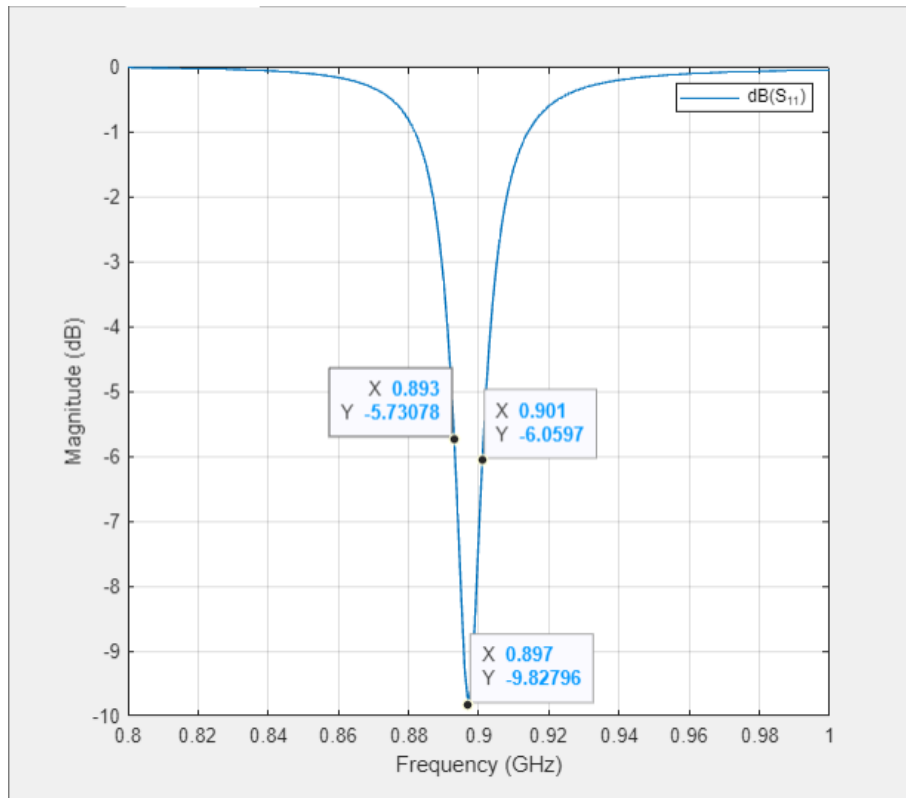


Figura 4.2-9. Parámetro  $S_{11}$

En la Figura 4.2-10 se muestra la distribución de la corriente.

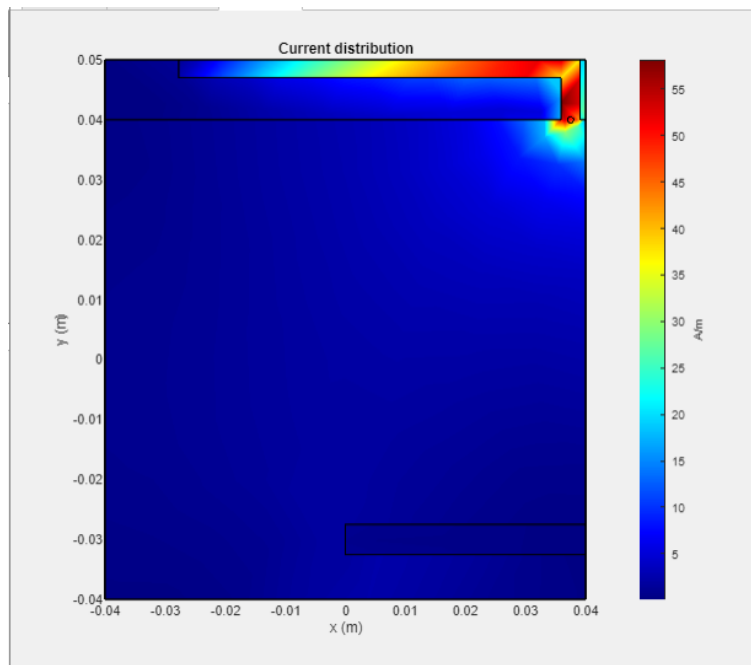


Figura 4.2-10. Distribución de la corriente

Se optimiza la longitud del *stub* para alcanzar un mayor ancho de banda y se obtiene unas dimensiones de 36.65 x 5 mm. En la Figura 4.2-11 se muestra el diseño de la antena invertida coplanar de tipo L con un *stub*.

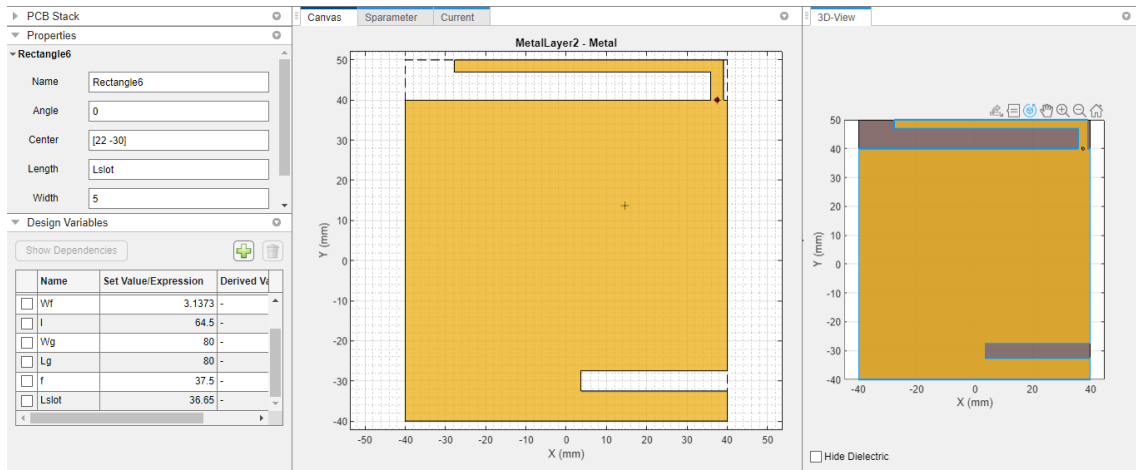


Figura 4.2-11. Diseño optimizado

En la Figura 4.2-12 se muestran los datos del parámetro  $S_{11}$  que se obtienen para la antena coplanar de tipo L diseñada y obtenemos un  $BW @ 6dB = 1\%$ .

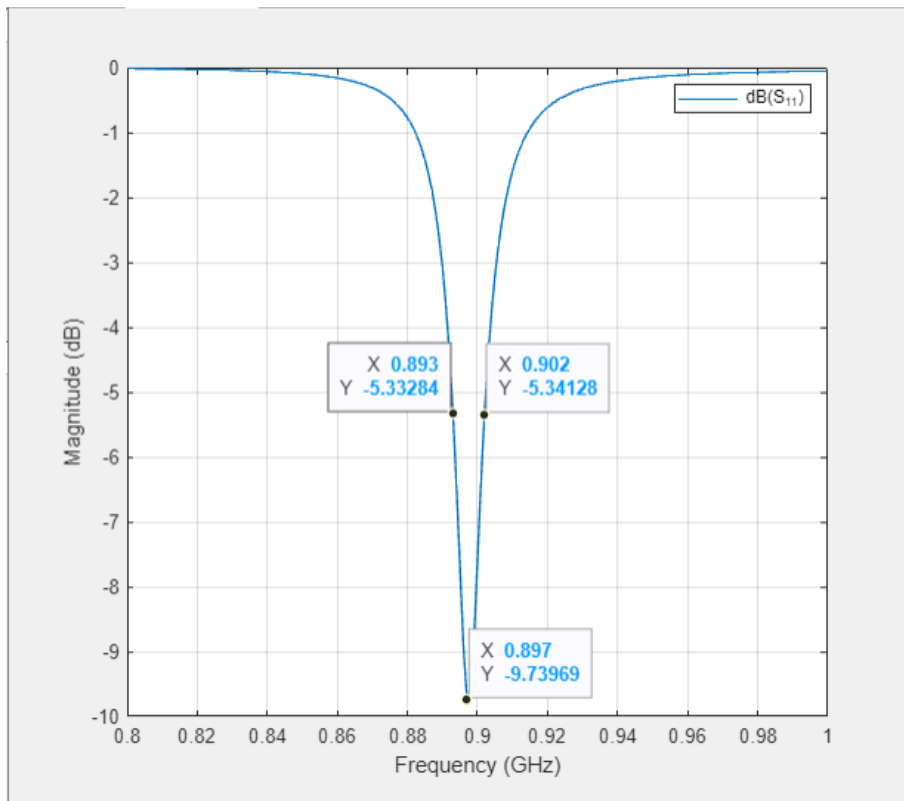


Figura 4.2-12. Parámetro  $S_{11}$

En la Figura 4.2-13 se muestra la distribución de la corriente.

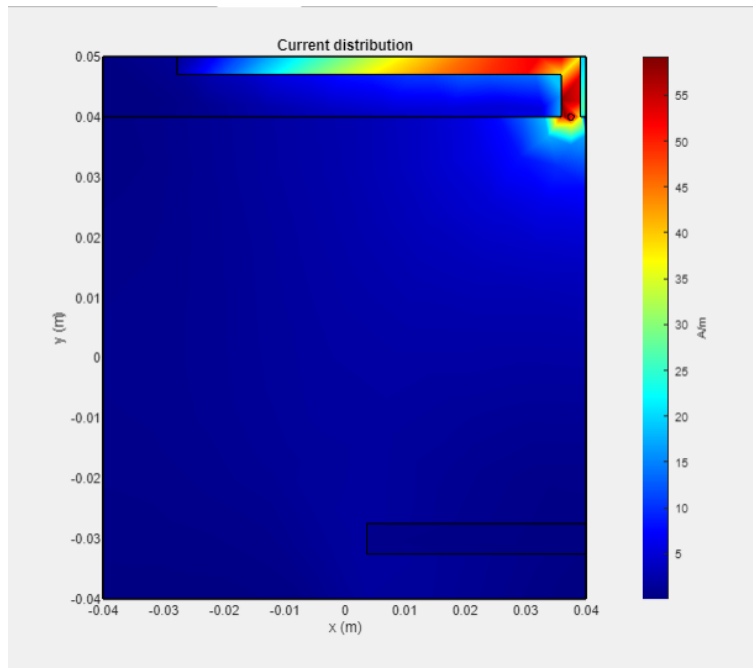


Figura 4.2-13. Distribución de la corriente

De las simulaciones realizadas se puede concluir que el ancho de banda obtenido en esta herramienta es menor al de la herramienta *Antenna Designer*, por ese motivo se decide añadir un *slot* y se observa que el ancho de banda aumenta pero no se consiguen los resultados en el capítulo anterior.

## 5 Conclusiones

De los apartados anteriores se concluye que para el estudio de antenas coplanares el empleo de la herramienta Matlab es muy recomendable debido a la obtención rápida de los resultados y el poder optimizarlos a los valores deseados en muy poco tiempo.

Los resultados son los esperados ya que cuando la longitud del plano de masa es más próximo a  $\lambda/4$  mayor es el ancho de banda y en varias de las simulaciones realizadas las dimensiones del plano de masa es muy próximo a 0.083 m,  $\lambda/4$  en este caso.

También se observa, que en la herramienta *PCB Antenna Designer*, el ancho de banda obtenido es menor al de *Antenna Designer* debido a que en este caso se trabaja con varias capas metálicas y un dieléctrico y cuando más grande es mejor ancho de banda, como este trabajo se centra en antenas que se emplean para *IoT* y las dimensiones deben de ser pequeñas.

Se han conseguido los objetivos plantados porque se ha conseguido diseñar una antena a través de la herramienta *Antenna Designer* y calcular su ancho de banda a 6 dB y poder optimizar dicha antena hasta conseguir un mayor ancho de banda.

Como con la herramienta *Antenna Designer* se obtiene el código en Matlab de esa antena. Se planteó añadir un *slot*, pero surgió un problema no se pudo hacer, debido a esto, se decidió emplear la otra herramienta, *PCB Antenna Designer*, que aunque los resultados son peores, se ha podido simular una antena coplanar y añadir el *slot*. Se comprueban que los resultados mejoran al añadirlo.

Se han llegado a conseguir estos resultados gracias a la planificación acordada en las reuniones y haber sabido ver los posibles problemas que han podido surgir y contar con medios para remediarlos.

Las líneas futura de este trabajo sería construir las PCB diseñadas en este trabajo, la antena coplanar sin y con *slot*, y ver si los parámetros S reales coinciden con los simulados.

# 6 Glosario

## 6.1 Definiciones

$f_{\text{central}}$	Frecuencia Central
$f_{\text{inferior}}$	Frecuencia Inferior
$f_{\text{superior}}$	Frecuencia Superior

## 6.2 Acrónimos

BW	<i>Bandwidth</i>
dB	decibelio
Hz	Hertz
IoT	<i>Internet of Things</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>

## 7 Bibliografía

- [1] Create inverted-F antenna in same plane as rectangular ground plane - MATLAB - MathWorks España. (s. f.). invertedFcoplanar. <https://es.mathworks.com/help/antenna/ref/invertedfcoplanar.html>
- [2] Create inverted-L antenna in same plane as rectangular ground plane - MATLAB - MathWorks España. (s. f.). invertedLcoplanar. <https://es.mathworks.com/help/antenna/ref/invertedlcpoplanar.html>
- [3] De Catalunya, U. O. (s. f.). Competencias UOC - Calidad - UOC. <https://www.uoc.edu/portal/es/qualitat/qualitat-titulacions/competencies/index.html>
- [4] Anguera, J., & Andújar, A. (2012). GROUND PLANE CONTRIBUTION IN WIRELESS HANDHELD DEVICES USING RADAR CROSS SECTION ANALYSIS. *Progress In Electromagnetics Research M. Pier M*, 26, 101-114. <https://doi.org/10.2528/pierm12081704>
- [5] Gui, J., Andújar, A., & Anguera, J. (2022). On the Reuse of a Matching Network for IoT Devices Operating at 900 MHz Embedding Antenna Boosters. *Electronics*, 11(8), 1267. <https://doi.org/10.3390/electronics11081267>
- [6] Oller, B., Andújar, A., Anguera, J. Antenna Booster Versus a Spiral Monopole Antenna for Single-Band Operation at 900 MHz. *Electronics* 2023, 12, 2067. <https://doi.org/10.3390/electronics12092067>
- [7] Anguera, J., Fernández, A., Puente, C., Andújar, A., Groot, J. Antenna Boosters versus Flexible Printed Circuit Antennas for IoT Devices. *Signals* 2022, 3, 326–340. <https://doi.org/10.3390/signals3020021>
- [8] Anguera, J., Andújar, A., Leiva, J. L., Massó, O., Tonnesen, J., Rindalsholt, E., Brandsegg, R., & Gaddi, R. (2021). Reconfigurable Multiband Operation for Wireless Devices Embedding Antenna Boosters. *Electronics*, 10(7), 808. <https://doi.org/10.3390/electronics10070808>
- [9] Anguera, J., Picher, C., Bujalance, A., & Andújar, A. (2016). Ground plane booster antenna technology for smartphones and tablets. *Microwave And Optical Technology Letters*, 58(6), 1289-1294. <https://doi.org/10.1002/mop.29788>
- [10] Real Academia Española (2023). *Antena*. <https://dle.rae.es/antena>
- [11] "IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas," in *IEEE Std 145-1993*, vol., no., pp.1-32, 18 July 1993, doi: 10.1109/IEEESTD.1993.119664.
- [12] Anguera, J.; Pérez, A. (2008). *Teoría de Antenas*. Ingeniería La Salle

- [13] Puente, C., Anguera, J., Borja, C., Soler, J.(2001) Fractal-Shaped Antennas and their Application to GSM 900/1800. *The Journal of the Institution of British Telecommunications Engineers*. vol.2, Part 3.
- [14] Chowdary, P. S. R., Prasad, A. M., Rao, P. M., & Anguera, J. (2015). Design and Performance Study of Sierpinski Fractal Based Patch Antennas for Multiband and Miniaturization Characteristics. *Wireless Personal Communications*, 83(3), 1-18.
- [15] Pros, J. A., Vallejo, J. I. O., Sanz, A., & Sa, F. (2005). US7990320B2 - *Antenna with inner spring contact* - Google Patents. <https://patents.google.com/patent/US7990320B2/en>
- [16] Anguera, J., Puente, C., & Borja, C., (1999) "A Procedure to Design Wide-Band Electromagnetically-Coupled Stacked Microstrip Antennas Based on a Simple Network Model". *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. II, 944-947.
- [17] Anguera, J., Puente, C., & Borja, C (2009), "Dual Frequency Broadband Microstrip Antenna with a Reactive Loading and Stacked Elements", *Progress in Electromagnetics Research Letters*, Vol. 10, 1-10
- [18] *Design, visualize, and analyze antennas - MATLAB - MathWorks España*. (s. f.). <https://es.mathworks.com/help/antenna/ref/antennadesigner-app.html>
- [19] Ruiz Salazar, A [Adrián]. (2021). *Análisis y diseño de Antenas Mediante Matlab*. [Trabajo final de máster]. Tecnologías de antenas, Universitat Oberta de Catalunya. <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/126646/6/aruizsalaTFM0121memoria.pdf>
- [20] Melgar Sanz, D [David]. (2022). *Diseño y simulación de antenas y redes de adaptación en MATLAB*. [Trabajo final de máster]. Tecnologías de antenas, Universitat Oberta de Catalunya. <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/145530/7/dmelgarTFM062022.pdf>
- [21] *PCB Antenna Design and Optimization*. (2022). [Vídeo]. MATLAB. <https://es.mathworks.com/videos/pcb-antenna-design-and-optimization-1663652506751.html>
- [22] Pozar, D. M. (2021). *Microwave engineering*.

## 8 Anexos

En este apartado se muestran los códigos generados por Matlab para los distintos tipos de antena diseñadas en este trabajo fin de máster.

### 8.1 Código de Matlab de una antena coplanar L invertida – Antena Designer

En este apartado se detalla el código de Matlab de una antena coplanar de tipo L invertida diseñada a partir de la herramienta *Antenna Designer* de *Antenna Toolbox*.

```
% Create a invertedLcoplanar antenna
% Generated by MATLAB(R) 9.14 and Antenna Toolbox 5.4.
% Generated on: 02-May-2024 12:04:24

%% Antenna Properties

antennaObject = design(invertedLcoplanar, 900*1e6);
antennaObject.RadiatorArmWidth = 0.0099104;
antennaObject.FeederArmWidth = 0.0036681;
antennaObject.Length = 0.066066;
antennaObject.Height = 0.01;
antennaObject.GroundPlaneLength = 0.1;
antennaObject.GroundPlaneWidth = 0.11973;
antennaObject.FeedOffset = 0.011211;
% Show
figure;
show(antennaObject)

%% Antenna Analysis
% Define plot frequency
plotFrequency = 900*1e6;
% Define frequency range
freqRange = (650:10:1150)*1e6;
% Reference Impedance
refImpedance = 50;
% sparameter
figure;
s = sparameters(antennaObject, freqRange, refImpedance);
rfplot(s)
% pattern
figure;
pattern(antennaObject, plotFrequency)
% current
figure;
current(antennaObject, plotFrequency)
```



## 8.2 Código de Matlab de una antena coplanar L invertida – PCB Antena Designer

En este apartado se detalla el código de Matlab de una antena coplanar de tipo L invertida diseñada a partir de la herramienta *PCB Antenna Designer* de *Antenna Toolbox*.

```
%%Create Variables
h = 10;
Wr = 3;
Wf = 3.1373;
l = 64.5;
Wg = 80;
Lg = 80;
f = 37.5;

%%Create pcbStack object
pcbobj = pcbStack;

%%Create board shape
    %Creating BoardShape metal layer.
    %Creating Rectangle1 shape.
    Rectangle1 = antenna.Rectangle;
    Rectangle1.Name = "Rectangle1";
    Rectangle1.Center = [0 0.005];
    Rectangle1.Length = (Lg).*0.001;
    Rectangle1.Width = 0.09;
    Rectangle1 = rotate(Rectangle1,0,[Rectangle1.Center, -
1],[Rectangle1.Center,1]);
    BoardShape = Rectangle1;
pcbobj.BoardShape = BoardShape;

%%Create Stackup
    %Creating MetalLayer2 metal layer.
    %Creating Rectangle3 shape.
    Rectangle3 = antenna.Rectangle;
    Rectangle3.Name = "Rectangle3";
    Rectangle3.Center = [0 0];
    Rectangle3.Length = (Lg).*0.001;
    Rectangle3.Width = (Wg).*0.001;
    Rectangle3 = rotate(Rectangle3,0,[Rectangle3.Center, -
1],[Rectangle3.Center,1]);
    %Creating Rectangle4 shape.
    Rectangle4 = antenna.Rectangle;
    Rectangle4.Name = "Rectangle4";
    Rectangle4.Center = ([f,45]).*0.001;
    Rectangle4.Length = (Wf).*0.001;
    Rectangle4.Width = (h).*0.001;
    Rectangle4 = rotate(Rectangle4,0,[Rectangle4.Center, -
1],[Rectangle4.Center,1]);
    Rectangle3 = Rectangle3 + Rectangle4;%Add
    %Creating Rectangle5 shape.
    Rectangle5 = antenna.Rectangle;
    Rectangle5.Name = "Rectangle5";
    Rectangle5.Center = [0.0045 0.0485];
    Rectangle5.Length = (l).*0.001;
    Rectangle5.Width = (Wr).*0.001;
```

```

        Rectangle5 = rotate(Rectangle5,0,[Rectangle5.Center,-
1],[Rectangle5.Center,1]);
        Rectangle3 = Rectangle3 + Rectangle5;%Add
        Metallayer2 = Rectangle3;
        %Creating DielectricLayer1 dielectric layer.
        DielectricLayer1 =
dielectric("Name",'Air',"EpsilonR",1,"LossTangent",0,"Thickness",0.0006);
        %Creating Metallayer1 metal layer.
        %Creating Rectangle2 shape.
        Rectangle2 = antenna.Rectangle;
        Rectangle2.Name = "Rectangle2";
        Rectangle2.Center = [0 0.005];
        Rectangle2.Length = (Lg).*0.001;
        Rectangle2.Width = 0.09;
        Rectangle2 = rotate(Rectangle2,0,[Rectangle2.Center,-
1],[Rectangle2.Center,1]);
        Metallayer1 = Rectangle2;

%%Create Feed
feedloc = [[f,40].*0.001,[1 3];...
];

%%Create Metal
metalobj = metal;
metalobj.Name = 'PEC';
metalobj.Conductivity = Inf;
metalobj.Thickness = 0; % 0 mils

pcbobj.Conductor = metalobj;

%%Assign properties
pcbobj.BoardThickness = 0.0006;
pcbobj.Layers = {Metallayer2,DielectricLayer1,Metallayer1,};
pcbobj.FeedLocations = feedloc;
pcbobj.FeedDiameter = 0.001;
pcbobj.ViaDiameter = 0.001;
pcbobj.FeedViaModel = 'strip';
pcbobj.FeedVoltage = 1;
pcbobj.FeedPhase = 0;

```

### 8.3 Código de Matlab de una antena coplanar L invertida con *slot*

En este apartado se detalla el código de Matlab de una antena coplanar de tipo L invertida con un *slot* diseñada a partir de la herramienta *PCB Antenna Designer* de *Antenna Toolbox*.

```
%%Create Variables
h = 10;
Wr = 3;
Wf = 3.1373;
l = 64.5;
Wg = 80;
Lg = 80;
f = 37.5;
Lslot = 40;

%%Create pcbStack object
pcbobj = pcbStack;

%%Create board shape
    %Creating BoardShape metal layer.
    %Creating Rectangle1 shape.
    Rectangle1 = antenna.Rectangle;
    Rectangle1.Name = "Rectangle1";
    Rectangle1.Center = [0 0.005];
    Rectangle1.Length = (Lg).*0.001;
    Rectangle1.Width = 0.09;
    Rectangle1 = rotate(Rectangle1,0,[Rectangle1.Center,-
1],[Rectangle1.Center,1]);
    BoardShape = Rectangle1;
pcbobj.BoardShape = BoardShape;

%%Create Stackup
    %Creating MetalLayer2 metal layer.
    %Creating Rectangle3 shape.
    Rectangle3 = antenna.Rectangle;
    Rectangle3.Name = "Rectangle3";
    Rectangle3.Center = [0 0];
    Rectangle3.Length = (Lg).*0.001;
    Rectangle3.Width = (Wg).*0.001;
    Rectangle3 = rotate(Rectangle3,0,[Rectangle3.Center,-
1],[Rectangle3.Center,1]);
    %Creating Rectangle4 shape.
    Rectangle4 = antenna.Rectangle;
    Rectangle4.Name = "Rectangle4";
    Rectangle4.Center = ([f,45]).*0.001;
    Rectangle4.Length = (Wf).*0.001;
    Rectangle4.Width = (h).*0.001;
    Rectangle4 = rotate(Rectangle4,0,[Rectangle4.Center,-
1],[Rectangle4.Center,1]);
    Rectangle3 = Rectangle3 + Rectangle4;%Add
    %Creating Rectangle5 shape.
    Rectangle5 = antenna.Rectangle;
    Rectangle5.Name = "Rectangle5";
    Rectangle5.Center = [0.0045 0.0485];
    Rectangle5.Length = (l).*0.001;
    Rectangle5.Width = (Wr).*0.001;
```

```

        Rectangle5 = rotate(Rectangle5,0,[Rectangle5.Center, -
1],[Rectangle5.Center,1]);
        Rectangle3 = Rectangle3 + Rectangle5;%Add
        %Creating Rectangle6 shape.
        Rectangle6 = antenna.Rectangle;
        Rectangle6.Name = "Rectangle6";
        Rectangle6.Center = [0.02 -0.03];
        Rectangle6.Length = (Lslot).*0.001;
        Rectangle6.Width = 0.005;
        Rectangle6 = rotate(Rectangle6,0,[Rectangle6.Center, -
1],[Rectangle6.Center,1]);
        Rectangle3 = Rectangle3 - Rectangle6;%Subtract
        Metallayer2 = Rectangle3;
        %Creating DielectricLayer1 dielectric layer.
        DielectricLayer1 =
dielectric("Name", 'Air', "EpsilonR",1, "LossTangent",0, "Thickness",0.0006);
        %Creating Metallayer1 metal layer.
        %Creating Rectangle2 shape.
        Rectangle2 = antenna.Rectangle;
        Rectangle2.Name = "Rectangle2";
        Rectangle2.Center = [0 0.005];
        Rectangle2.Length = (Lg).*0.001;
        Rectangle2.Width = 0.09;
        Rectangle2 = rotate(Rectangle2,0,[Rectangle2.Center, -
1],[Rectangle2.Center,1]);
        Metallayer1 = Rectangle2;

%%Create Feed
feedloc = [[f,40].*0.001,[1 3];...
];

%%Create Metal
metalobj = metal;
metalobj.Name = 'PEC';
metalobj.Conductivity = Inf;
metalobj.Thickness = 0; % 0 mils

pcbobj.Conductor = metalobj;

%%Assign properties
pcbobj.BoardThickness = 0.0006;
pcbobj.Layers = {Metallayer2,DielectricLayer1,Metallayer1,};
pcbobj.FeedLocations = feedloc;
pcbobj.FeedDiameter = 0.001;
pcbobj.ViaDiameter = 0.001;
pcbobj.FeedViaModel = 'strip';
pcbobj.FeedVoltage = 1;
pcbobj.FeedPhase = 0;

```