



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria  
de Telecomunicació de Barcelona en la  
Universitat Politècnica de Catalunya



## Design and characterization of bidirectional fiber-wireless nodes



**GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE  
LAS TELECOMUNICACIONES**

Autor: Nuria Ramos Campodarve

Tutor: María Concepción Santos

*Primavera 2019-2020*





## Resumen

Este proyecto consiste en crear una infraestructura de comunicación basada en radiofrecuencia con una arquitectura óptica. Está orientado en la característica 5G de la telefonía móvil.

Esta idea está pensada para que una señal se procese y envíe la información a una central, disminuyendo así la complejidad de las antenas TX y RX. Para ello, el uso de una arquitectura óptica para transmitir esta señal a la central, tiene la ventaja de que tiene una propagación favorable, gran ancho de banda y pocas pérdidas.

Para conseguir esta arquitectura, es necesario crear una antena bidireccional que contenga el fotodiodo, que convertirá la señal de luz entrante en señal de RF, y el láser, que transmitirá de las señales a la central.

A causa del COVID-19, se tuvo que replantear este proyecto, ya que no se podía ir al laboratorio a hacer las medidas pertinentes de los láseres, fotodiodos y antenas. Por este motivo, este proyecto tratará sobre el diseño de la antena duplexora y como debería implementarse el sistema mencionado.

## Resum

Aquest projecte consisteix en crear una infraestructura de comunicació basada en radiofreqüència amb una arquitectura òptica. Està orientat en la característica 5G de la telefonia mòbil.

Aquesta idea està pensada perquè una senyal es processi i enviï la informació a una central, disminuint així la complexitat de les antenes TX i RX. Per a això, l'ús d'una arquitectura òptica per propagar aquesta senyal a la central, té l'avantatge que té una propagació favorable, gran ample de banda i poques pèrdues.

Per aconseguir aquesta arquitectura, és necessari crear una antena bidireccional que contingui el fotodíode, que convertirà el senyal de llum entrant en senyal de RF, i el làser, que transmetrà dels senyals a la central.

A causa de l'COVID-19, es va haver de replantejar aquest projecte, ja que no es podia anar a laboratori a fer les mesures pertinents dels làsers, fotodíodes i antenes. Per aquest motiu, aquest projecte tractarà sobre el disseny de l'antena duplexora i com s'hauria d'implementar el sistema esmentat.

## Abstract

This project consists on creating a communication infrastructure based on radio frequency with an optical architecture. It is oriented in the 5G feature of mobile telephony.

This idea is designed for a signal being processed and sends the information to a central, thus reducing the complexity of the TX and RX antennas. For this, the use of an optical architecture to propagate this signal to the exchange has the advantage that it has a favorable propagation, high bandwidth and few losses.

To achieve this architecture, it is necessary to create a bidirectional antenna that contains the photodiode, which will convert the incoming light signal into an RF signal, and the laser, which will transmit the signals to the plant.

Because of COVID-19, this project had to be rethought, since it was not possible to go to the laboratory to make the pertinent measurements of lasers, photodiodes and antennas. For this reason, this project will deal with the design of the duplex antenna and how the mentioned system should be implemented.

## Historial de revisiones y registro de aprobación

Revision	Date	Purpose
0	19/05/2020	Document creation
1	20/06/2020	Document revision

### DOCUMENT DISTRIBUTION LIST

Name	e-mail
Nuria Ramos Campodarve	n.ramos.upc@gmail.com
María Concepción Santos Blanco	santos@tsc.upc.edu

Written by:		Reviewed and approved by:	
Date	19/05/2020	Date	dd/mm/yyyy
Name	Nuria Ramos	Name	María Concepción Santos
Position	Project Author	Position	Project Supervisor

# Índice de contenidos de la Tesis

Resumen .....	2
Resum .....	3
Abstract .....	4
Agradecimientos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Historial de revisiones y registro de aprobación .....	5
1 Introducción .....	9
1.1 Objetivos.....	9
1.2 Estructura .....	9
2 Análisis de la antena multibanda.....	11
2.1 Planteamiento .....	11
2.2 Objetivos.....	11
2.3 Configuración .....	12
2.4 Topología .....	17
3 Diseño en CST STUDIO .....	18
3.1 Conceptos básicos para crear la antena .....	18
3.2 Estrategias de dibujo.....	18
3.3 Simulaciones.....	19
4 Resultados de la antena CST .....	22
4.1 Antena Original.....	22
4.1.1 PROBLEMAS.....	25
4.2 Antena adaptada al sistema óptico.....	26
5 Acoplo a sistema óptico.....	30
5.1 Explicación general del sistema.....	30
5.2 Láser TOSA y fotodetector ROSA.....	32
5.2.1 Características del Láser TOSA .....	33
5.2.2 Características del Fotodetector ROSA.....	35
5.3 Placa del TOSA y ROSA .....	35
5.3.1 Esquemas ADS.....	36
5.3.2 Distribución de la placa.....	37
6 Conclusiones .....	39
7 Bibliografía .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
8 Anexos .....	41

## Lista de Tablas

Ilustración 1: Diagrama de bloques del sistema Full-Duplex Rx/Tx .....	11
Ilustración 2: Estructura antena microstrip Full-Duplex .....	12
Ilustración 3: Perfil y parte inferior de la antena microstrip .....	12
Ilustración 4: Distribución de las 3 frecuencias.....	13
Ilustración 5: Los datos proporcionados por el artículo científico .....	13
Ilustración 6: Resonador Bucle abierto .....	14
Ilustración 7: TX LINE.....	16
Ilustración 8: Topología de la antena .....	17
Ilustración 9: Creación de un Brick.....	18
Ilustración 10: Macros/Solver/Calculate port extension coefficient .....	19
Ilustración 11: Puerto con la extensión.....	20
Ilustración 12: Crear puertos en CST .....	20
Ilustración 13: Resultados de la simulación .....	20
Ilustración 14: Ventana Sweep.....	21
Ilustración 15: Ventana de los objetivos del Optimizador .....	21
Ilustración 16: Ventana de las variables del Optimizador .....	21
Ilustración 17: Resonador 1.....	22
Ilustración 18: Resonador 2.....	22
Ilustración 19: Ambos resonadores juntos.....	23
Ilustración 20: Gráfica de los parámetros S de ambas frecuencias (f1 y f2) .....	23
Ilustración 21: Comparación entre los Parametros S del articulo científico y los parametros S simulados en CST .....	24
Ilustración 22: Gráfica de radiación del Resonador 2 (4,7GHz) .....	24
Ilustración 23: Gráfica de radiación del Resonador 1 (6GHz) .....	24
Ilustración 24: Resultados de la Impedancia de entrada a 106Ω y los parámetros S cuando el sustrato era personalizado .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Ilustración 25: Impedance Calculation .....	25
Ilustración 26: Vista de la antena (front and back) .....	26
Ilustración 27: Representación de los parámetros S.....	26
Ilustración 28: Visión de la antena y la perspectiva de la radiación .....	27
Ilustración 29: Diagrama de radiación del primer resonador en polares y en 3D .....	27
Ilustración 30: Diagrama de radiación del segundo resonador en polares y en 3D .....	28
Ilustración 31: Distribución de las corrientes en la antena microstrip .....	29
Ilustración 32: Surface Current.....	29
Ilustración 33: Diagrama de bloques del sistema RF/Óptico .....	30
Ilustración 34: Funcionamiento del full-duplex en la antena.....	31
Ilustración 35: Módulo transceptor .....	32
Ilustración 36: Conectores LC.....	32
Ilustración 37: Interior del Módulo transceptor, TOSA+ROSA+PCB.....	32
Ilustración 38: Imagen y esquemático PINOUT del ROSA .....	32
Ilustración 39: Imagen y esquemático PINOUT del TOSA .....	32
Ilustración 40: Datasheet del TOSA.....	33
Ilustración 41: Garfica de la Potencia óptica vs Corriente del laser .....	34



Ilustración 42: Esquema de ADS del circuito equivalente del fotodetector y DC-Block .....	36
Ilustración 43: Esquema ADS del circuito equivalente del laser y DC-Block .....	36
Ilustración 44: Placa similar a la propuesta.....	37
Ilustración 45: Esquema de la placa propuesta.....	37
Ilustración 46: Create a project/MW&RF&Optical/Antennas.....	41
Ilustración 47: Que tipo de antena se quiere hacer .....	41
Ilustración 48: Time Domain .....	42
Ilustración 49: Seleccionar los rangos que necesitas .....	42
Ilustración 50: Unidades.....	42
Ilustración 51: Área de trabajo de CST .....	43
Ilustración 52: Navigation tree .....	44
Ilustración 53: Parameter List de la Antena .....	44

# 1 Introducción

En este documento se describe el proyecto técnico de ingeniería en telecomunicaciones sobre un diseño de una antena microstrip para un sistema de radiofrecuencia con una arquitectura óptica. Este proyecto se ha llevado a cabo en la Universitat Politècnica de Catalunya.

El diseño se lleva a cabo de forma empírica con el programa de simulación electromagnética en 3 dimensiones llamado CST Microwave Studio. Este software comercial es de la compañía Computer Simulation Technology (CST), siendo el punto de acceso a la edición CST Studio Suite, la cual posee diferentes herramientas especializadas para realizar simulaciones electromagnéticas.

## 1.1 Objetivos

El principal objetivo que tiene este proyecto es el diseño de una antena bidireccional con conexiones ópticas para aplicaciones 5G. La bidireccionalidad de la antena se basa en la multiplexación en frecuencia de los canales de subida y bajada. Para crear esta antena, se toma como referencia el artículo de la literatura científica [1], que es un ejemplo de una antena bidireccional basada en el acoplo de resonadores de tipo horquilla o 'hairpin'. Este diseño se validará mediante simulaciones en el software profesional CST y a partir de ahí, adecuaremos la estructura a nuestra propuesta. Para las etapas ópticas, se consideran los modelos TOSA y ROSA, que son compactos y de bajo coste.

La antena microstrip que se llevará a cabo, tendrá que cumplir varios objetivos:

- Antena de doble banda:  
Necesitaremos una estructura que permita una banda para el láser y otra banda para el fotodetector.
- Antenas de doble puerto adaptados:  
A parte de la antena doble banda, necesitaremos el doble puerto ya que en uno conectaremos el láser y en el otro el fotodetector. Además de que ambos puertos deberán estar adaptados para no perder ni potencia ni señal.

Como último objetivo del proyecto, se deberá hacer un estudio teórico de como implementar esta antena al sistema de láser y fotodetector.

Estos objetivos serán desafiantes porque, no es simple conseguir una antena multifrecuencia con aislamiento en cada puerto, que no se acoplen las señales interfiriendo entre ellas y la adaptación en los puertos.

## 1.2 Estructura

Esta memoria contiene 6 capítulos:

En el Capítulo 2, se hace una revisión de los datos que tenemos del artículo y se hace un ejercicio de ingeniería inversa, es decir, se hace un análisis incidiendo en los conceptos básicos necesarios para realizar el diseño.

En el Capítulo 3, se encontrará una explicación del uso del software CST y aquellas herramientas usadas para llevar a cabo el diseño de la antena.

En el Capítulo 4, se muestran los resultados obtenidos del diseño de la antena microstrip en CST.

En el Capítulo 5, se hará el análisis del acoplo del sistema óptico con el láser TOSA y fotodetector ROSA.

En el Capítulo 6, se encontrarán las conclusiones de este trabajo junto la enumeración de los objetivos cumplidos.

## 2 Análisis de la antena multibanda

En este capítulo, se explica el diseño de la antena usando la referencia del artículo de la literatura científica del 2018 [1].

A diferencia de las antenas tradicionales de banda única de puerto único, los dos puertos de la antena deben estar altamente aislados y diseñados para operar simultáneamente en diferentes bandas de frecuencia. Esto podría soportar el modo de operación full-duplex, que simplifica significativamente la complejidad. La otra contribución de este trabajo es que múltiples funciones como el filtrado, la impresión a doble cara y la radiación se intentarán combinar en un solo dispositivo. Este dispositivo podría eliminar los filtros, duplexores e interfaces separados entre ellos, lo que da como resultado la reducción del tamaño, el peso y el costo. Además, se quiere investigar el acoplamiento cruzado para generar ceros de transmisión adicionales y así mejorar el aislamiento del canal y la interferencia fuera de banda.

En el artículo de la literatura científica del 2018 [1], se explica un procedimiento basado en resonadores de hairpin que será muy útil para el propósito de este proyecto.

### 2.1 Planteamiento

Para soportar las operaciones full-duplex Rx / Tx, se usan dos bandas de frecuencia diferentes en los módulos de recepción y transmisión.

La antena Tx y la antena Rx son reemplazadas por una sola antena full-duplex (Ilustración 2: Estructura antena microstrip Full-Duplex), full-band de doble puerto, que puede soportar las operaciones en  $f_1$  y  $f_2$  simultáneamente mientras proporciona un alto aislamiento de canales.

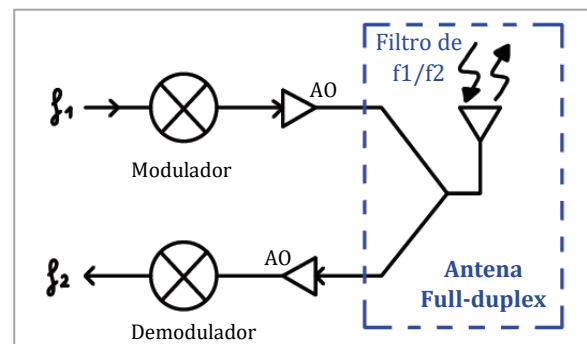


Ilustración 1: Diagrama de bloques del sistema Full-Duplex Rx/Tx

### 2.2 Objetivos

Unos objetivos más concretos para esta antena son:

- Tener 2 bandas de frecuencia (Uplink y Downlink)
- 2 puertos (ambos adaptados a  $50\Omega$ )
- Aislamiento entre las bandas
- Supresión de ganancia entre canales (Inter-channel gain suppression)
- Alimentación de los puertos vía microstrip.

### 2.3 Configuración

En esta sección, se explicará la estructura que tiene la antena del artículo y su mecanismo de operación.

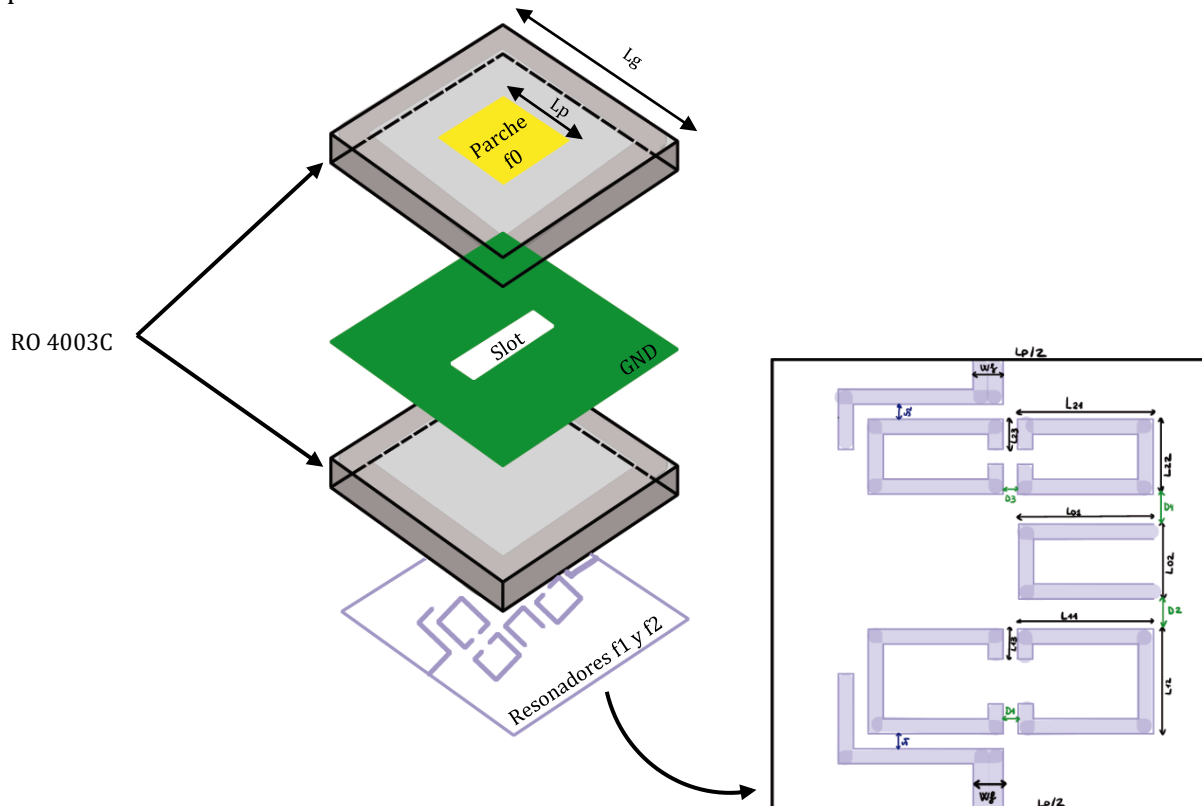


Ilustración 2: Estructura antena microstrip Full-Duplex

El diseño tendrá 2 sustratos, un parche en el sustrato superior y los resonadores estarán en el sustrato inferior. En la parte superior del sustrato inferior, encontraremos el plano de masa con un slot. En medio, entre los sustratos, se puede poner una espuma de baja permitividad, aunque haciendo pruebas, se ha visto que con permitividad de 1 (aire) los resultados son mejores.

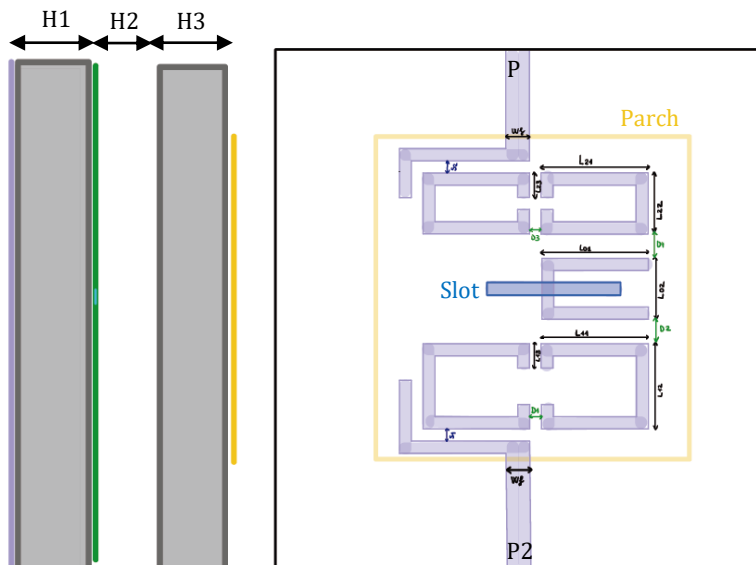


Ilustración 3: Perfil y parte inferior de la antena microstrip

En el sustrato inferior hay dos grupos de resonadores de bucle abierto con diferentes frecuencias de resonancia ( $f_1=4.7$  GHz y  $f_2=6$  GHz) adoptadas como filtros de canal para las operaciones de enlace ascendente y enlace descendente. Estos dos canales de filtrado sirven para mejorar el aislamiento entre las operaciones de enlace ascendente y enlace descendente.

Están unidos por un resonador de horquilla en el medio. Cabe señalar, que la horquilla y el parche están sincronizados a  $f_0$  de 5.4 GHz, que es diferente de  $f_1$  y  $f_2$  de los dos canales de filtrado. El parche y las estructuras de alimentación / resonadores comparten el mismo plano de tierra, que está impreso en la capa superior del sustrato inferior.

Esta configuración hace que el diseño sea más compacto y reduce la interferencia adversa entre la unidad de radiación y las estructuras de alimentación / resonadores.

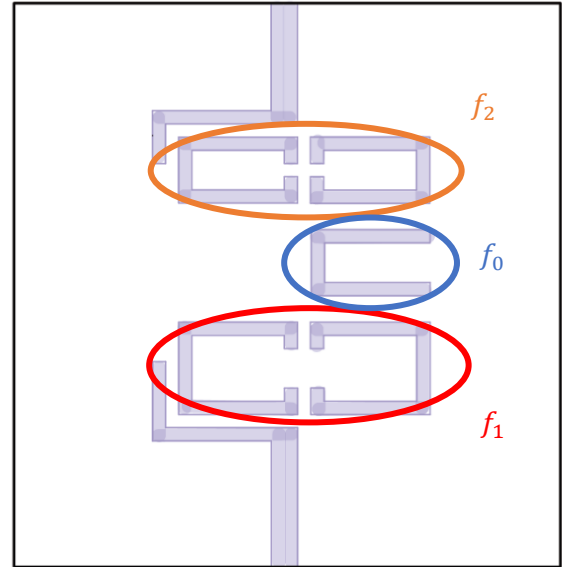


Ilustración 4: Distribución de las 3 frecuencias

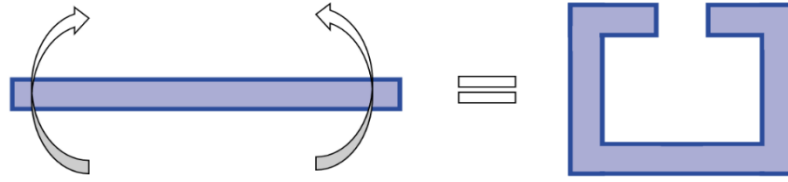
En el artículo no se especifican todas las medidas ni se explica que tipo de alimentación se va usar, tampoco se habla de la impedancia de entrada del puerto, ni qué tipo de sustrato se ha escogido. Tampoco se explica nada del método que usan de la ranura/Slot en su diseño. Con todas estas incógnitas, se ha tenido que trabajar para conseguir un resultado similar. De este modo, se ha estudiado cada componente de esta antena para entenderla y poder aplicarle unas medidas correctas.

$L_p$	$L_g$	$L_s$	$W_s$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$W_f$	$L_{01}$
17.6	50	12	0.9	0.813	1	0.813	1.8	6.35
$L_{02}$	$L_{11}$	$L_{12}$	$L_{13}$	$L_{21}$	$L_{22}$	$L_{23}$	$S_1$	$S_2$
3.5	6.35	5	2.3	6.35	3.3	1.15	0.4	0.4
$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$					
0.75	0.65	1.15	0.6					

Ilustración 5: Los datos (mm) proporcionados por el artículo científico

### 2.3.1 RESONADORES

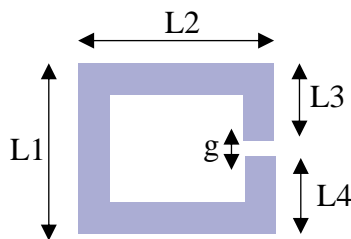
Se usan los resonadores de bucle abierto y hairpin porque es una estructura que puede contener al menos un campo electromagnético oscilante en un espacio comprimido. Este tipo de estructura es solo un resonador de línea de transmisión plegado con un espacio en uno de sus lados como se muestra en la figura más abajo.



Il·lustració 6: Resonador Bucle abierto

La gran ventaja que tiene este tipo de resonadores es que se puede reducir el tamaño de nuestro diseño de la antena, ya que estamos doblando la línea. Sin embargo, la principal desventaja de este tipo de resonadores es la presencia de un alto orden de armónicos, lo que limita la obtención de bandas de parada amplias.

La respuesta de frecuencia de esos resonadores presenta una banda de rechazo estrecha y una banda de paso ancha. Este resonador se coloca cerca de una línea de transmisión de 50 Ohms microstrip y sus dimensiones deben ser de aproximadamente  $\lambda/2$ , es decir, si tenemos este Open Loop, deberá cumplir la Eq. 1:

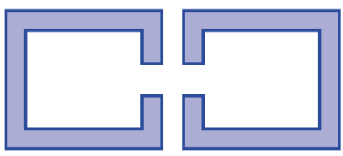
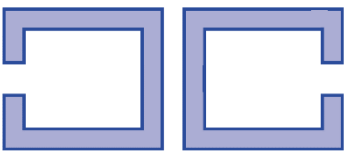
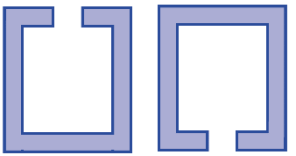


$$\frac{\lambda}{2} = L1 + L2 + L3 + L4 \quad (1)$$

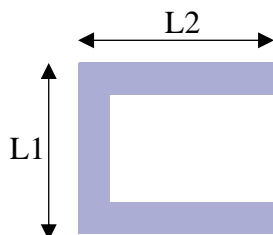
$$\lambda = \frac{c}{f \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2)$$

$$L1 = L3 + L4 + g \quad (3)$$

Luego, para conseguir los resonadores estén acoplados, lo único que tenemos que hacer es acercar estos resonadores de bucle abierto. De esta manera, se puede aumentar el ancho de banda, la selectividad de frecuencia y el rechazo fuera de banda. Dependiendo de la manera y la posición en que los acerques tendrán un acoplamiento eléctrico, magnético o mixto. Para el caso de nuestra antena, usaremos un acoplamiento eléctrico.

Electric Coupling	Magnetic Coupling	Mixed Coupling
		

Resonador tipo hairpin, que hará de aislante, usa las mismas fórmulas y especificaciones que el bucle abierto para una  $f_0$  y que estas 2 frecuencias no se acoplen.



$$\frac{\lambda_0}{2} = L1 + L2 \cdot 2 = L_p \quad (4)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0 \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (5)$$

Además de que  $f_0$  de las dimensiones del hairpin, dará las dimensiones del parche del sustrato superior ya que comparten la misma frecuencia, esa longitud la llamaremos  $L_p$ .

Antes de hacer los cálculos y compararlos con los del artículo necesitaremos averiguar la  $\epsilon_{eff}$ , explicado en el siguiente punto.

Debido al hecho de que el fotodiodo (el receptor) y el láser (el emisor) comparten la misma antena, se necesita un duplexor, en este caso el hairpin. El duplexor se encarga de crear una única ruta de una comunicación bidireccional, es decir, aísla el transmisor del receptor

Este método es utilizado para el aislamiento a través del dominio de frecuencia porque el fotodiodo y el láser utilizan diferentes frecuencias.

### 2.3.2 SUSTRATO

La permitividad viene dada por el sustrato, y para hacer una buena línea de alimentación microstrip el sustrato debe ser de  $\epsilon_r$  alta y de espesor pequeño para poder concentrar los campos, mientras que en una antena estándar se pretende justamente lo contrario y, por eso, se requieren sustratos con  $\epsilon_r$  baja y espesores mayores. Otra característica importante del material empleado como sustrato es la tangente de pérdidas  $\tan \delta$  que convendrá que sea lo más pequeña posible (del orden de  $10E-4$ ).

En el artículo no especifican que material llegan a usar como dieléctrico ni el grosor de las líneas, pero haciendo ingeniería inversa, a partir de los datos de la altura y proponiendo un grosor de línea común, se puede averiguar que la  $\epsilon_{eff} = 2,49$  con la ecuación común de la constante efectiva de líneas de transmisión microstrip. Entonces, aislando  $\epsilon_r$ , nos da una permitividad de 3,5. Por eso en este proyecto se usa el sustrato ROGERS 4003C, con permitividad de 3,55.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \cdot \left(\frac{h}{w}\right)}} + 0.04 \cdot \left(1 - \left(\frac{w}{h}\right)^2\right) \right) = 2,49 \quad (6)$$

Haciendo los cálculos y usando las ecuaciones anteriores de los resonadores podemos calcular las longitudes de los Bucles abiertos y hairpin/parche:

1.  $\lambda_1 = \frac{c}{f_1 \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{4,7 \cdot 10^9 \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} = 40mm$
2.  $\lambda_2 = \frac{c}{f_2 \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^9 \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} = 31.68mm$
3.  $\lambda_0 = \frac{c}{f_0 \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{5,4 \cdot 10^9 \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} = 35.2mm \rightarrow L_p = \frac{\lambda_0}{2} = 17.6mm$

La longitud del parche deberá ser de 17,6mm, un dato que cuadra exacto con la Ilustración 5: *Los datos (mm) proporcionados por el artículo científico.*

### 2.3.3 IMPEDANCIA DE ENTRADA



Una antena es un dispositivo con puertos, por lo tanto, tendrán una impedancia de entrada. Estas entradas deben estar adaptadas para que la potencia por el láser sea transmitida hacia el generador, pase a la antena y se radie al espacio. Si no estuviese adaptada, la potencia que viene del laser se reflejaría hacia él mismo y no llegaría a la antena.

En el caso de la impedancia de entrada del puerto del fotodetector, también deberá estar adaptada para que se nos entregue la máxima potencia y poder trabajar con ella posteriormente. Para conseguir esa entrega máxima de potencia, la impedancia de la antena tiene que ser la transpuesta del láser.

La impedancia del puerto la hemos podido calcular gracias al programa TX LINE, un programa muy simple para poder simular este tipo de medidas y cálculos. Como en el artículo no nos dan el valor del grosor de las líneas de los resonadores ni del hairpin, se tuvo que usar este programa y simular valores.

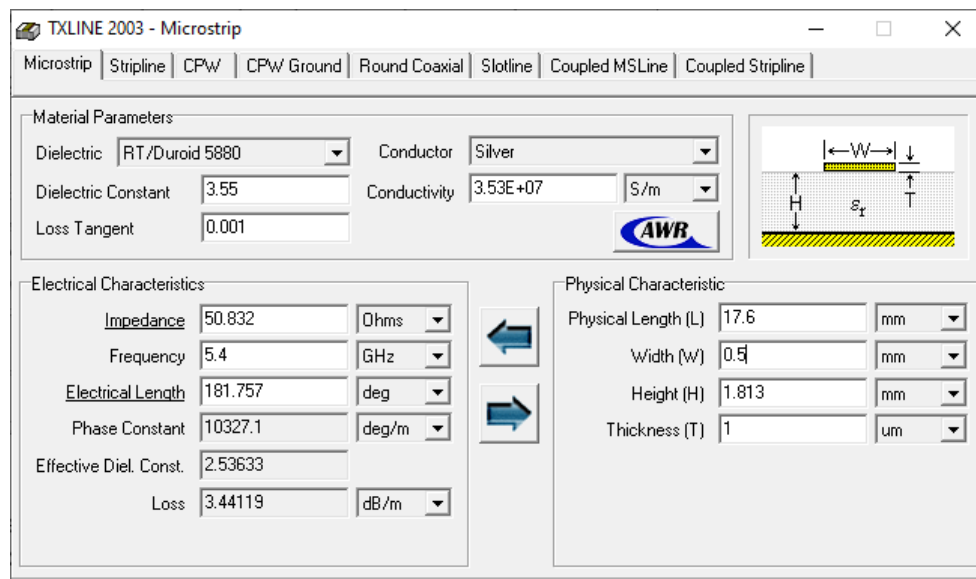


Ilustración 7: TX LINE

En este programa solo debemos poner la Constante dielectrica de nuestro sustrato, luego debemos ir a la pantalla de las carecterísticas físicas y poner la longitud del parche, la altura (H) y el grosor (T) de la línea. Después debemos ir probando valores en Width (W) hasta obtener un en la otra ventana una impedancia de 50Ω y una Electrical Lenght de 180 deg ( $\lambda/2$ ). Nos da un valor de constante efectiva de 2.53, muy en la línea de lo que habíamos calculado en la ecuación 6.

Estos conceptos se verán posteriormente en el Capítulo 3: Diseño en CST STUDIO.

### 2.3.4 ALIMENTACIÓN

En este diseño, la antena va a estar alimentada por una línea microstrip. Ésta, está impresa en el sustrato y es muy versátil, porque se construye a la vez que el parche. Las desventajas de este tipo de alimentación es que al estar en el mismo plano que el parche, puede influir en el diagrama de radiación de la antena, sobre todo en frecuencias elevadas y presenta un ancho de banda relativamente estrecho, también pueden aparecer radiaciones interferentes de las ondas superficiales, llamadas radiaciones de espurias. Esto es por culpa de que la alimentación que no está separada de la antena.

### 2.3.5 METODO DE LA CAVIDAD

Las antenas de parche microstrip son antenas resonantes de banda estrecha y el modelo de cavidad se convierte en una opción natural para analizar antenas de parche. En este modelo, se incorporan ranuras en el parche radiante de una antena microstrip. De este modo, se puede obtener un ancho de banda mejorado con un tamaño reducido en una misma antena. Las dimensiones de las ranuras se pueden ajustar para perturbar estas frecuencias resonantes y hacerlas cercanas entre sí, proporcionando así un amplio ancho de banda.

Para el diseño de esta antena se usa un slot rectangular y se ha colocado junto al hairpin. La posición del Slot se puede ver en la Ilustración 3: Perfil y parte inferior de la antena microstrip

## 2.4 Topología

La antena full-duplex se puede representar usando una red de resonador acoplado, como se muestra en la Ilustración 8: Topología de la antena.

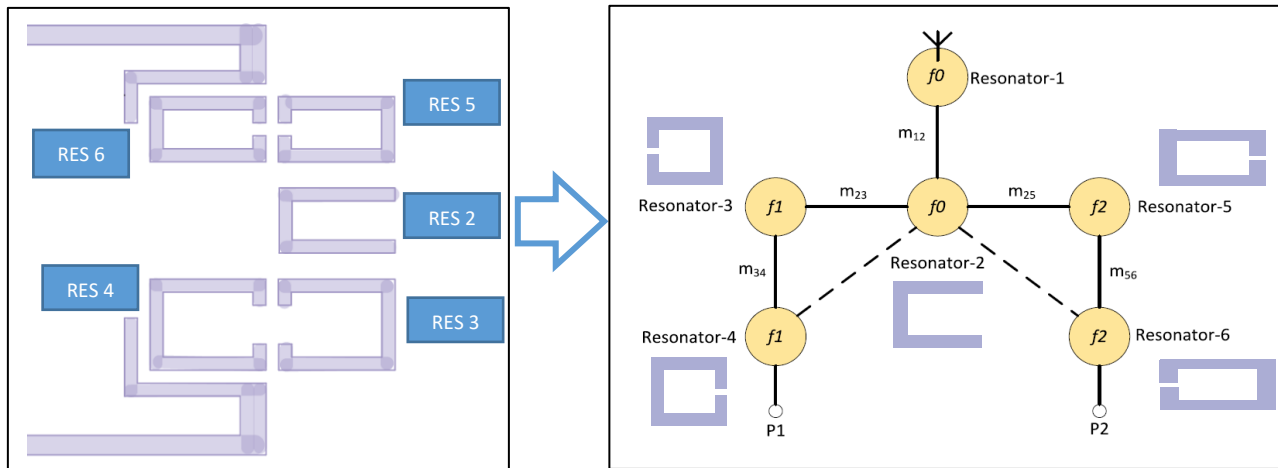


Ilustración 8: Topología de la antena

Los círculos representan resonadores monomodo, mientras que las líneas representan los acoplamientos electromagnéticos entre ellos. Cabe señalar que el parche radiante (Resonador-1) también sirve como un resonador monomodo. La antena de duplexación propuesta es esencialmente un duplexor basado en resonadores con su puerto común un radiador. La horquilla, como resonador de unión, se une a los dos conjuntos de resonadores a medida que el canal se filtra. El parche y la horquilla resuenan alrededor de  $f_0$ . El acoplamiento  $m_{12}$  entre ellos está constituido para producir dos modos resonantes separados.

# 3 Diseño en CST STUDIO

## 3.1 Conceptos básicos para crear la antena

CST Studio Suite es un software de análisis de EM 3D de alto rendimiento para diseñar, analizar y optimizar componentes y sistemas electromagnéticos (EM). Entre los objetos más comunes del análisis se incluyen el rendimiento y la eficiencia de antenas y filtros, la compatibilidad electromagnética y las interferencias (EMC/EMI), la exposición del cuerpo humano a campos de EM, los efectos electromecánicos en motores y generadores, y los efectos térmicos en dispositivos de alta potencia.

Esto lo podemos ver nada más crear un nuevo proyecto dentro del programa, porque nos llevará por una serie de ventanas preguntando que tipo de objeto se quiere simular, si se quiere simular en el dominio temporal o frecuencial, la selección de unidades para esta antena, etc. Estas ventanas se pueden ver en el anexo 1. CST Studio es un programa muy completo y muy grande, nosotros solos nos delimitaremos a explicar las herramientas básica que se han usado para dibujar la antena planar.

## 3.2 Estrategias de dibujo

Antes de empezar a dibujar es importante definir bien el margen de frecuencias y definir que queremos ver o estudiar de la antena por diseñar. En nuestro caso, como necesitaremos las frecuencias de 4,7GHz y 6GHz, he escogido un rango que va de 4GHz a 7GHz. Luego, este rango se podrá recortar en los gráficos de la simulación.

También es muy importante plantear el dibujo de la antena en el programa, los ejes que se van a utilizar, en que plano se va a orientar, donde se van a colocar los puertos, etc. Para este proyecto, el plano de la antena será el XY y la Z será la altura/grosor de la antena y llos puertos, estarán en el plano YZ. En el punto 3.3 Simulaciones podremos ver como se orientan dichos puertos.

Una vez pensados estos conceptos, debemos ver que herramienta usaremos para dibujar la antena. Si nos fijamos, la antena tienes estructuras cuadradas, por lo que solo usaremos una de las opciones que nos ofrece el CST. Esta opción es el Brick y lo que hace es, definir una figura por los vértices, como se muestra en la Ilustración 9.

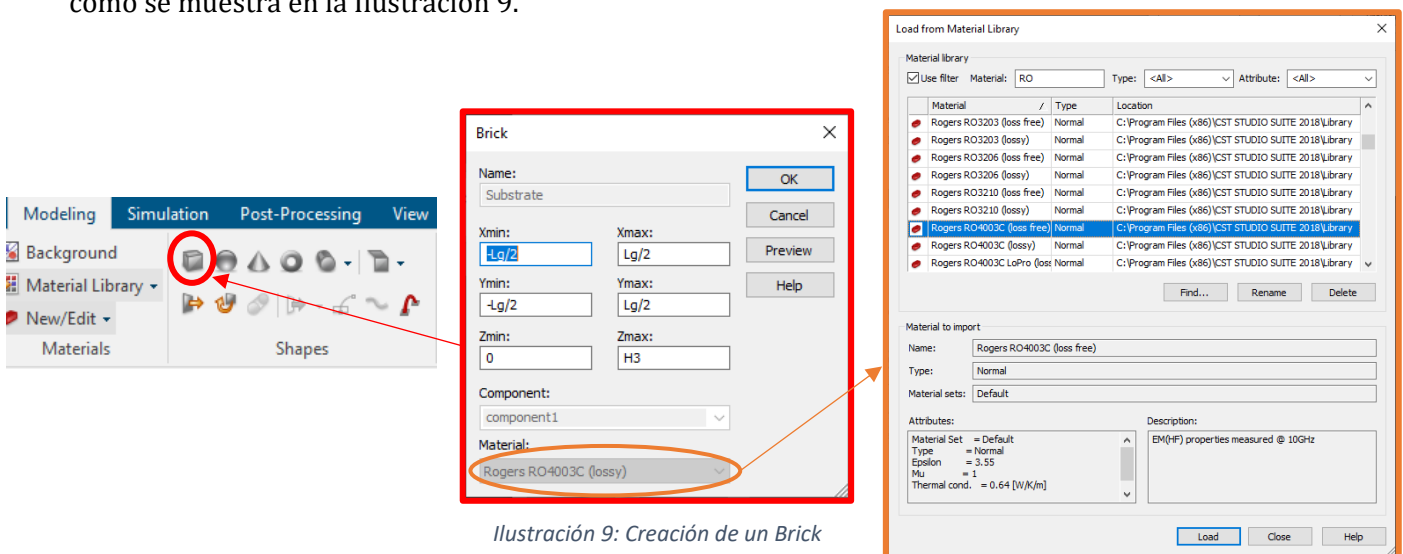


Ilustración 9: Creación de un Brick

Como se aprecia en la figura, las medidas de la antena estan parametrizadas con letras y números porque si después queremos cambiar alguna de esas medidas o hacer alguna optimización no será mucho más fácil. Es una buena práctica parametrizar un diseño en lugar de poner valores fijos en la geometría. Pero los parámetros, también se pueden definir en macros y en las plantillas de procesamiento posterior. Esto permite cálculos o impedancias basadas en parámetros barridos, como la posición o el desplazamiento.

Todas estas parametrizaciones se encuentran en una ventana del programa llamada Parameter List. En el Anexo 1, se puede ver en la Ilustración 50 el área e trabajo y las ventanas que tiene CST, que una de ellas es la Parameter List.

Otro concepto importante es que si de la Parameter List cambiamos el valor de alguna variable, para que se pueda actualizar el dibujo en 3D, deberemos presionar la tecla F7 para que se actualice, si no lo hacemos, posteriormente no nos dejará hacer las simulaciones.

Una vez creados los bricks nos apareceran todos en otra ventana llamada Navigation Tree en la sección de componentes. Ahí, podremos editar las medidas de los bricks o rectificar alguna si vemos errores.

### 3.3 Simulaciones

Después de rellenar todos los datos y tener una estructura sólida, ya estamos a punto de poder simular.

Antes, deberemos colocar los puertos en el lugar correspondiente y configurar su extensión. La extensión del puerto es el margen que debemos dejar para distribuir la energía. Para ello, nos iremos a la opción Macros/Solver/Calculate port extension coefficient:

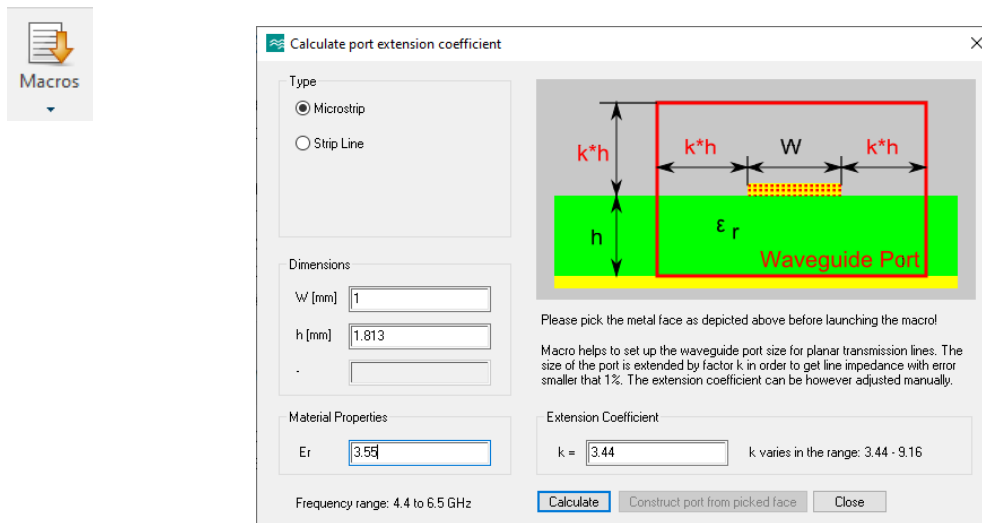


Ilustración 10: Macros/Solver/Calculate port extension coefficient

Por tanto debemos hacer una extensión de 3.44. Esto lo guardaremos en una variable llamada k de la Parameter List.

La parameter List usada en esta antena se puede encontrar en el Anexo 1, la Ilustración 52.

Para crear el puerto debemos ir a Simulation/Waveguide Port. Aquí nos aparecerá una ventana como las 2 de a continuación y deberemos poner en que plano queremos el puerto y sus dimensiones. Luego, para acabar le añadiremos la  $k$  allí donde corresponda para crear la extensión.

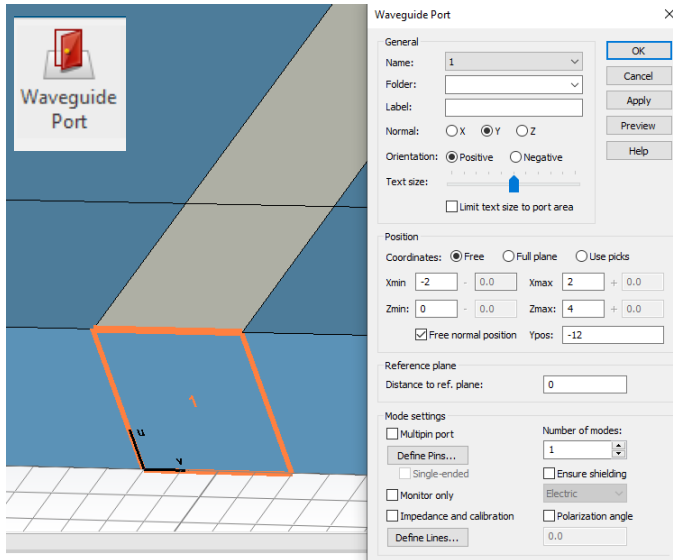


Ilustración 12: Crear puertos en CST

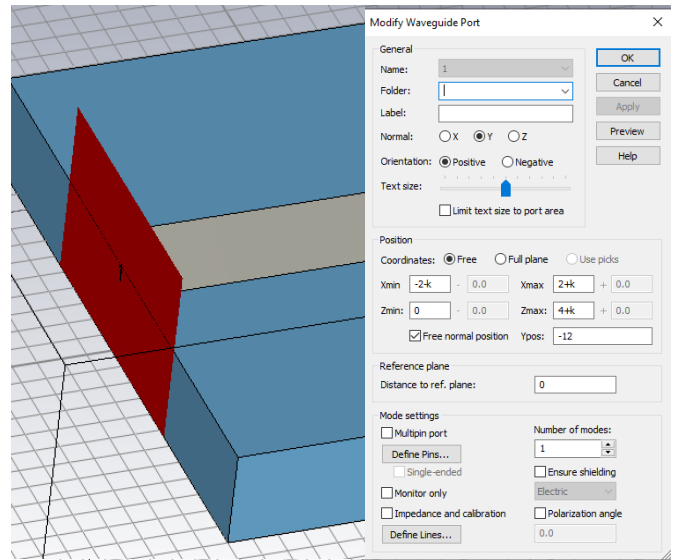


Ilustración 11: Puerto con la extensión

Una vez tenemos el puerto solo debemos darle a simular (Ctrl+F5), tardará unos 5 minutos y luego, las últimas carpetas se llenarán con datos visibles con gráficas.

Los datos que necesitaremos son:

- S-PARAMETERS

El coeficiente de reflexión se define como la relación entre la amplitud de la onda reflejada y la onda incidente. Si  $S_{11} = 0$  significa que la antena estaría perfectamente adaptada al generador, esto ocurrirá cuando la impedancia de la antena sea igual a la impedancia característica de la línea,  $Z_A = Z_C$ .

- REFERENCE IMPEDANCE

Nos da el valor de impedancia de cada puerto, suele ser un valor constante.

- SURFACE CURRENT

Esta función nos permite ver como la corriente recorre el diseño de la antena y como se distribuye.

- FARFIELDS

Estos resultados nos indican como radia la antena, en que dirección. Además, se puede ver en coordenares Polares (2D) y en 3D con una escala de colores para los dBi.

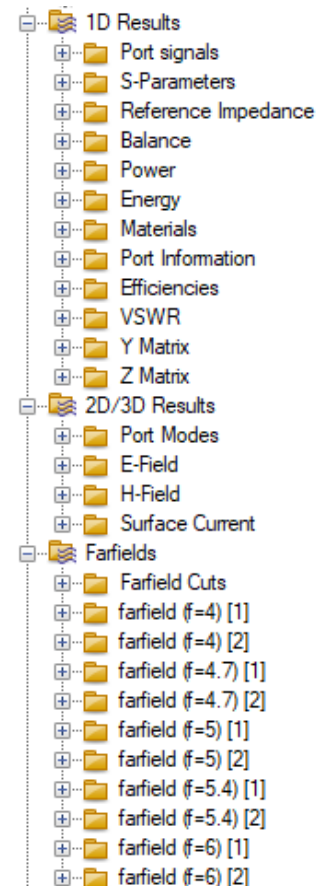


Ilustración 13: Resultados de la simulación

Todos estos resultados se verán mejor en el siguiente capítulo 4 - Resultados de la antena CST.

Una vez, tenemos los resultados de las simulaciones hay 2 opciones muy útiles en CST para optimizar las medidas y ajustarlas lo máximo posible para obtener un mejor resultado.

Estas 2 herramientas las encontramos en Home/Simulation:

- Sweep
- Optimizer

Estas opciones son muy útiles si tenemos todos los parámetros parametrizados como hemos explicado antes. Estos parámetros pueden ser barridos usando la opción de barrido de parámetros u optimizados en el optimizador.

Ambas son técnicas muy distintas y usan ventanas diferentes. La opción del Sweep, simplemente te permite escoger cualquiera de tus variables y hacer un barrido, de tu proyecto, con aquellos valores que especifiques. En cambio, para el optimizador, se puede poner que resultado deseas y que variables quieres que cambie para llegar a ese objetivo. Por ejemplo, en la Ilustración 15, podemos ver como el Objetivo es  $S_{11} < -10$  en el rango de 4.6GHz-4.9GHz, luego, en la Ilustración 16, se pueden ver que variables quiero que cambie el programa para conseguir el objetivo. Si el programa no consigue llegar al objetivo, te lo notificará.

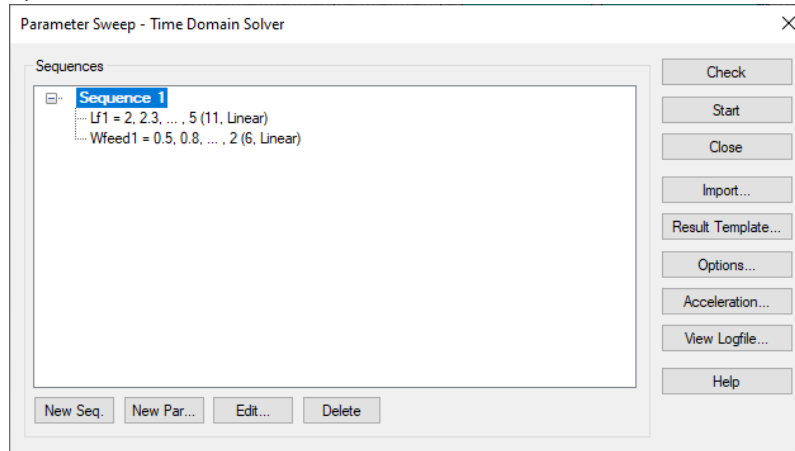


Ilustración 14: Ventana Sweep

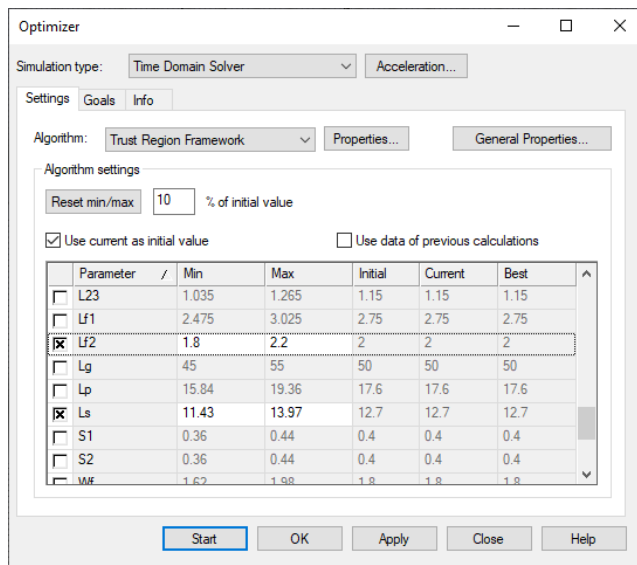


Ilustración 16: Ventana de las variables del Optimizador

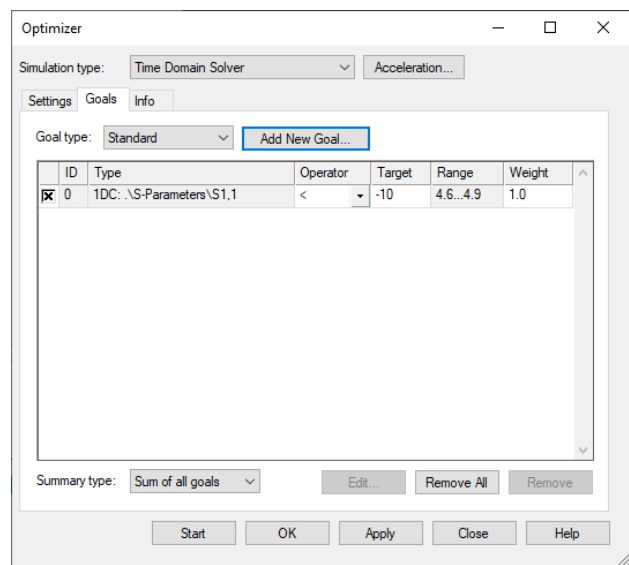


Ilustración 15: Ventana de los objetivos del Optimizador

# 4 Resultados de la antena CST

En este capítulo se mostrarán los resultados de la antena original del artículo científico [1] y los resultados de la antena que proponemos nosotros.

## 4.1 Antena Original

Una vez habiéndonos familiarizado con el entorno y sabiendo que es lo que tenemos que hacer, empezamos con el diseño de la antena del artículo científico.

Primero nos centramos en poner las medidas que nos da el artículo (Ilustración 5: Los datos (mm) proporcionados por el artículo científico) para poder luego crear los bricks con estas medidas. También debemos añadir aquellas que creamos convenientes y que no nos las ofrece el artículo, como el grosor de las líneas, por ejemplo. En los bricks deberemos especificar el tipo de material que queremos y las medidas. Para los sustratos usaremos el ROGERS 4003C y para las líneas el material PEC.

Al principio se hizo el diseño entero y se simuló, pero no dio ningún resultado ya que había muchos errores y solapamiento en los puertos. A medida que se fue probando pudimos ver que se podían simular los resonadores a parte y luego, juntarlos para formar el conjunto final, y así lo hicimos.

Primero, probamos a crear el resonador 1 y, después de unas cuantas optimizaciones y cambiando algunos valores, conseguimos resultados de la S11. El resonador 1 cuenta con todos los sustratos, la superficie ground con el slot y el hairpin. Con estos componentes, la S11 quedó así:

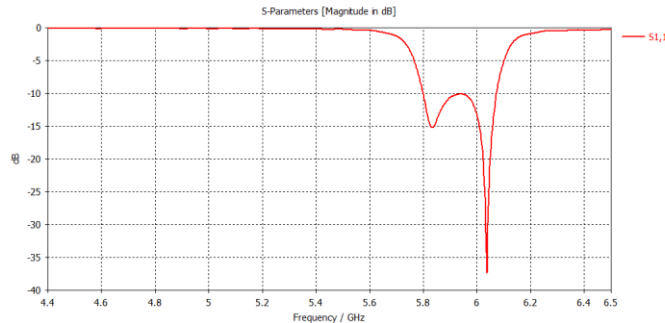
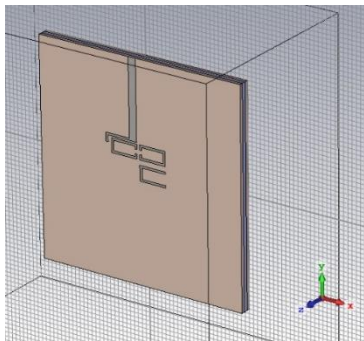


Ilustración 17: Resonador 1

Para el segundo resonador hicimos lo mismo. Primero cuadramos los valores cambiados del resonador 1 y luego, se escogieron otros valores para conseguir una buena señal de S22. La composición es la misma, el resonador 2 con todos los sustratos, la superficie ground con el slot y el hairpin:

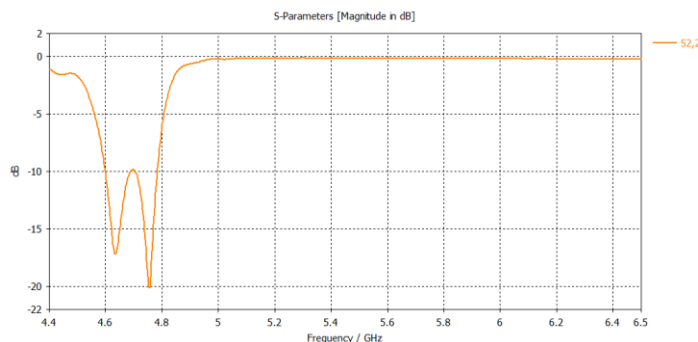
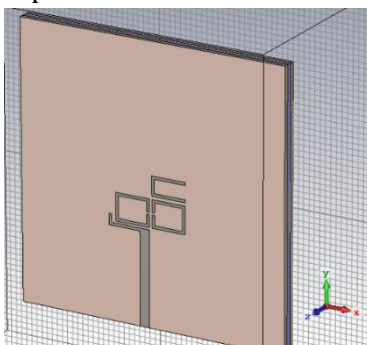


Ilustración 18: Resonador 2



Con este método de separar los resonadores, conseguimos que la carga de las optimizaciones y haciendo el cambio de los valores correspondientes, no sea muy pesado y no tarde tanto el programa en darnos los resultados. Juntando ambos resonadores los resultados de los parámetros S salen:

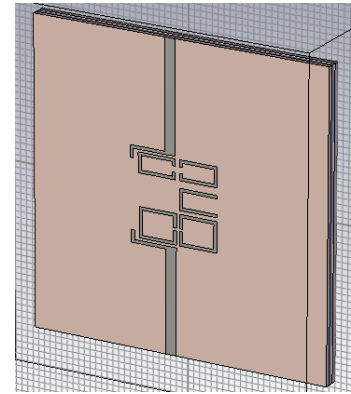


Ilustración 19: Ambos resonadores juntos

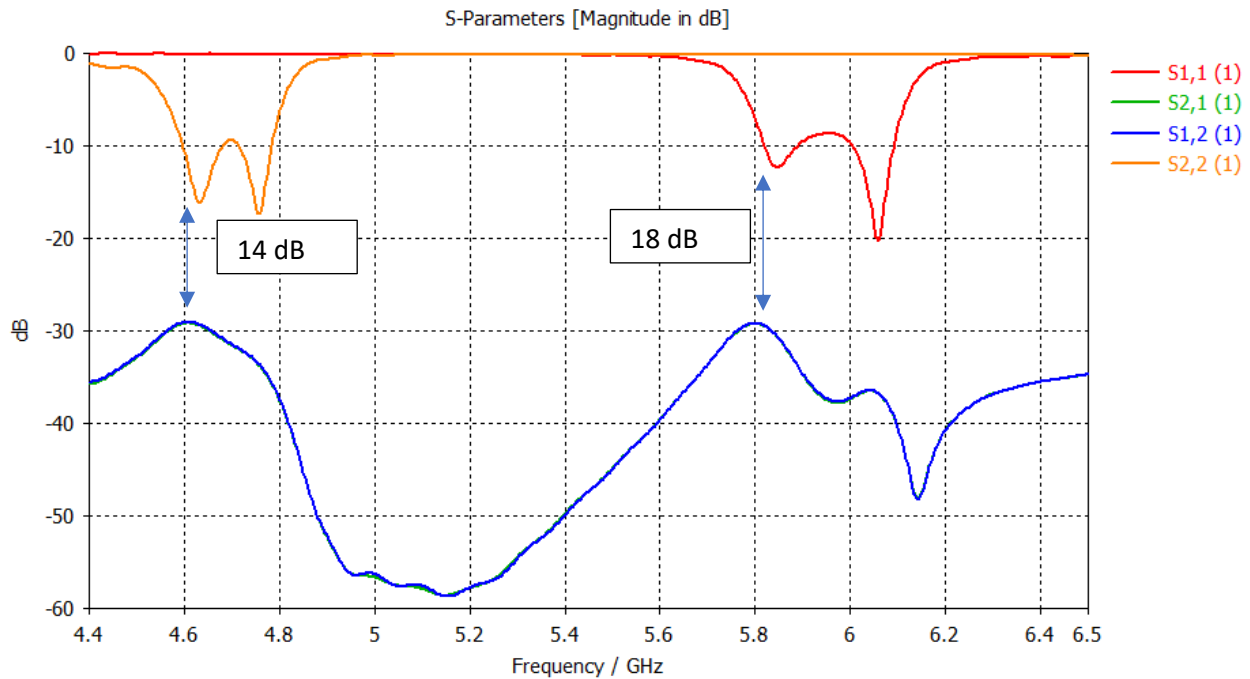


Ilustración 20: Gráfica de los parámetros S de ambas frecuencias ( $f_1$  y  $f_2$ )

Cuando la  $S_{11}$  alcanza el valor requerido se escogieran las 2 frecuencias  $f_{11}$  y  $f_{12}$  para calcular el ancho de banda:

$$FBW_1 = \frac{f_{12} - f_{11}}{f_c} = \frac{4.78 - 4.594}{4.7} = 3.9\% \quad (7)$$

$$FBW_2 = \frac{f_{22} - f_{21}}{f_c} = \frac{6.066 - 5.800}{6} = 4.8\% \quad (8)$$

Comparando ambos resultados se puede decir que el enlace ascendente tiene menos ancho que el enlace descendente. En cuanto el aislamiento de los canales, están alrededor de unos 20dB.

La gráfica del artículo (Ilustración 21) tiene un cero más en sus señales S11 y S22, al haber usado softwares diferentes y algunos parámetros distintos, hace que los resultados no sean idénticos.



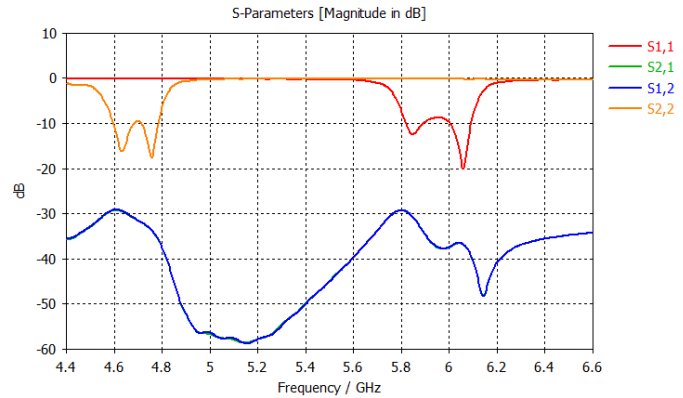
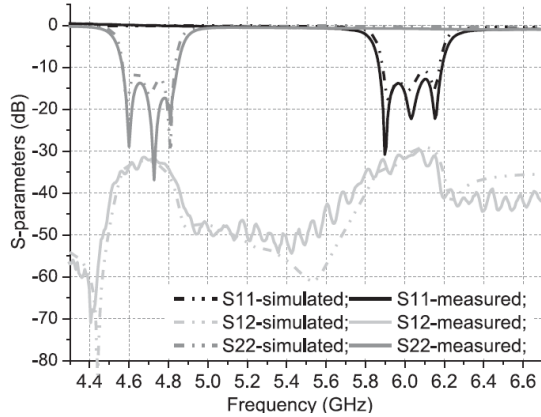


Ilustración 21: Comparación entre los Parametros S del artículo científico y los parametros S simulados en CST

Otro de las propiedades importantes de la antena es la impedancia de la entrada y la radiación de la antena.

La impedancia de la entrada está adaptada a alrededor de los 50  $\Omega$ , concretamente el Puerto 1 a 54.3  $\Omega$  y el Puerto 2 a 53.35  $\Omega$ , tal y como se calculó aproximadamente con el TX Line en la Ilustración 7: TX LINE

En cuanto la radiación de esta antena, tenemos que para el Resonador 2, a  $f_1=4,7$  GHz

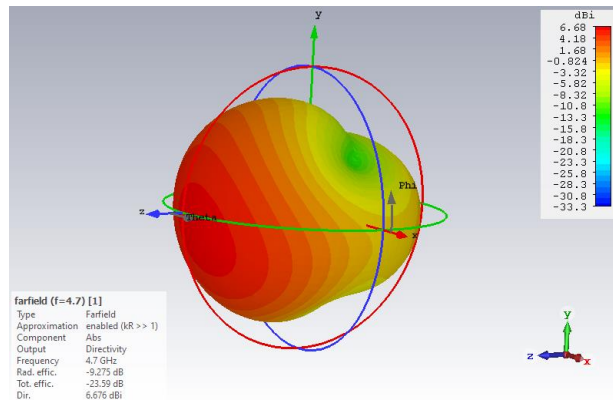
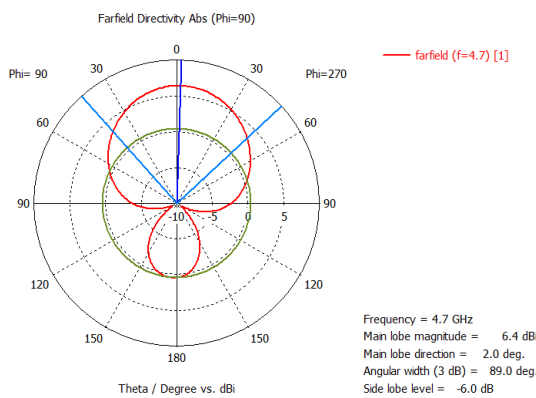


Ilustración 22: Gráfica de radiación del Resonador 2 (4,7GHz)

Para el Resonador 1, a  $f_1=6$  GHz

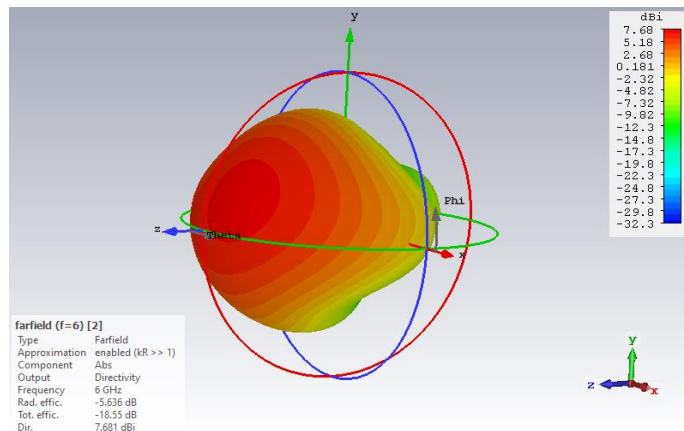
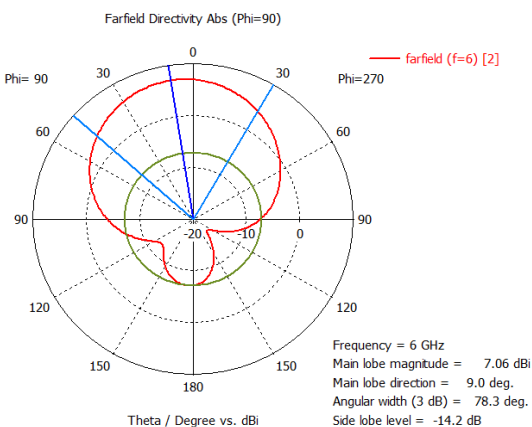


Ilustración 23: Gráfica de radiación del Resonador 1 (6GHz)

Ambas frecuencias tienen diagramas de radiación parecidos con una directividad similar en unos 7dBi. Es un resultado esperado, ya que las antenas planares suelen radiar en el eje Z, si el plano que usan es el XY.

Además, se puede observar que la mayor radiación de esta antena se produce en el lóbulo principal. Los lóbulos secundarios de la antena, generan interferencia, y en nuestra antena es aquel que apunta hacia los 180°. Por lo tanto, el nivel entre lóbulo principal y el lóbulo secundario deben ser lo más grande posible.

#### 4.1.1 PROBLEMAS

Uno de los problemas que se obtuvo al principio, fue que los parámetros S no daban el resultado adecuado. Salía la S11 o la S22, pero no ambas al mismo tiempo. Después de hacer algunos pequeños cambios de distancia entre resonadores y las alturas de Lxf1, Lxf2, Lyf1 y Lyf2. Se consiguió que ambas (S11 y S22), saliesen en la gráfica.

Otro problema que se tuvo, fue que la impedancia de referencia no era de 50Ω. La antena debía estar adaptada a 50Ω porque si no, no se le podría conectar el láser o el fotodiodo, y perderíamos señal cada vez que quisiéramos enviar información. Se resolvió, escogiendo el material RO4003C de nuevo sin las pérdidas térmica en el software y cambiando el ancho del puerto por el de 2mm ( $Wf = 2$ ). Para llegar a ese 2mm del ancho del puerto se usó una macro como la que se usó para averiguar el ensanchamiento del puerto (factor k: Ilustración 10: Macros/Solver/Calculate port extension coefficient). Esta vez, debíamos ir a Macros/Calculate/Calculate analytical Line Impedance. Es un simulador muy parecido al TX LINE pero éste viene integrado ya en el CST STUDIO:

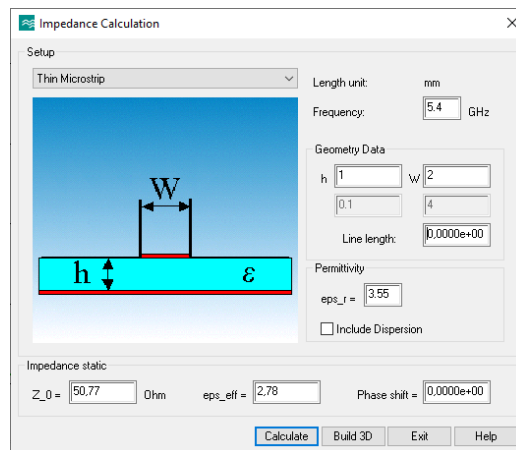


Ilustración 24: Impedance Calculation

Gracias a esta simulación y los cálculos de CST STUDIO, se consiguió cambiar este parámetro para que la adaptación fuese realizada y obtener los 50Ω deseados para estos dos puertos.

## 4.2 Antena adaptada al sistema óptico

Una vez tenemos el diseño de la antena del artículo científico, nos damos cuenta que se le podrían hacer mejoras y unos cambios para poder adaptar esta antena a nuestra arquitectura óptica.

Esos cambios fueron, sobre todo, el lugar de los puertos. Se cambiaron los puertos hacia un extremo para que fuera más fácil acoplar luego el láser y el fotodetector. El TOSA y ROSA, como comentaremos en el Capítulo 5: Acoplo a sistema óptico, vienen en un módulo transceptor juntos, por este motivo era interesante que los puertos estuvieran más cerca. El único peligro que había ahora, es que la los puertos podían no estar tan aislados como antes. También había que ajustar algunos parámetros para que los anchos de los parámetros S no se vieran muy afectados y para que, la impedancia de entrada en los puertos siguieran estando adaptados

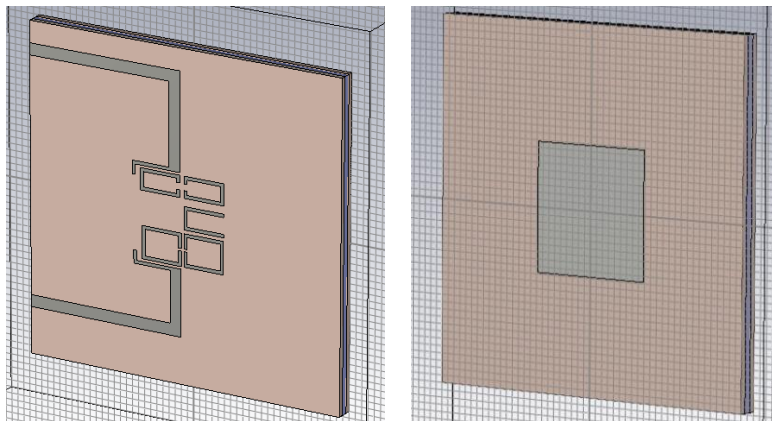


Ilustración 25: Vista de la antena (front and back)

Haciendo simulaciones y optimizaciones sacamos los resultados de los parámetros S, Impedancia de entrada y Radiación significativos para el proyecto.

- PARAMETROS S – Ancho de banda

Los coeficientes de reflexión en los dos puertos y el aislamiento entre ellos se miden y se presentan a continuación:

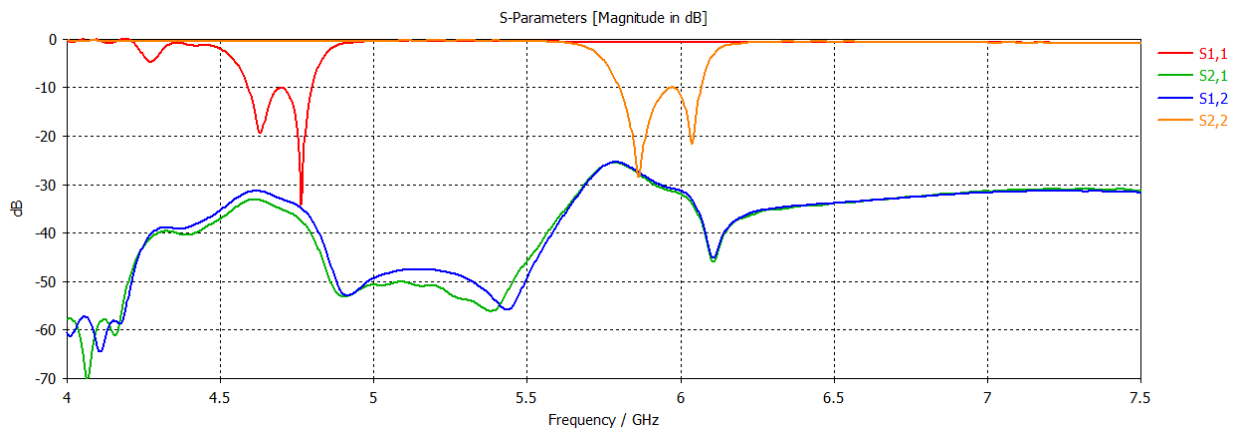


Ilustración 26: Representación de los parámetros S

Los resultados medidos coinciden con las simulaciones del diseño original, mostrando dos bandas de operación:  $FBW_1$  para enlace ascendente y  $FBW_2$  para el enlace descendente.

$$FBW_1 = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \cdot 100 = \frac{4.798 - 4.593}{4.7} \cdot 100 = 4.4\% \quad (9)$$

$$FBW_2 = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \cdot 100 = \frac{6.066 - 5.800}{6} \cdot 100 = 4.4\% \quad (10)$$

La antena tiene un buen aislamiento entre canales de 15 - 25 dB en ambas bandas como lo indica S12 y S21.

Para conseguir estos resultados se tuvo que modificar los parámetros de D1, D2, D3, D4, los parámetros de distancia entre resonadores y el Hairpin en U. Ahora, se puede ver ahora como el acercamiento de los puertos hace que no estén tan aislados como antes.

- IMPEDANCIA DE ENTRADA

La impedancia de entrada que conseguimos en este nuevo diseño es un poco más exacta a 50Ω que la anterior, gracias al cambio de anchura del puerto.

- RADIACIÓN

Aquí vamos a mostrar la representación gráfica de las características de radiación de la antena, en función de la dirección (coordenadas en azimut y elevación) y en 3D para que sea más visual.

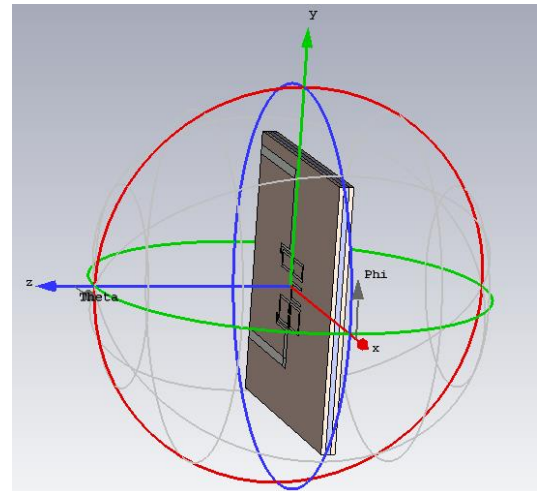


Ilustración 27: Visión de la antena y la perspectiva de la radiación

Para el primer resonador de frecuencia 4,7GHz, el diagr

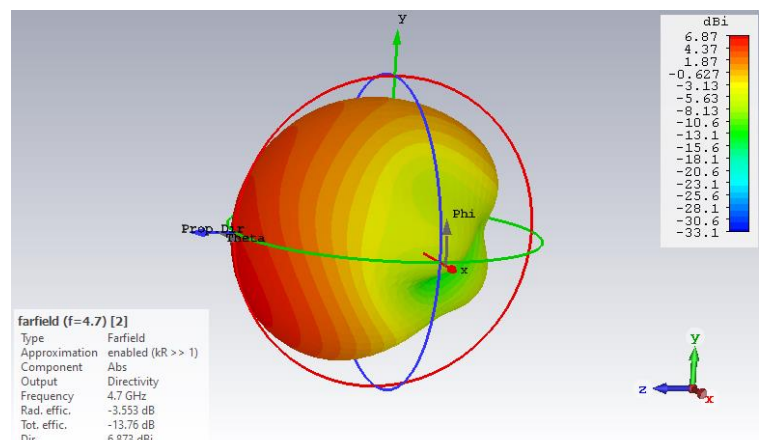
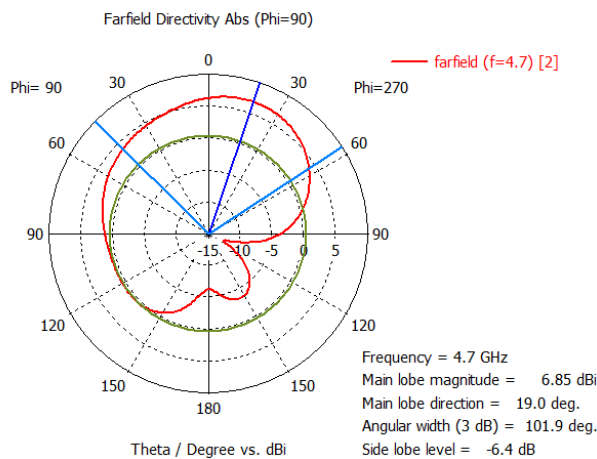


Ilustración 28: Diagrama de radiación del primer resonador en polares y en 3D

Para el segundo resonador de frecuencia 6 GHz, el diagrama de radiación es:

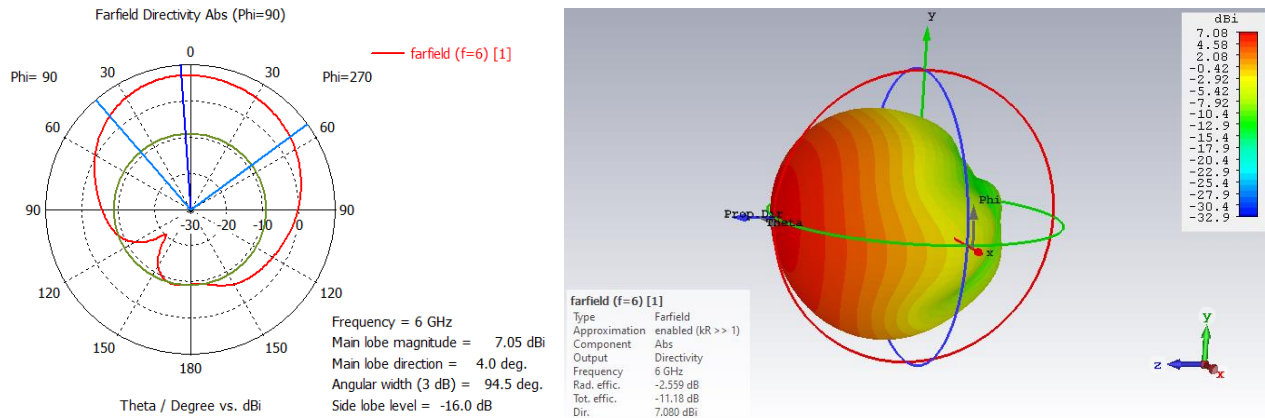


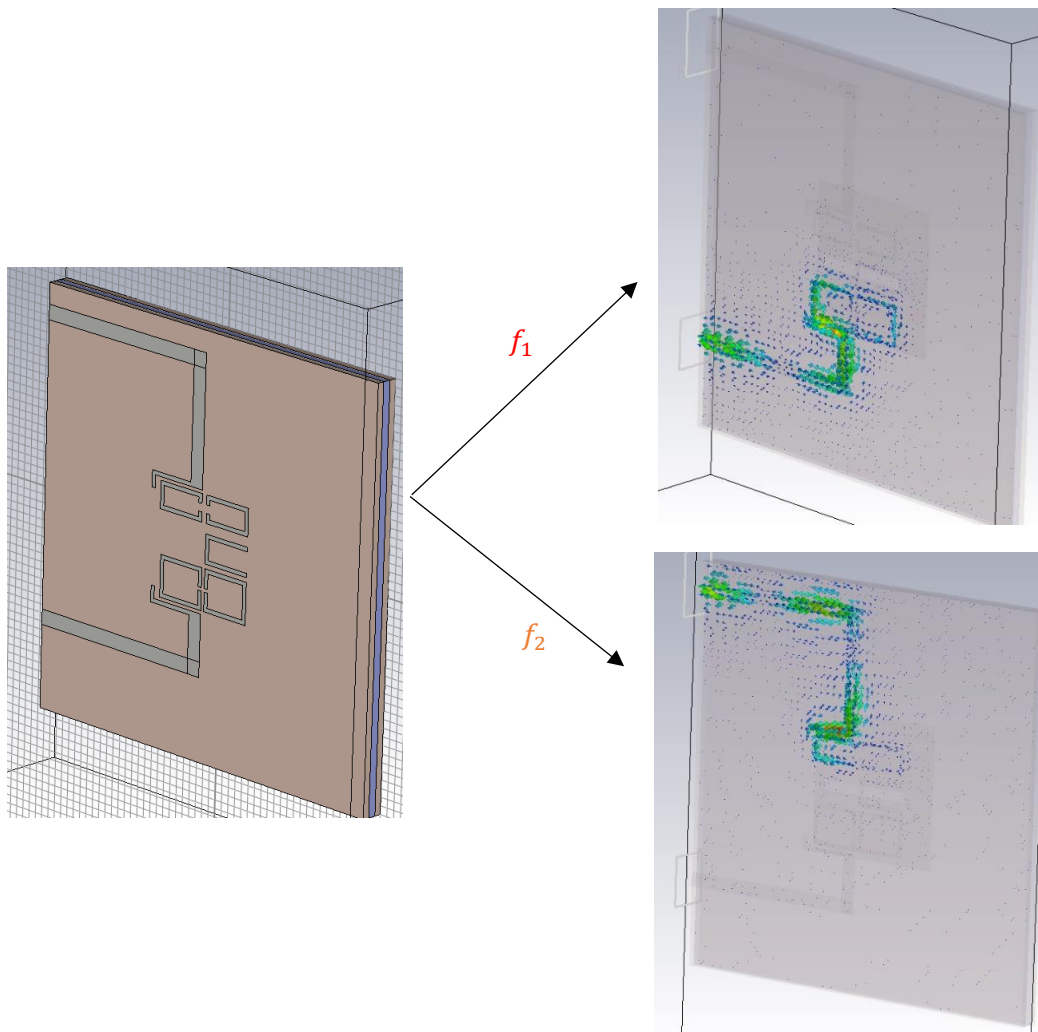
Ilustración 29: Diagrama de radiación del segundo resonador en polares y en 3D

Ambas frecuencias tienen diagramas de radiación parecidos con una directividad similar en unos 7 dBi. Es un resultado esperado, ya que las antenas planas suelen radiar en el eje Z, si el plano que usan es el XY.

Además, se puede observar que la mayor radiación de esta antena se produce en el lóbulo principal. Los lóbulos secundarios de la antena, generan interferencia, y en nuestra antena es aquel que apunta hacia los 180°. Por lo tanto, el nivel entre lóbulo principal y el lóbulo secundario deben ser lo más grande posible.

El lóbulo principal de esta antena, respecto a la anterior, es que su lóbulo principal es más ancho, pero el secundario es parecido.

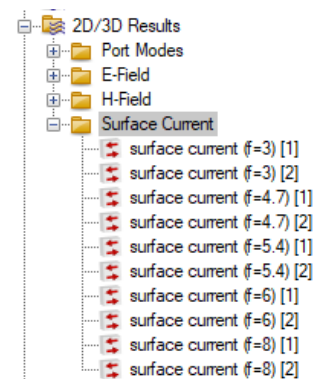
El flujo de corrientes también son datos curiosos de observar porque, se puede ver como la corriente fluye según la frecuencia seleccionada en el simulador.



Il·lustració 30: Distribució de les correntes en la antena microstrip

Depende la freqüència en la que estés, funcionarà un resonador o el altre, i se veurà el flux recórrer els ports i els resonadors.

Para crear esta simulación, debemos irnos a la ventana Navigation Tee a 2D/3D Results y luego a la subcarpeta Surface Current (Ilustración 31). Una vez ahí, seleccionas la frecuencia (que está entre paréntesis) que te interesa y en que puerto (entre corchetes [ ]) quieres verla.



Il·lustració 31: Surface Current



# 5 Acoplo a sistema óptico

En este capítulo, se hará el análisis teórico del acoplo del sistema óptico, con el láser TOSA y el fotodetector ROSA, con la antena.

## 5.1 Explicación general del sistema

Una vez tenemos el diseño de la antena, debemos ver como adaptar el fotodetector y el láser en nuestro sistema. La idea principal de funcionamiento de este sistema óptico es el siguiente:

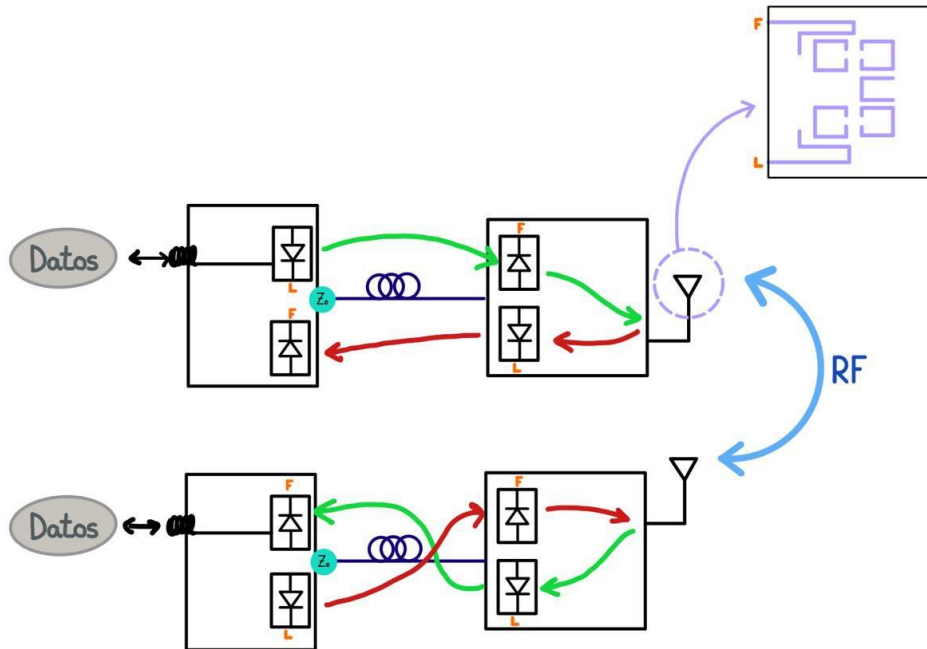


Ilustración 32: Diagrama de bloques del sistema RF/Óptico

El sistema se puede ver en dos partes o caminos diferenciados, teniendo en cuenta la dirección de la señal. En el camino verde, tenemos la parte de enlace descendente, que se entiende como la ruta que sigue la señal desde la oficina central hasta la antena. Por otro lado, el camino rojo que va al revés, es el enlace ascendente. La fibra óptica tiene circuladores para que la señal vaya an ambas direcciones.

Además, como se muestra en la Ilustración 32, se puede ver el funcionamiento del sistema:

La señal llega desde la oficina central a través de una fibra óptica al fotodiodo, que se alimenta a la inversa a través de una línea de transmisión microstrip. La función principal del fotodiodo es convertir la señal de luz de la fibra óptica en la señal de RF a la frecuencia de enlace descendente de nuestro sistema.

La antena es el dispositivo responsable tanto de transmitir la señal generada con el fotodiodo como de recibir la señal y transmitirla al láser. Una vez que la señal alcanza el láser, se convierte en una señal de luz que se propagará a través de la fibra óptica.

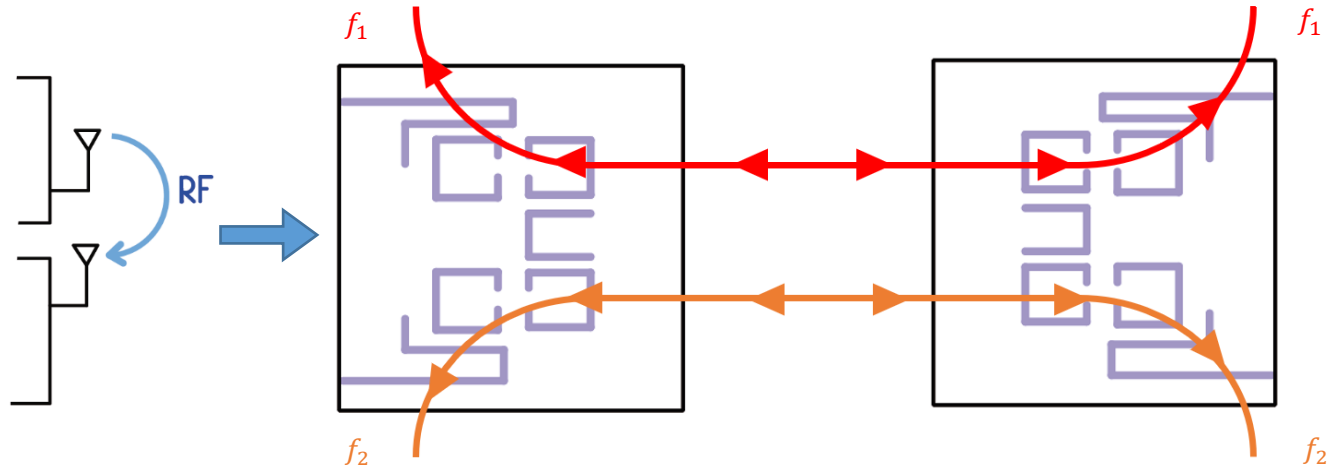


Ilustración 33: Funcionamiento del full-duplex en la antena

Como se muestra en la Ilustración 33, la señal de RF pasa a través de los resonadores, llamados también duplexores y éstos, son los elementos del sistema que regulan las frecuencias que llegan al fotodiodo y al láser. El duplexor estará optimizado de tal manera, que las frecuencias que provienen del fotodiodo no llegan al láser y las únicas frecuencias que llegan al láser, son las recibidas en la antena. Además, el duplexor funciona al revés, no permitiendo que las frecuencias recibidas desde la antena lleguen al fotodiodo.

Con este diseño de antena se logra la coincidencia de impedancia entre un fotodetector/láser y el puerto de la antena. Entonces, el fotodetector está conectado casi directamente a la antena, que también está conectada al láser, de modo que la señal del fotodiodo llega directamente a la antena y la señal recibida de la antena llega directamente al láser. Esto da como resultado, un diseño altamente compacto, que también evita las pérdidas y la radiación espuria. Además, al estar el fotodetector conectado casi directamente a la antena, está diseñada como una carga, de modo que se optimiza la potencia extraída y radiada.

Para conseguir la adaptación entre el láser y el fotodetector se tuvo que diseñar una línea de transmisión de  $50\Omega$  para el sustrato específico. Este aspecto ha sido importante porque, si la línea no estuviera adaptada se perdería parte de la señal que transmitimos y parte de la señal que se recibe, por eso, se ha repetido tanto este concepto y se ha marcado como uno de los objetivos más importantes. Gracias al sustrato RO 4003C y a la altura de 2,626mm, se pudo calcular que el ancho de la línea de alimentación era de 2mm (Ilustración 24: Impedance Calculation).

A continuación, en el punto 5.2, se verán los datasheets de ambos componentes. En ellos se especifica como el fotodetector necesita una impedancia de salida de  $50\Omega$ , pero para el láser, necesita una impedancia de entrada de  $9\Omega$ .



## 5.2 Láser TOSA y fotodetector ROSA

Los transceptores de fibra óptica son componentes clave de la red de transmisión de fibra óptica. Están diseñados en un formato pequeño con algunos subconjuntos ópticos integrados que pueden ser adecuados para redes de alta densidad. Hemos encontrado este módulo transceptor que se adecua al diseño que queremos hacer [4].

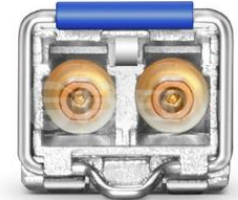
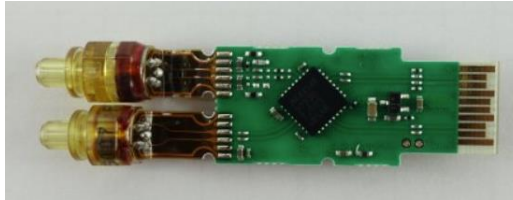


Ilustración 34: Módulo transceptor

Ilustración 36: Interior del Módulo transceptor, TOSA+ROSA+PCB

Ilustración 35: Conectores LC

Los principales componentes de costo de un módulo transceptor son el subconjunto óptico del transmisor (TOSA) y el receptor (ROSA). La idea de este proyecto es coger el transceptor y desmontar el láser y el fotodetector de dentro. Este switch se puede comprar por un precio bastante asequible en internet [4]. Se ha elegido este láser y este fotodetector por sus características y su precio, ya que comprar un láser y un fotodetector por separado tienen un precio muy elevado. De esta manera, nuestro sistema no será muy caro y será muy atractivo para aquellos que necesiten un sistema de transmisión de datos óptico/RF low cost.

El **TOSA** es nuestro transmisor que consta de un diodo láser y dependiendo de la funcionalidad y aplicación requeridas, también pueden estar presentes otros componentes, incluidos elementos de filtro y aisladores. Se utiliza para convertir la señal en una señal óptica acoplada a un cable de fibra óptica.

El **ROSA** es nuestro receptor que consta de un fotodiodo, que convierte una señal óptica recibida en una señal de corriente eléctrica, es decir, se transforma una señal óptica de una fibra y la convierte nuevamente en una señal eléctrica.

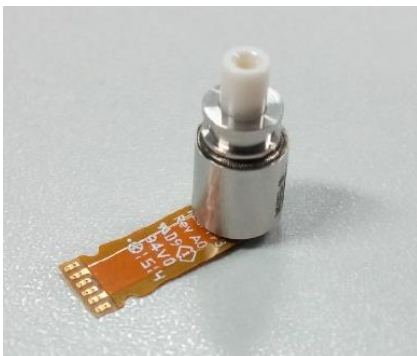


Ilustración 38: Imagen y esquemático PINOUT del TOSA

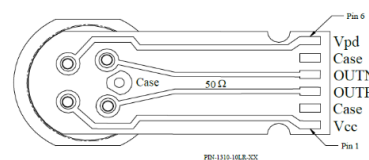


Ilustración 37: Imagen y esquemático PINOUT del ROSA

### 5.2.1 Características del Láser TOSA

	Parameter Rating	Parameter Rating	Checks
1	Storage Temperature	-40 to +85°C	✓
2	Case Operating Temperature	-5°C to +85°C	✓
3	Lead Solder Temperature	260°C, 10 sec.	✓
4	Continuous Optical Power	20mW	✓
5	Laser Diode Reverse Voltage	2V	✓
6	Laser Diode Continuous Forward current	130 mA	✓
7	Monitor Photodiode Reverse Voltage	10V	✓
8	Monitor Photodiode Reverse Current	2mA	✓

Estos son algunos de los datos interesantes que nos da el datasheet [2] del láser:

Parameters	Test Condition	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Threshold current	T = 25°C T = T <sub>Range</sub>	I <sub>th</sub>		8	26	mA	
Slope efficiency	T = 25°C	SE	0.02			mW/mA	
TOSA Input Resistance	I=I <sub>op</sub> , T=T <sub>range</sub>	R <sub>diff</sub>			9	Ohms	
Bandwidth	I=I <sub>op</sub> , T=25°C	S21	7.5			GHz	

Ilustración 39: Datasheet del TOSA

- **Threshold current:**

Es la corriente mínima necesaria para hacer que el dispositivo se active. En otras palabras, debemos polarizar el laser de forma que la máxima potencia de RF que se ponga, sea aquella que nos asegure que no recortará la señal que quede por debajo del Threshold.

Entonces, la potencia de salida del láser por encima del umbral es:

$$P = (I_{Laser} - Threshold) \cdot SE = (130mA - 20mA) \cdot 0,02mW/mA = 2.2mW \quad (11)$$

Este resultado sale, cuando escoges el mínimo Slope Efficiency que te da el fabricante. El Slope Efficiency es la pendiente de la recta que se crea, cuando se dibuja la potencia de salida del laser frente corriente. Por encima del umbral de láser, la curva resultante suele estar cerca de una línea recta.

Un valor tipico es 0.2 mW/mA, de esta manera la potencia será de:

$$P = (I_{Laser} - Threshold) \cdot SE = (130mA - 20mA) \cdot 0,2mW/mA = 22mW \quad (12)$$

Que es un valor bastante más razonable, ya que la potencia máxima del láser son 20mW. Igualmente, sería idonio ir al laboratorio y calcular la Slope Efficiency real de este láser, ya que el fabricante solo nos garantiza el mínimo.

Según el PD BIAS del fotodetector, la excursión del BIAS al Threshold es la señal máxima de RF que se podrá poner. Al polarizarlo, le ponemos una corriente de 130mA, le restamos el Threshold de 20mA y lo dividimos entre 2 para sacar la amplitud:

$$\frac{(130mA - 20mA)}{2} + 20mA = 75mA \sim 70mA \quad (13)$$

El +20mA que ponemos al final de corriente, es para no estar por debajo del Treshold y así, poder estar entre la corriente Treshold y el máximo.

Para no apurar demasiado, escogeremos el valor de 70mA para hacer los próximos cálculos: Entre 70 mA y 20 mA que puede ofrecernos el láser, tenemos 50mA de margen, y otros 50mA hasta 120, esto significa que nos quedaríamos 10mA del máximo de corriente escogiendo los 70mA de la Ecuacion 13.

Se entinde mucho mejor con este gráfico de acontinuación:

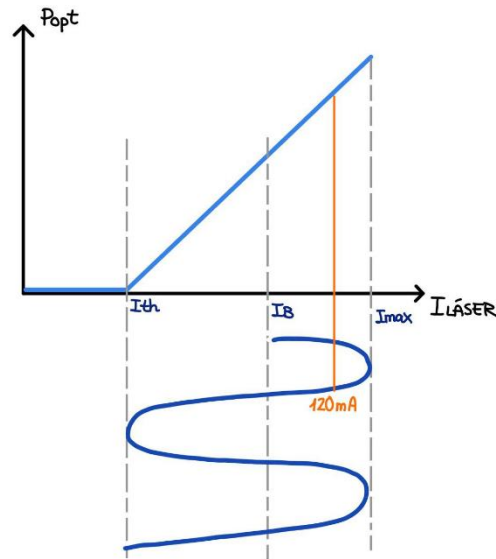


Ilustración 40: Gráfica de la Potencia óptica vs Corriente del laser

Por lo tanto, la resistencia que necesitamos para calcular la potencia máxima de RF és:

$$\frac{V_{TOSA/ROSA \text{ datasheet}}}{70mA} = \frac{4V}{70mA} = 57,14 \sim 60\Omega \quad (14)$$

Una vez tenemos que la resistencia que necesitamos para el láser es de 60Ω, ya podemos calcular la Potencia máxima de RF:

$$P = \frac{50^2mA \cdot 60\Omega}{2} = 0.075W \sim 75mW \rightarrow 18.7dBm \quad (15)$$

Se divide entre 2 para sacar la potencia de pico.

- TOSA Input Resistance:  
La impedancia del láser es pequeña: 9Ω
- Bandwidth:  
Este es máximo al que puede llegar. Nuestro laser y fotodetector están por debajo de 7.5Ghz porque la antena se ha diseñado para que se cumpla este requisito.

### 5.2.2 Características del Fotodetector ROSA

	Parameter Rating	Parameter Rating	Checks
1	Storage Temperature	-40 to +85°C	✓
2	Case Operating Temperature	-10 to +85°C	✓
3	Lead Solder Temperature	260°C, 10 sec.	✓
4	Power Supply Voltage	-0.5V to 4V	✓
5	Incident Optical Power	+3 dBm average, +5 dBm peak	✓

Estos son algunos de los datos interesantes que nos da el datasheet [3] del fotodetector:

Parameters	Test Condition	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Input Optical Wavelength		$\lambda_P$	1260		1620	nm	
PD Responsivity	$\lambda = 1310\text{nm}$	Resp	0.8	0.85		A/W	1
PD Bias		$V_{PD}$	3.0	3.3	3.6		
-3dB Optical/Electrical Bandwidth	$T_A = 25^\circ\text{C}$	BW	7.5			GHz	1,2,3
Output Impedance		$Z_{OUT}$	40	50	60	$\Omega$	
Output Return Loss	$R_0=50\Omega, DC 10\leq\text{GHZ}$	$S_{22}$			-7	dB	

- **Input Optical Wavelength**  
Mientras la energía del fotón esté por encima del gap, se detectará
- **PD Responsivity**  
La capacidad de respuesta mide la ganancia de entrada-salida de un sistema detector. En el caso específico de un fotodetector, la capacidad de respuesta mide la salida eléctrica por entrada óptica.
- **Output Imedance:**  
La impedancia del fotodetector estará entre 40 y 60 $\Omega$ .
- **PD Bias**  
Esto nos quiere decir que para una Responsivity de 1300nm, el voltaje debe ser 3V para que funcione correctamente.

### 5.3 Placa del TOSA y ROSA

En esta sección, se explica como se debería unir el TOSA y el ROSA en una placa test y como se debería adaptar en un futuro a la antena. Antes de todo, se debería ir al laboratorio ha hacer las medias pertinentes de ambos elementos ópticos. A causa de la pandemia, no se pudo realizar estas pruebas y por este motivo, todo lo que viene a continuación es una propuesta para la persona que continúe con este proyecto.

Una vez se hayan hecho las medias de impedancias del TOSA y ROSA, de la Slope Efficiency real y se hayan comprobado los datos de los datasheets; se deben crear los circuitos equivalentes en ADS para poder simularlos. Luego, se debe crear una distribución eficiente para colocar el TOSA y ROSA, junto los componentes que sean necesarios en la placa test.

### 5.3.1 Esquemas ADS

Lo más importante a la hora de crear una red de polarización es que podamos eliminar su efecto en ADS. Porque, gracias a las librerías que hay en este programa, se pueden hacer simulaciones reales. Cuando se dice ‘reales’ quiere decir, que los elementos resistivos incluyen las cargas parásitas, que son elementos que de verdad influyen en los dispositivos.

El fotodetector debe estar alimentado en continua mientras recibe la señal de RF, por lo que se debería utilizar un bias tee para no permitir que la señal DC pase al receptor, y viceversa.

Debido a que no se conocen los componentes de polarización, la complejidad aumenta. La solución al problema, es incluir en el circuito equivalente, un DC-Block conocido para imitar el comportamiento de polarización, y una inductancia, para evitar que la corriente continua pase, pero no vuelva por ese camino. En el esquemático de la Ilustración 41 e Ilustración 42 se ve más claro:

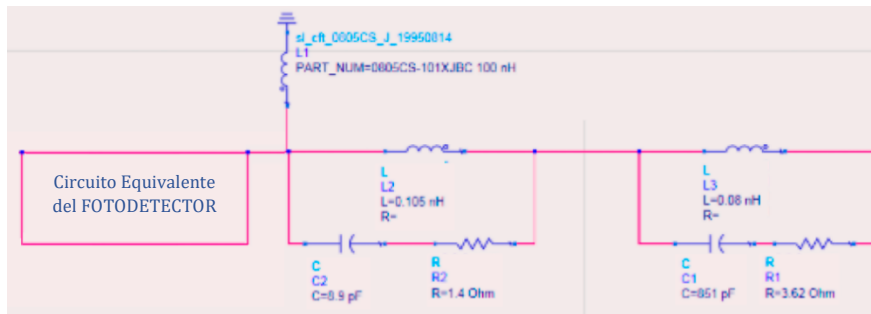


Ilustración 41: Esquema de ADS del circuito equivalente del fotodetector y DC-Block

Se debería estudiar el circuito equivalente del Fotodetector ROSA y colocarlo en la parte izquierda de la Ilustración 41, en la parte derecha encontramos el DC BLOCK y la inductancia esta en el centro. La función de la inductancia es convertirse en un hilo conductor cuando pasa la corriente continua, pero a la vez, se convierte en un bloqueo (circuito abierto), para la señal RF. De esta manera, la señal RF no puede volver y no se pierde señal.

En cuanto al láser, también debe ser alimentado por continua. El circuito equivalente, es parecido al utilizado con el fotodetector. En este caso, se observó que la corriente de salida del láser variaba mucho con pequeños cambios en el voltaje. Por lo tanto, para tener un mejor control de la corriente del láser, se colocaron tres resistencias en serie después de la inductancia. Como la resistencia del láser era  $60\Omega$  (calculado en la Ecuación 14), se han colocado tres de  $20\Omega$ .

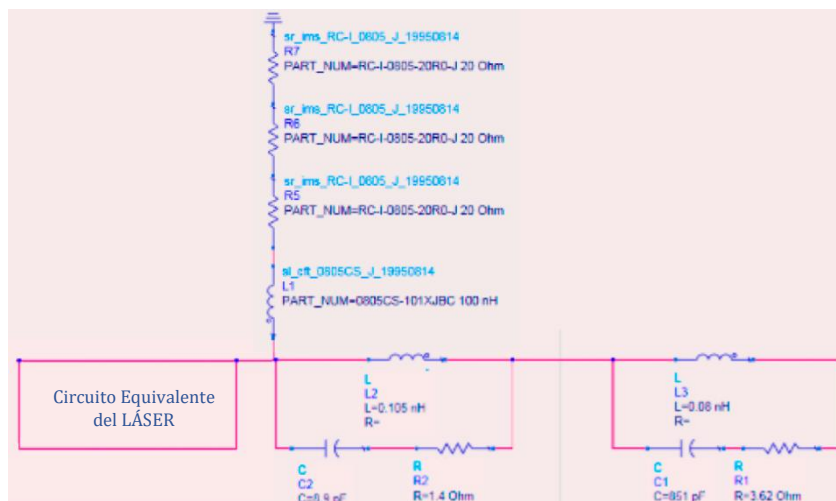


Ilustración 42: Esquema ADS del circuito equivalente del láser y DC-Block

Se colocan las 3 resistencias, porque no pueden sobrepasar más de los 250mW cada resistencia, entonces la corriente de DC que se le pasa es:

$$(130mA)^2 * 60\Omega = 0.3W \quad (13)$$

Entonces, es mejor dividir esta resistencia en 3 de ellas porque la corriente que pase a través de ellas, será tres veces más pequeña. En concreto, 100mW.

Al igual que con el fotodetector, encontramos el circuito equivalente del Láser a la izquierda de la Ilustración 42, a la derecha encontramos el DC-Block y en el centro, tenemos las 3 resistencias en serie y la inductancia, que hará el mismo papel que hizo con el fotodetector.

### 5.3.2 Distribución de la placa

Una vez se tengan estos esquemas, se deberían simular y ver los valores de los parámetros S para hacer los cambios pertinentes y se ajuste a las frecuencias que nos interesan. También hay que ajustar los valores del circuito para conseguir la impedancia deseada y obtener un buen comportamiento. Un esquema representativo de como debería ser la placa test:

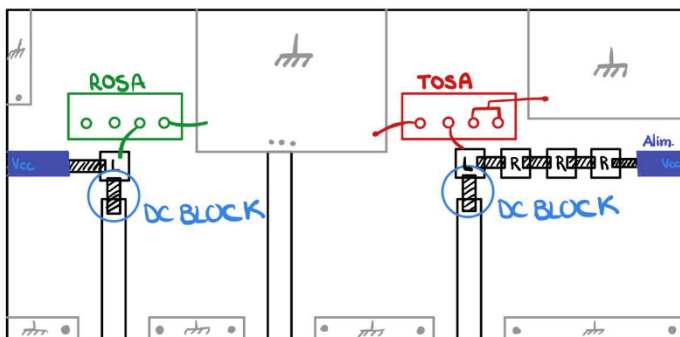


Ilustración 44: Esquema de la placa propuesta

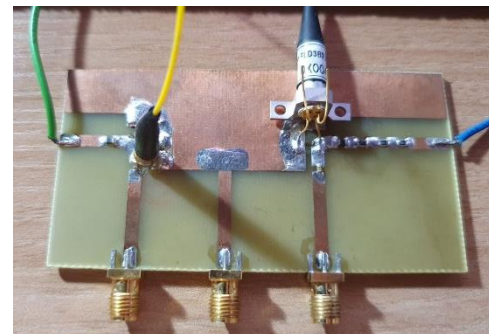


Ilustración 43: Placa similar a la propuesta

En el esquema se puede ver como en el puerto de entrada del láser, tenemos el DC-Block, siguiéndole la inductancia y las 3 resistencias SMD conectadas en serie. También hay varios planos de masa distribuidos por toda la placa para que sea más fácil de acceder y fabricar. Siguiendo los esquemas de los datasheets del TOSA y ROSA, podemos ver el PINOUT (Ilustración 37 y Ilustración 38) de cada uno y así poder distribuirlo en la placa.

En el caso del fotodetector, se puede ver también la conexión del DC-Block en el puerto y la inductancia L. El conector de medio que tiene un cortocircuito, sirve para la calibración y para hacer la medida en ese punto, para saber dónde estamos midiendo.

En principio, el TOSA y ROSA, como se pueden alimentar con el mismo voltaje (4V), se podría estudiar otra opción de alimentación, una dónde se pudieran unificar para no tener que alimentarla por estos dos lados de la placa.

La Ilustración 43 podemos ver una placa similar a la que queremos construir. Ésta tiene un láser y un fotodetector distintos al que queremos nosotros, pero cuenta también con los DC-Block y el láser tiene las 3 resistencias en serie.

Para acabar con este sistema, se le añadirá la placa test a la antena propuesta del punto 4.2. Debido al hecho de que el fotodiodo (el receptor) y el láser (el emisor) comparten la misma antena, se necesita un duplexor, en este caso será el Hairpin central a  $f_0$ , que se mencionó en el Capítulo 4 de este proyecto. Éste, permite la comunicación bidireccional a través de una única ruta, aislando el transmisor del receptor y viciversa. Este aislamiento lo hace a través de la frecuencia, porque es una de las maneras más fácil ya que el laser y el fotodetector utilizan frecuencias diferentes.

En método es utilizado para el aislamiento a través del dominio de frecuencia porque el fotodiodo y el láser utilizan diferentes frecuencias. Además, esta es una técnica prometedora para 5G, ya que aborda cuestiones como el rendimiento, la eficiencia espectral, la latencia y la conectividad.



## 6 Conclusiones

Aunque el diseño del sistema completo de antena y sistema óptico no se logró hacer por una pandemia, se ha demostrado que trabajar con un sistema compacto que maneja dos bandas de frecuencia diferentes es una solución válida para lograr un sistema de potencia efectiva para una comunicación bidireccional, por lo menos con simulaciones.

En este proyecto, se ha diseñado una antena full-duplex de banda dual de doble puerto usando CST, una herramienta EM con características de filtrado para cumplir con los requisitos de nuestros elementos ópticos TOSA y ROSA. Tal sistema de señal RF/Optico, podría reducir significativamente el volumen y el costo de los módulos Tx / Rx combinando las antenas Rx y Tx y escogiendo un láser y un fotodetector de un switch.

En el caso de la antena, y a pesar de no tener todas las medidas correspondientes y cambiando otras para conseguir los objetivos, la generación de ceros de transmisión adicionales gracias a los resonadores hairpin han hecho posible la mejora de la selectividad de frecuencia en banda y el rechazo fuera de banda. Otra ventaja de esta antena dúplex de filtrado, es la eliminación de las interfaces basadas en la línea de transmisión y las pérdidas asociadas con ellas. También, otro de los objetivos importantes a la hora de fabricar esta antena era el aislamiento entre puertos y su adaptación para poder conectarle en un futuro el láser y el fotodetector.

Como líneas futuras, la antena debería ser fabricada y medirse en el laboratorio para poder hacer una comparación entre las simulaciones y los datos reales. Luego, el sistema óptico debería simularse y crearse para ver que todo funcione como se esperaba. Los esquemáticos tanto del láser como el fotodetector deberían revisarse y moldearse para las frecuencias que se necesitan y, de esta manera, se podrá crear una placa que contenga estos dos elementos ópticos. Una vez se tenga la antena impresa y la placa del TOSA y ROSA, ya se podrán hacer simulaciones y pruebas en el laboratorio y comprobar que todo el estudio hecho es correcto y funciona.

Si las pruebas en el laboratorio salen correctas, tendremos un sistema RF/Óptico compacto y no excesivamente caro para usarlo en otras aplicaciones tecnológicas.

Otra línea de investigación interesante, es el estudio de las antenas multibanda microstrip. Es un campo muy amplio, con geometrías y formas de slot distintos, con sustratos y espumas diferentes, con distintos resonadores de línea, con más o menos dimensión, etc. Hay infinitas variedades que, en este proyecto, no se ha podido abarcar sobre las antenas microstrip y sería interesante, probar todas estas opciones y ver como influyen en los resultados.



# 7 Bibliografía

[1] Dual-Band Full-Duplex Tx/Rx Antennas for Vehicular Communications

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8245830>

[2] Datasheet LASER TOSA - 1310nm\_dfb\_laser\_diode\_lc\_tosa\_dfb-1310-10lr-lca

[https://www.finisar.com/sites/default/files/downloads/1310nm\\_dfb\\_laser\\_diode\\_lc\\_tosa\\_dfb-1310-10lr-lca.pdf](https://www.finisar.com/sites/default/files/downloads/1310nm_dfb_laser_diode_lc_tosa_dfb-1310-10lr-lca.pdf)

[3] Datasheet FOTODETECTOR ROSA - finisar\_pin-1310-10lr-

lc\_10\_gbps\_1310nm\_pin\_preamp\_lc\_rosa\_package\_product\_specification\_rev\_c1

[https://www.finisar.com/sites/default/files/downloads/finisar\\_pin-1310-10lr-lc\\_10\\_gbps\\_1310nm\\_pin\\_preamp\\_lc\\_rosa\\_package\\_product\\_specification\\_rev\\_c1.pdf](https://www.finisar.com/sites/default/files/downloads/finisar_pin-1310-10lr-lc_10_gbps_1310nm_pin_preamp_lc_rosa_package_product_specification_rev_c1.pdf)

[4] Transceptor óptico: <https://www.fs.com/es/products/11555.html>

---

General informarmation about TOSA and ROSA:

<https://www.datasheet.live/index.php?title=Special:PdfViewer&url=https%3A%2F%2Fpdf.datasheet.live%2F50d43518%2Fncel.com%2FNX7328BF-AA.pdf>

Libro 'microstrip filters for rf/microwave applications'

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=vj0hz1KUAXoC&oi=fnd&pg=PR5&dq=microstrip+filters+for+rf/microwave+applications&ots=1VpFMSwGe2&sig=M\\_oy-TTffDEB4eZerExrynpeP8Q#v=onepage&q=microstrip%20filters%20for%20rf%2Fmicrowave%20applications&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=vj0hz1KUAXoC&oi=fnd&pg=PR5&dq=microstrip+filters+for+rf/microwave+applications&ots=1VpFMSwGe2&sig=M_oy-TTffDEB4eZerExrynpeP8Q#v=onepage&q=microstrip%20filters%20for%20rf%2Fmicrowave%20applications&f=false)

Articulos como:

Diseño y simulación de una antena microcinta rectangular a la frecuencia de 2,4 ghz design and simulation of rectangular microstrip antenna to the frequency of 2,4 ghz

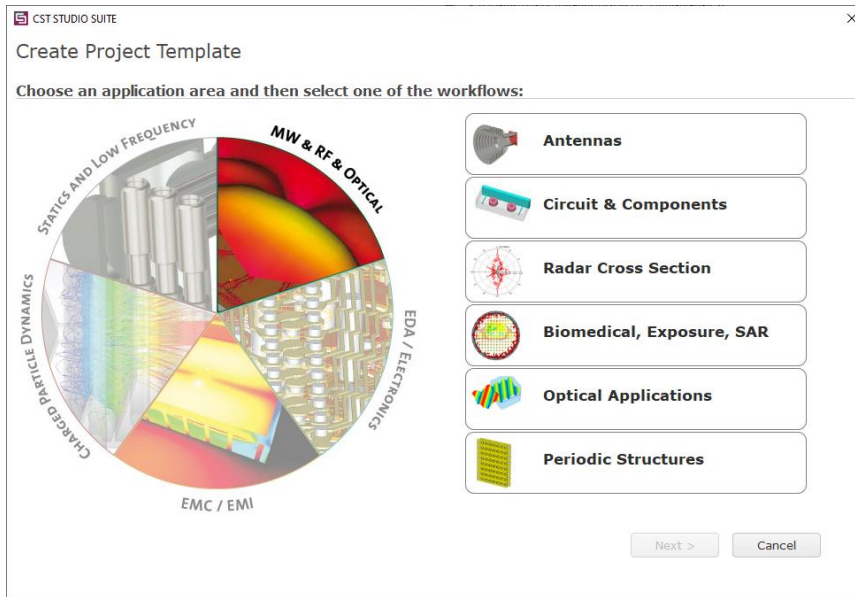
[https://www.researchgate.net/publication/294892946\\_DISENO\\_Y\\_SIMULACION\\_DE\\_UNA\\_ANTENA\\_MICROCINTA\\_RECTANGULAR\\_A\\_LA\\_FRECUENCIA\\_DE\\_24\\_GHZ\\_DESIGN\\_AND\\_SIMULATION\\_OF\\_RECTANGULAR\\_MICROSTRIP\\_ANTENNA\\_TO\\_THE\\_FREQUENCY\\_OF\\_24\\_GHZ](https://www.researchgate.net/publication/294892946_DISENO_Y_SIMULACION_DE_UNA_ANTENA_MICROCINTA_RECTANGULAR_A_LA_FRECUENCIA_DE_24_GHZ_DESIGN_AND_SIMULATION_OF_RECTANGULAR_MICROSTRIP_ANTENNA_TO_THE_FREQUENCY_OF_24_GHZ)

Microstrip Patch Antenna Design, A Novel Approach

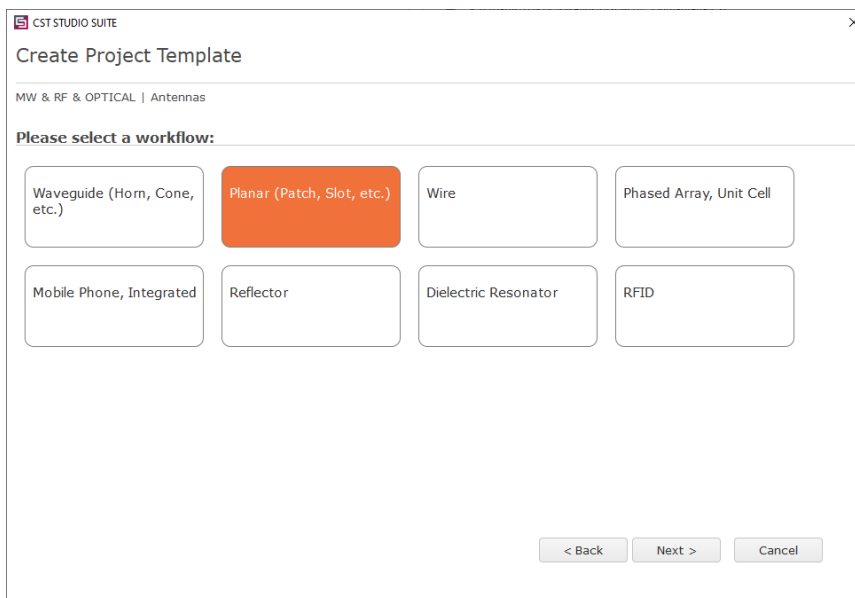
[https://www.researchgate.net/publication/310441775\\_Microstrip\\_Patch\\_Antenna\\_Design\\_A\\_Novel\\_Approach](https://www.researchgate.net/publication/310441775_Microstrip_Patch_Antenna_Design_A_Novel_Approach)

# 8 Anexos

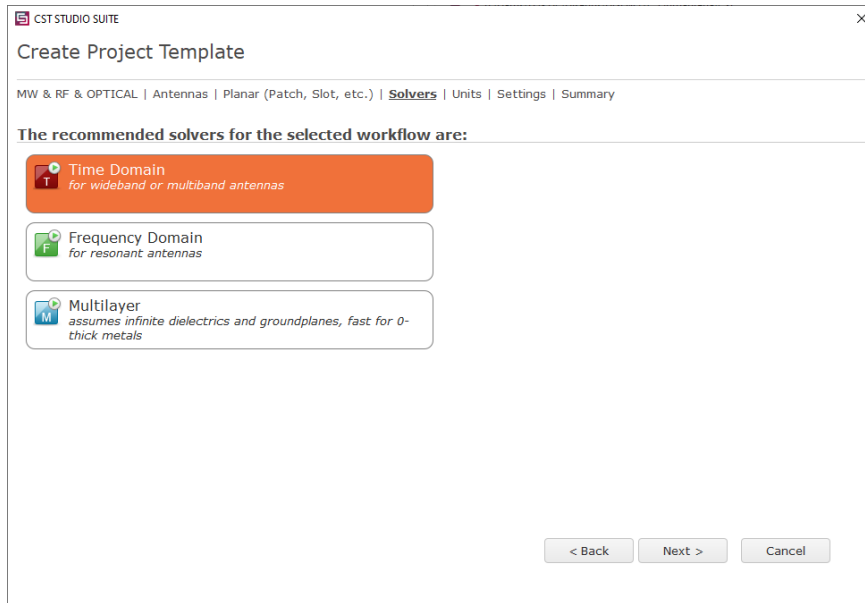
Para crear un nuevo proyecto dentro del programa, deberemos de rellenar ciertos datos. CST nos llevará por una serie de ventanas preguntando, que tipo de objeto se quiere simular:



*Ilustración 45: Create a project/MW&RF&Optical/Antennas*

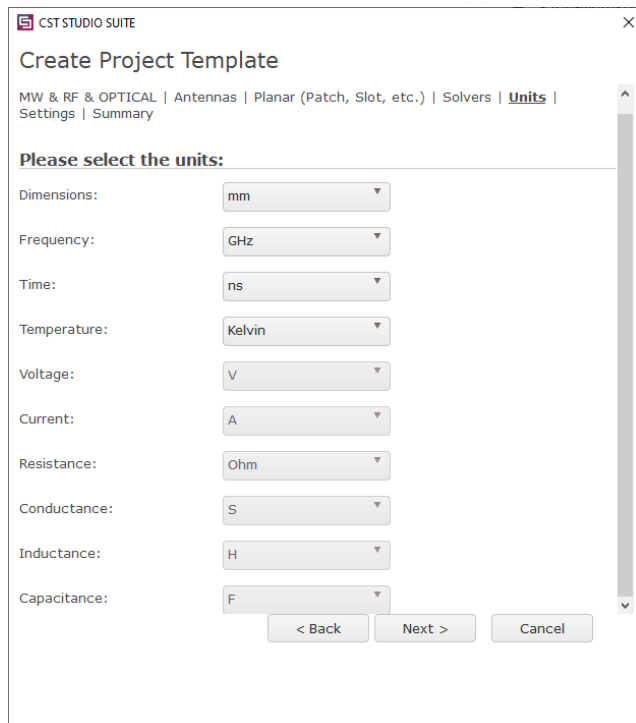


*Ilustración 46: Que tipo de antena se quiere hacer*

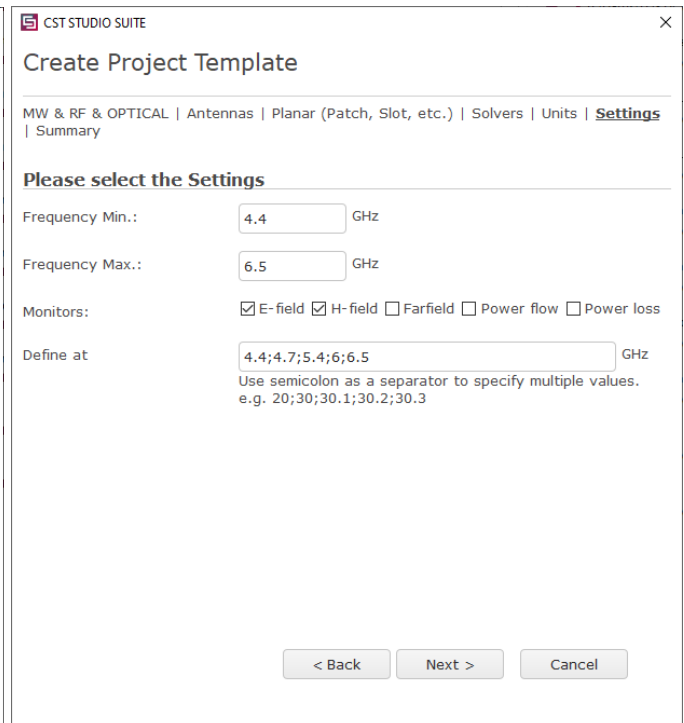


Il·lustració 47: Time Domain

A nosotras nos interesará el análisis en time domain, es por eso que hay que escogerlo entre estos 3 y luego especificar los datos en la siguiente pantalla:

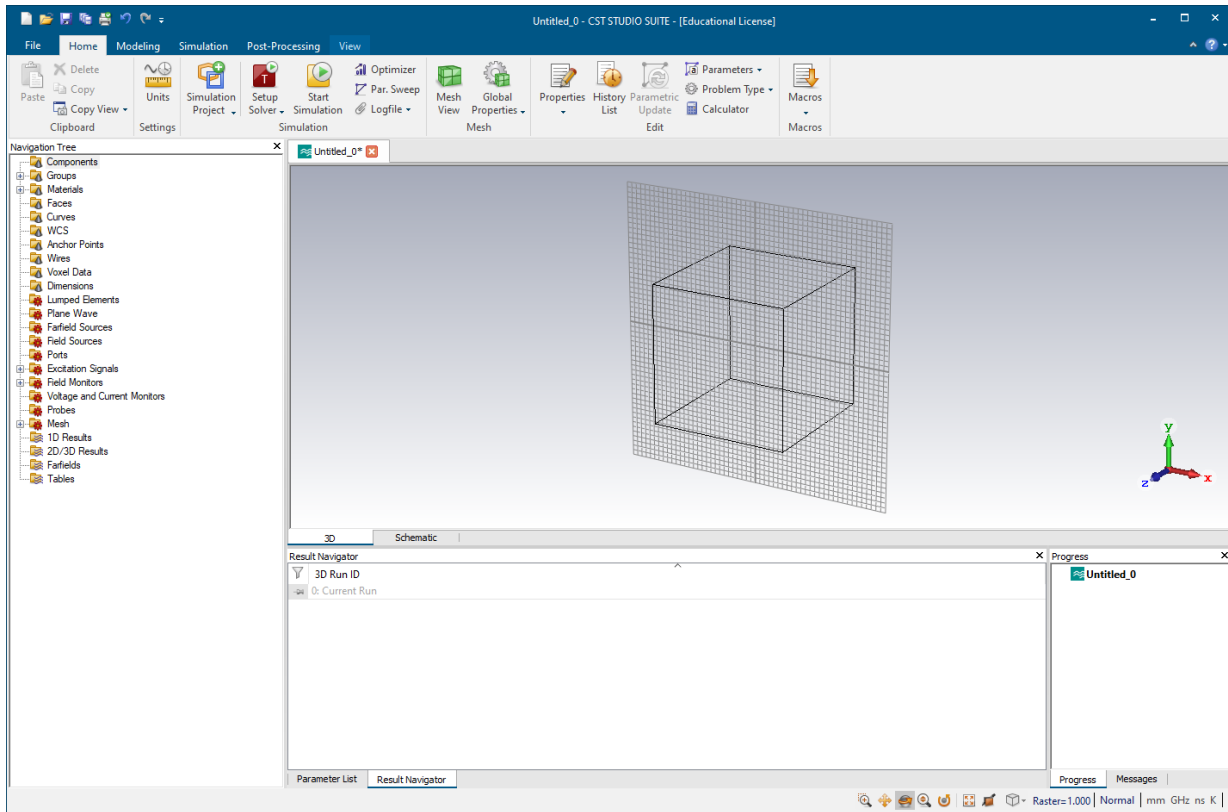


Il·lustració 49: Unidades

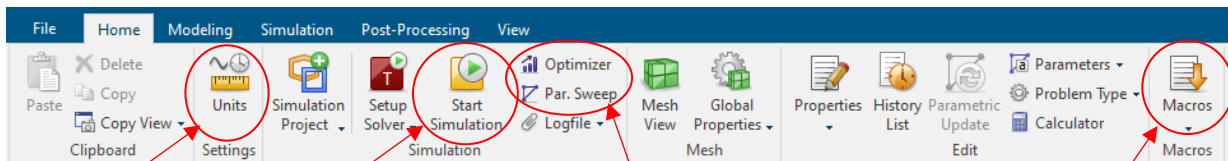


Il·lustració 48: Seleccionar los rangos que necesitas

Una vez rellanado estas pantallas, entraremos en el area de trabajo y una vez aquí tenemos muchas opciones pero las más usadas en este proyecto son:



Il·lustració 50: Àrea de treball de CST

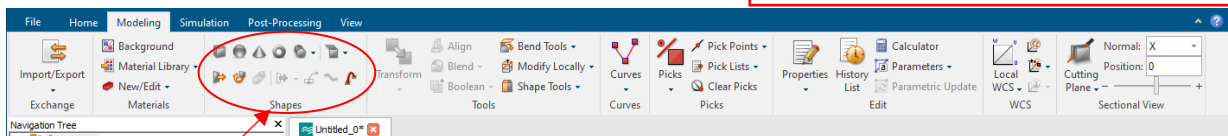


Cambio de unidades

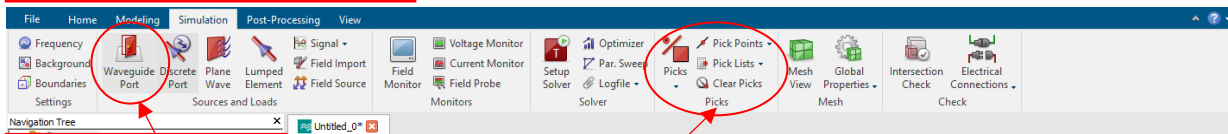
Botón para simular

Opciones para optimizar

Herramienta que usaremos para hacer cálculos para la extensión de puertos (3.2), entre otras funciones.

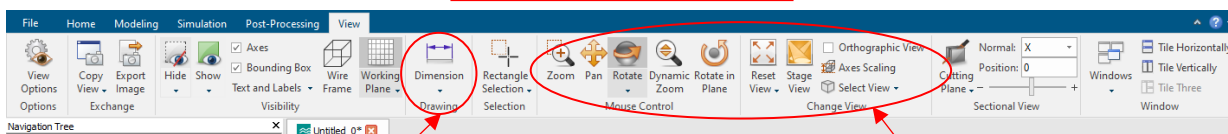


Con estas opciones podemos crear las formas (bricks) de la antena en 3D



Aquí se crean los puertos

Esta opción permite escoger puntos del diseño



Esta opción permite hacer medidas del diseño 3D para comprobar o rectificar alguna de ella

Estas opciones son para poder ver en diferentes perspectivas el diseño y poder trabajar en él

En la venta Navigation Tree se puede acceder a los componentes y las tareas de simulación de su diseño, así como a las diferentes vistas: la vista esquemática y las vistas de trazado disponibles. Cada vez que creamos un brick se nos creará un nuevos objeto dentro de componentes.

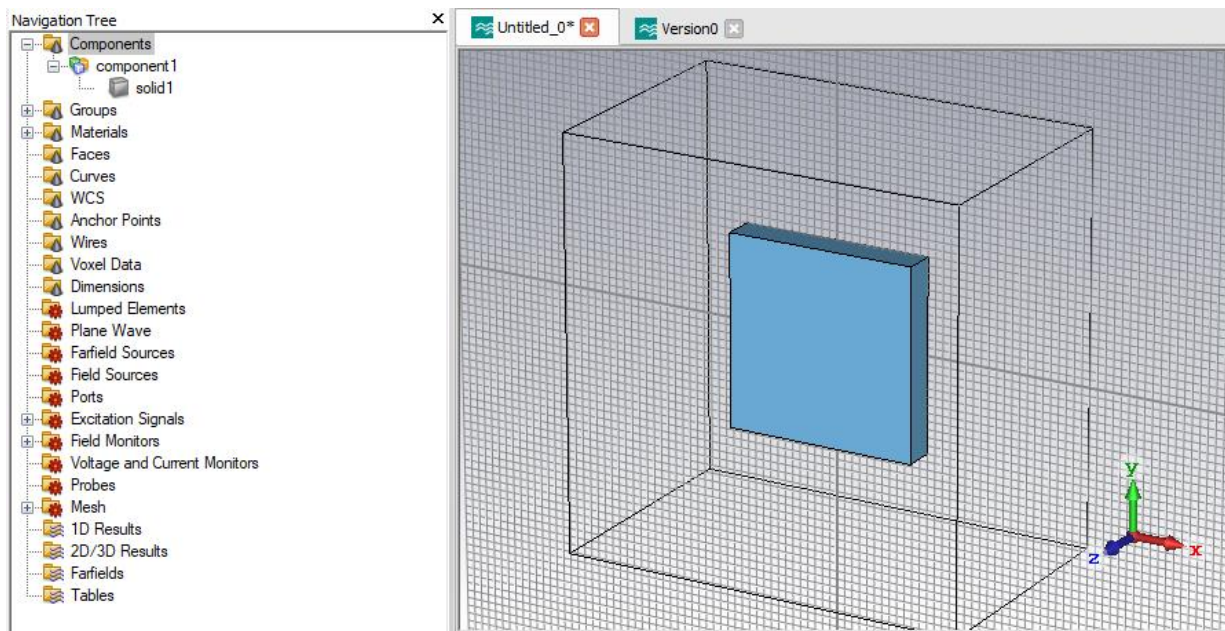


Ilustración 51: Navegación trae

Además de los components aquí se pueden añadir y editar los puertos, los materiales, etc. También, una vez hayamos dado al botón de simulación, se nos cargarán las últimas carpetas: 1D Results, 2D/3D Results, Fraifields y Tables.

Los parámetros que se han usado para esta antena son los siguientes:

Name	Expression
D1	= 0.5
D2	= 0.6
D3	= 0.7
D4	= 1.2
G	= 0.5
H	= H3+H2+H1
H1	= 0.813
H2	= 1
H3	= 0.813
k	= 9.3
L01	= 6.35
L02	= 3.5
L11	= 6.35
L12	= 5
L13	= 2.3
L21	= 6.35
L22	= 3.3
L23	= 1.15
Ld	= 6
Lf1	= L02/2+ D4
Lf2	= +L02/2+ D2
Lg	= 50
Lp	= 17.6
Ls	= 12
Lxf1	= 7.7
Lxf2	= 7.2
Lyf1	= 2
Lyf2	= 2
S1	= 0.4
S2	= 0.4
Wf	= 1.8
Ws	= 1.2