



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Máster Universitario en Ingeniería de  
Telecomunicación

---

# Bi-Quad Polarización Circular

**EQUIPOS Y SUBSISTEMAS DE  
COMUNICACIONES**

Autores:

**Andrés Ruz Nieto  
Gerardo Arias Martínez  
José Pedro Casado Anguita  
Pepe Torres Suárez**

**VALENCIA, 2021**

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. Introducción y objetivos</b>	<b>3</b>
<b>2. Características de la antena</b>	<b>4</b>
2.1. Marco histórico . . . . .	4
2.2. Diseño Bi-Quad . . . . .	4
2.3. Polarización circular y corrientes . . . . .	5
2.4. Alimentación . . . . .	6
2.5. Parámetros iniciales y algoritmo de diseño . . . . .	7
<b>3. Características del diseño</b>	<b>8</b>
3.1. Diseño a 1.5 GHz . . . . .	8
3.2. Diseño a 2.4 GHz . . . . .	11
3.3. Diseño a 5.1 GHz . . . . .	13
<b>4. Modificaciones y resultados</b>	<b>16</b>
4.1. Altura de la antena . . . . .	16
4.2. Anchura del <i>gap</i> . . . . .	18
4.3. Desplazamiento del <i>gap</i> . . . . .	19
4.4. Diámetro del <i>loop</i> . . . . .	22
4.5. Anchura del <i>loop</i> . . . . .	22
<b>5. Prototipo y aplicaciones</b>	<b>25</b>
5.1. Aplicaciones . . . . .	25
5.2. Variantes . . . . .	25
5.3. Prototipo casero . . . . .	27
<b>6. Conclusiones</b>	<b>29</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>30</b>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En el presente documento se va a desarrollar un estudio de la Antena Bi-Quad con polarización circular, para la asignatura del *Máster Universitario de Ingenieros en Telecomunicación, Equipos y Subsistemas de Comunicación*, donde se estudiarán las diferentes aplicaciones y características específicas que la antena nos ofrece.

Este documento está dividido en varias secciones para facilitar al lector una mejor comprensión de la información. Está dividido en las características principales, el estudio de los distintos modelos, las modificaciones realizadas, los resultados obtenidos y, por último, aplicaciones y prototipo de la antena sometida al estudio.

Los objetivos propuesto por el profesorado de la asignatura para el desarrollo de este trabajo son:

- Comprender los diferentes tipos de antenas y sus respectivas variantes.
- Relacionarse con el uso de los software de diseño de antenas y analizar las utilidades que ofrecen al usuario.
- Utilizar los conocimientos adquiridos en la asignatura y aplicarlos en el estudio de un diseño real de una antena.
- Implementar mejoras al diseño original que el profesorado se ha proporcionado.

## CAPÍTULO 2

### CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA

#### 2.1. Marco histórico

Antes de comenzar a hablar sobre la antena Bi-Quad, se debe investigar a cerca de su origen, el cual encontramos en 1947, cuando el ingeniero Clarence C. Moore desarrolló y posteriormente patentó en 1951, una antena de bucle de dos vueltas, a la que bautizó como W9LZX [1]. Clarence C. Moore trabajaba en la emisora de radiodifusión HCJB, en Ecuador. Con esta antena, consiguió resolver el problema que encontraba en las antenas situadas en una estación ubicada en zona en los Andes, las cuales se cargaban eléctricamente por la atmósfera y producían descargas en sus puntas.

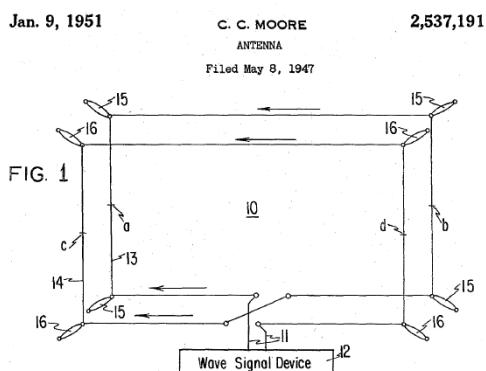


Figura 2.1: Patente de la antena W9LZX por C. Moore [1]

Aunque este no fue el primer prototipo de antena que comparte características con la antena Bi-Quad. En 1924, 23 años antes del diseño de Moore, Moses Jacobson patentó una antena cónica más parecida a la actual [2]. En 1938, George H. Brown patentó 9 años antes una antena de bucle, también con forma cónica [3]. Con todo esto, podemos llegar a pensar que C. Moore se basó en el diseño de las dos antenas anteriores para crear la W9LZX.

#### 2.2. Diseño Bi-Quad

Una antena Bi-Quad convencional está formada por dos elementos cuadrados de un material conductor. Se puede tomar esta antena como la unión de dos antenas de bucle cuadrado impulsadas por esquinas que están excitadas y conectadas a tierra en el mismo punto. Sabiendo esto, muchos de los beneficios del uso de esta antena serán comunes a la antena Bi-Quad, a demás de tener una sencilla fabricación y muchas otras variantes en su diseño.

Algunas de las características más destacadas de esta antena son su gran ancho de banda, su ganancia, que está entre los 10 y los 12 dBi, y por su amplia directividad, ya que su ancho del haz abarca aproximadamente los 70 grados de amplitud (Figura 2.2).

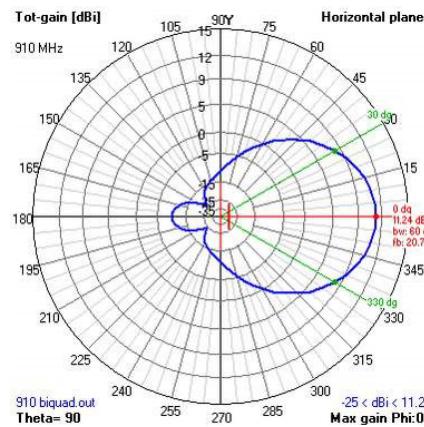


Figura 2.2: Ganancia y directividad de la antena Bi-Quad

Otra aspecto importante de las antenas Bi-Quad es su polarización. Principalmente, las antenas Bi-Quad trabajan con una polarización lineal (Figura 2.3), pero dependiendo de su configuración, podemos trabajar con polarización vertical u horizontal, colocando la antena en posición horizontal o vertical, respectivamente. También, podemos conseguir para esta antena polarización circular, como se verá en el siguiente apartado.

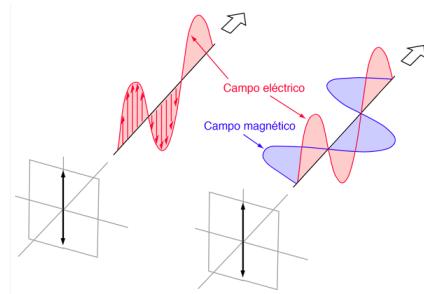


Figura 2.3: Polarización lineal de una antena [4]

## 2.3. Polarización circular y corrientes

Vistas las características de una antena Bi-Quad convencional, se profundizará en el diseño original en el qué está basado la antena de este proyecto: la antena Bi-Quad con polarización circular.

A diferencia del diseño con polarización lineal, esta antena presenta dos hendiduras o *gaps* en el hilo conductor de los dos cuadrados (o *loops*) que forman la antena, logrando así la polarización circular deseada. Estos *gaps* se encuentran colocados de forma simétrica respecto a la fuente. El diseño que se puede observar en la Figura 2.4, se puede considerar como la unión de un dipolo doblado en forma de S (*S Type Dipole*) y un dipolo corto. La corriente se distribuye en la antena con una amplitud constante y fase lineal, lo que produce dos modos perpendiculares entre si que se interseccionan entre ellos, obteniendo la polarización circular característica de esta antena [5]. En un caso perfecto, la relación axial de la antena para polarización circular debería ser de 0 dB's, pero se toma como válido un valor por debajo a los 3 dB's para un diseño real como el que se va a estudiar.

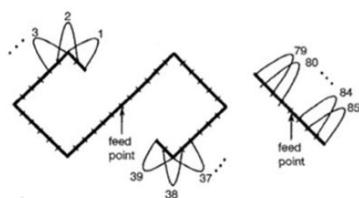


Figura 2.4: Unión de dipolo tipo S y dipolo corto [6]

La polarización circular es más robusta frente a la polarización lineal, ya que esta antena cubre el espectro en vertical y horizontal al mismo tiempo, mientras que la polarización lineal solo cubre una de ellas.

Esta característica es la que condiciona su aplicación frecuentemente presente para sistemas radar, sistemas de radio control de drones, comunicaciones móviles, etc, donde el elemento receptor cambia con frecuencia su posición frente al emisor.

Antes de pasar a la siguiente sección, se hablará de la distribución de corrientes que circulan a través de la antena bajo estudio. Como se observa en la Figura 2.5a, las zonas más oscuras representan las zonas de menor corriente, que coinciden con los *gaps* de ambos brazos de la antena, lo que se traduce que la intensidad decrece conforme se acerca a ellos. También, como se puede ver en la Figura 2.5b, como la corriente está relacionada con la polarización circular que presenta la antena Bi-Quad.

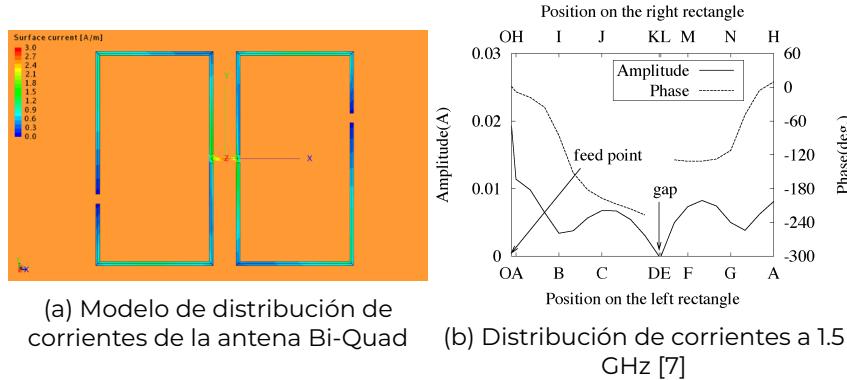


Figura 2.5: Distribución de corrientes

## 2.4. Alimentación

Este tipo de antena se puede alimentar de dos formas diferentes. En la Figura 2.6a se observa cómo se puede alimentar las espiras en serie alimentando cada una por separado. Por otra parte, se puede conectar en paralelo (Figura 2.6b).

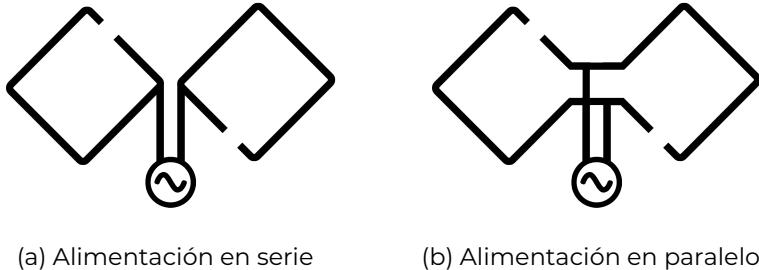


Figura 2.6: Tipo de alimentación según la estructura de la antena

También se puede diferenciar el tipo de alimentación, entre si es balanceada o no (Figura 2.7). En este caso, el diseño que se ha estudiado en FEKO tiene alimentación balanceada y en serie, teniendo el generador entre las dos espiras, a las que ofrece  $+V$  y  $-V$  (Figura 2.7a). En la práctica, lo común es utilizar una alimentación no balanceada, donde una parte de la antena está conectada a un generador y la otra al plano de masa, conectando una cable coaxial a la entrada (Figura 2.7b). Este alimentará con su cable principal (o vivo) la entrada de la antena y conectaremos la malla del cable al plano de masa.

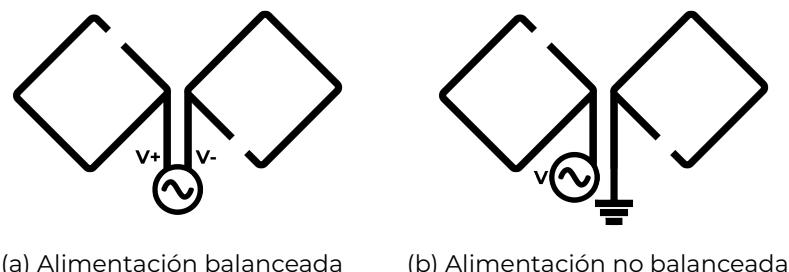


Figura 2.7: Tipo de alimentación según la entrada

## 2.5. Parámetros iniciales y algoritmo de diseño

Por último, se ve el algoritmo de diseño. Los parámetros iniciales empleados los se han obtenido del documento de *PoliformaT* y del *paper* de Dr. Hirasawa [7], donde se comenta que para una frecuencia de 1.5 GHz se pueden parametrizar las medidas de la antena.

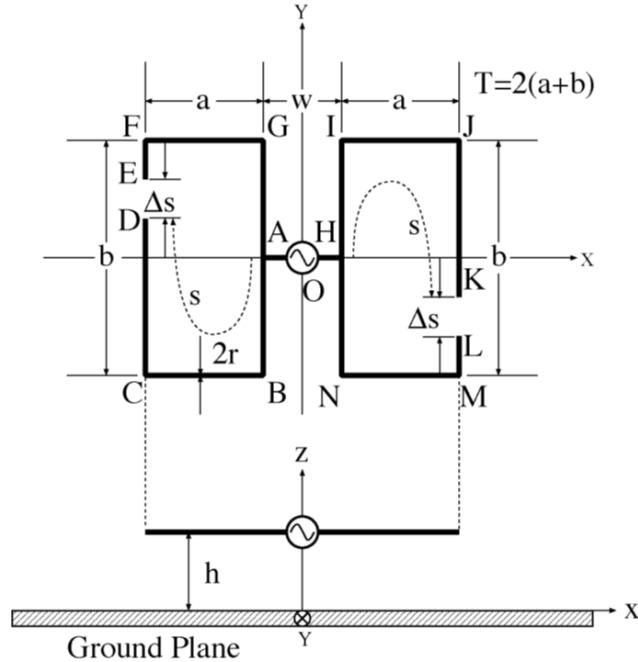


Figura 2.8: Parámetros de una antena Bi-Quad alimentada en serie [7]

Cada brazo de la antena tiene un *gap* con un ancho de  $\Delta_S$  a una distancia  $S$  del punto (A o H) que conecta el brazo con la entrada de alimentación. Los dos *gaps* están ubicados simétricamente con respecto al punto de alimentación para producir polarización circular. Los parámetros elegidos en este documento son  $h = 0,26\lambda_0$ ,  $s = 0,787\lambda_0$ ,  $w = 0,05\lambda_0$ ,  $r = 0,005\lambda_0$ ,  $\Delta_S = 0,0295\lambda_0$ ,  $b = 2a$  y  $T = 1,45\lambda_0 = 2(a + b)$ . Con estos parámetros, se obtienen los mejores resultados para polarización circular,  $f_0 = 1,5\text{GHz}$  y  $Z_0 = 50\Omega$ . Cada parámetro geométrico de la antena corresponde con:

- $h$ : la altura de la antena respecto al plano reflector.
- $s$ : distancia desde el centro de la espira hasta.
- $w$ : espacio entre espiras.
- $r$ : radio de la espira.
- $\Delta_S$ : anchura de la sección.
- $b$ : altura de la espira
- $T$ : circunferencia de la espira.
- $Df$ : diámetro del dipolo de la alimentación.
- $f_0$ : frecuencia central.
- $Z_0$ : impedancia de entrada.
- $Fg = s/b$ : relación entre el centro y la anchura de la espira.
- $Fw = b/a$ : relación entre la altura y la anchura de las espiras.

Parámetro	Valor
$h$	56.95 mm
$w$	12.00 mm
$Df$	1.999 mm
$f_0$	1.5 GHz
$Fg = s/b$	-192.7e-3
$\Delta_S$	4.293 mm
$T$	289.1 mm
$Fw = b/a$	1.852
$2r$	2 mm

Tabla 2.1: Valores de los parámetros obtenidos en Magus Antenna

## CAPÍTULO 3

### CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

#### 3.1. Diseño a 1.5 GHz

En este apartado se muestran los parámetros solicitados al software *FEKO* para el diseño original de la antena a 1,5 GHz. La figura 3.1 muestra el diseño de la antena en el software.

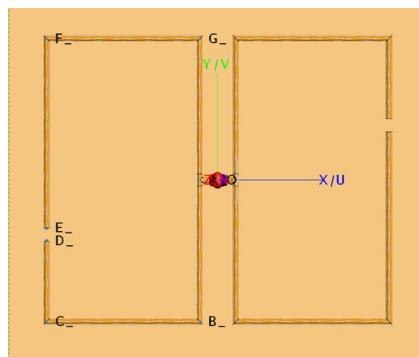


Figura 3.1: Diseño de la antena BiQuad rectangular con polarización RHC.

A continuación, la figura 3.2 muestra el coeficiente de reflexión frente al rango de frecuencias simulado y con  $f_c = 1,5\text{GHz}$ . A la vista de esta gráfica podemos concluir que la antena no se encuentra adaptada, ya que el mínimo valor del parámetro  $S_{11}$  no se encuentra en la frecuencia central.

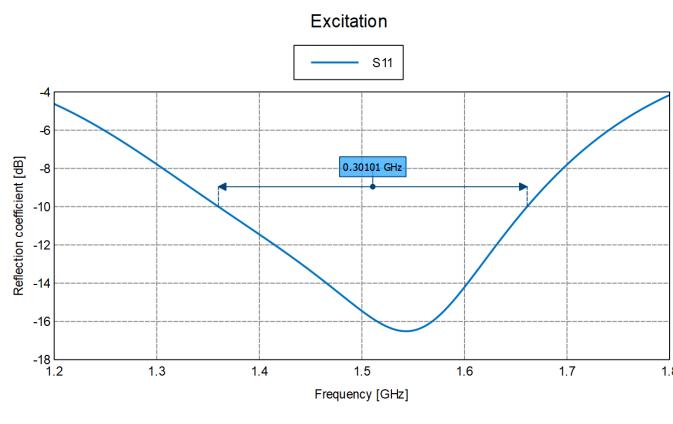


Figura 3.2: Coeficiente de reflexión frente a frecuencia con  $f_c = 1,5\text{GHz}$ .

Por otro lado, la figura 3.3 refleja el comportamiento de la impedancia de entrada de la antena, donde vemos que a la frecuencia de trabajo el valor de la resistencia es de  $70\Omega$  y la reactancia es  $-2,65\Omega$ , por lo que posee un comportamiento parásito capacitivo.

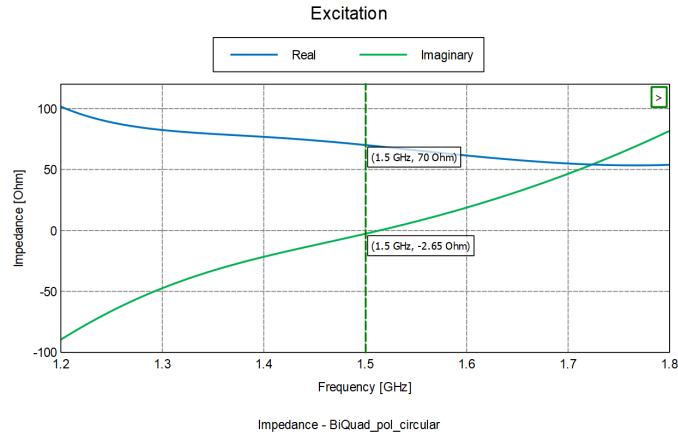


Figura 3.3: Impedancia de entrada frente a frecuencia con  $f_c = 1,5GHz$ .

En cuanto a las magnitudes correspondientes a campo lejano de la antena, tenemos el diagrama de radiación en la figura 3.4. En él vemos que el valor máximo de ganancia es 10 dB y se encuentra en a 180 grados en el plano de elevación y el ancho de haz a -3dB vale 33,7335 grados.

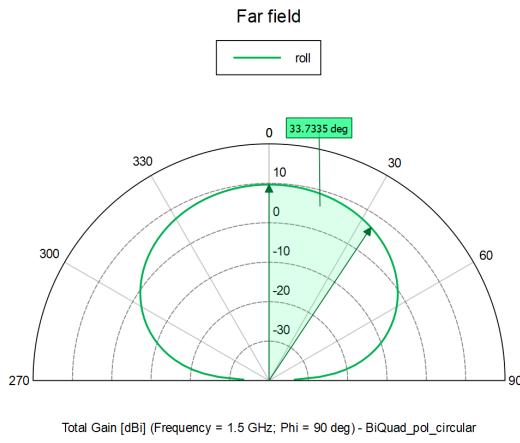
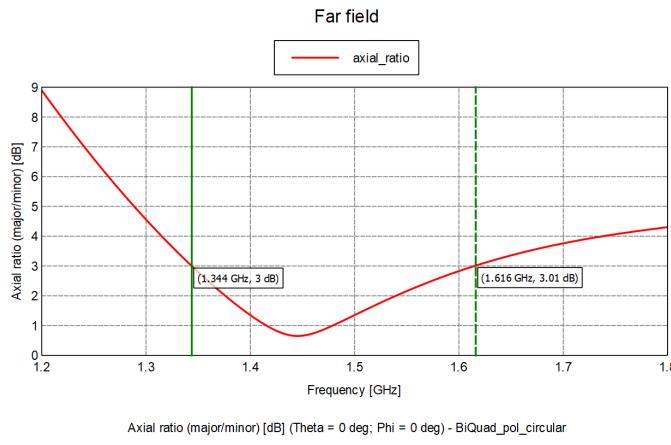
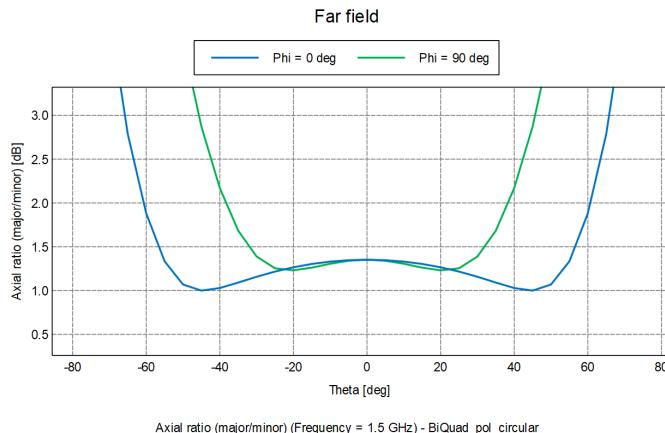


Figura 3.4: Diagrama de radiación de la antena con  $f_c = 1,5GHz$ .

A continuación, representamos la relación axial frente a dos magnitudes y para ello se explica qué representa cada una:

- La figura 3.5 muestra el comportamiento de la relación axial dado un valor del ángulo  $\theta$  (en este caso 0 grados). En torno a la frecuencia central vemos cómo el valor de esta magnitud es inferior a 3dB, por lo que a la frecuencia de trabajo se asegura tener polarización circular.
- La figura 3.6 representa el comportamiento de la relación axial (fijando una frecuencia, en este caso, la frecuencia central) frente al plano de elevación. La traza de color azul representa la relación en el plano E ( $\phi = 0$ ) y la de color verde en el plano H ( $\phi = 90$ ). Ambas trazas prueban que entre -65 grados a 65 grados, la antena posee polarización circular.

Figura 3.5: Relación axial frente a frecuencia con  $\theta = 0$ .Figura 3.6: Relación axial frente a  $\theta$  con  $f_c = 1,5 \text{ GHz}$ .

Por último, si representamos la ganancia suponiendo polarización circular a derechas y a izquierdas en ejes cartesianos, el resultado obtenido se aprecia en la figura 3.7. La traza de color azul representa polarización a derechas, donde corrobora lo descrito previamente, ya que en el rango de frecuencias simulado el valor de esta magnitud se encuentra en torno a 10 dB.

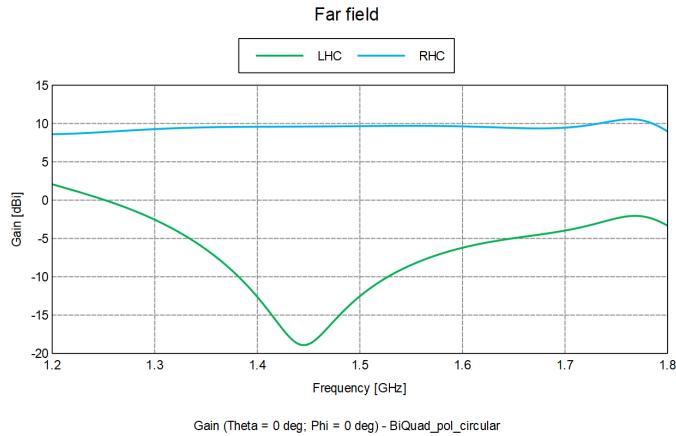


Figura 3.7: Ganancia de la antena dependiendo del sentido de la polarización circular con  $f_c = 1,5GHz$ .

Tras representar todos estos parámetros de la antena de partida, se mostrarán los parámetros para las distintas frecuencias de trabajo de la antena.

## 3.2. Diseño a 2.4 GHz

Para trasladar la frecuencia central utilizada previamente, se ha realizado un escalado de la antena con una razón de 0,625 proveniente del cociente entre la frecuencia de diseño de la antena y a la que se desea llegar.

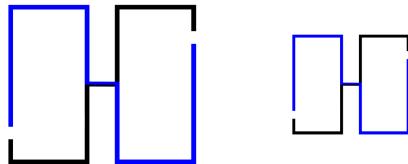


Figura 3.8: Escalado de la antena de partida para que la frecuencia central sea 2.4 GHz.

A continuación, se irán viendo paso por paso los mismos parámetros que se representaron con la antena de partida. Primero, mostramos el coeficiente de reflexión de la antena con  $f_c = 2,4GHz$  en la figura 3.9.

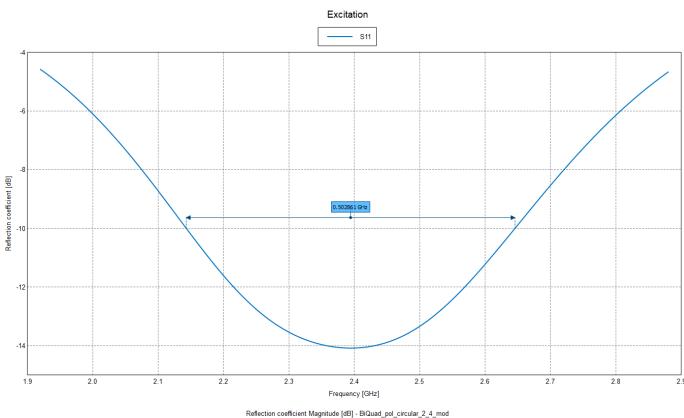


Figura 3.9: Coeficiente de reflexión frente a frecuencia con  $f_c = 2,4GHz$ .

Por otro lado, en la figura 3.10 se ve que el comportamiento de la impedancia de entrada es similar al caso original.

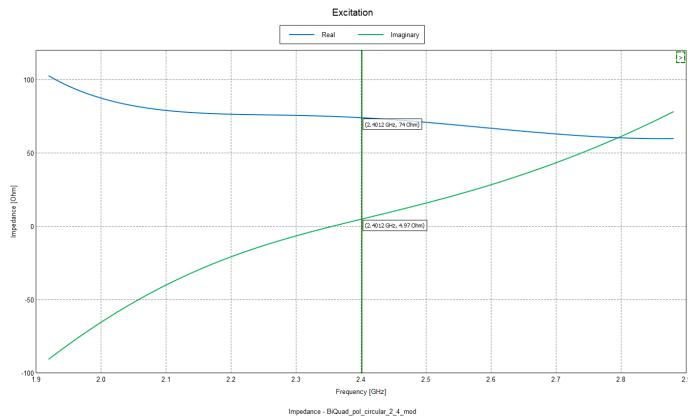


Figura 3.10: Impedancia de entrada frente a frecuencia con  $f_c = 2,4GHz$ .

Si procedemos a evaluar las magnitudes correspondientes a campo lejano, tenemos primero el diagrama de radiación en la figura 3.11 cuyo valor máximo de ganancia y ancho de haz son similares al diseño de partida y radia en la misma dirección del plano de elevación.

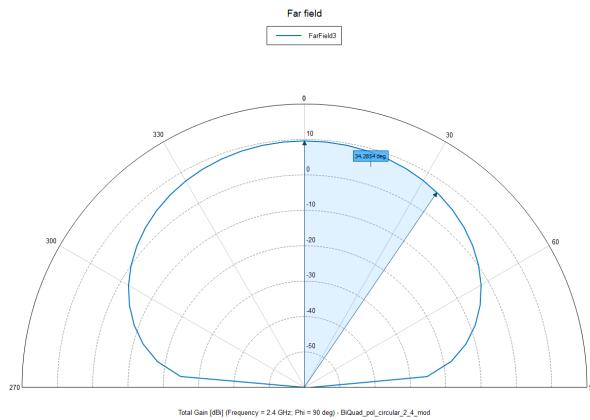


Figura 3.11: Diagrama de radiación de la antena con  $f_c = 2,4GHz$ .

La relación axial para esta nueva frecuencia central también se comporta muy parecido al diseño original, así lo demuestran las figuras 3.12 y 3.13.

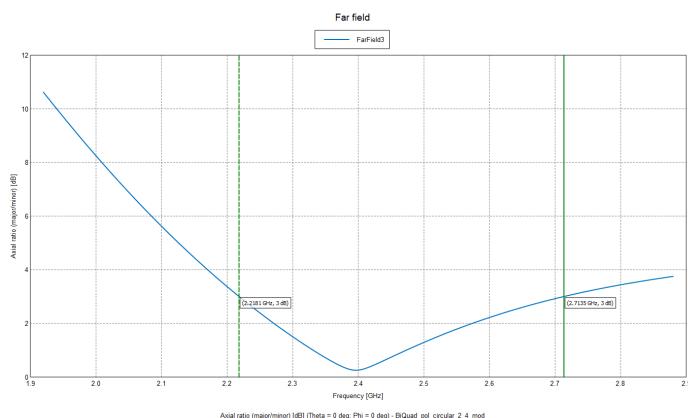


Figura 3.12: Relación axial frente a frecuencia con  $\theta = 0$ .

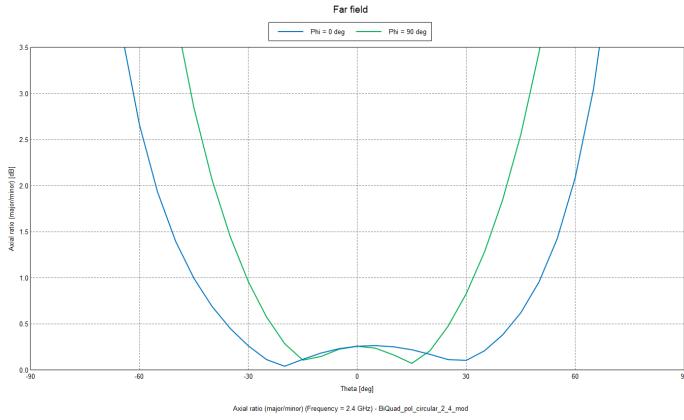


Figura 3.13: Relación axial frente a  $\theta$  con  $f_c = 2,4\text{GHz}$ .

Por último, el sentido de la polarización circular vuelve a determinarse mediante la ganancia representada en ejes cartesianos. La figura 3.14 muestra cómo la traza de color oscila en torno a 10dB mientras que la traza de color alcanza valores inferiores a 0dB. En dicha figura se aprecia cómo aparecen unos picos de ganancia en torno a la frecuencia central. Esto es posiblemente debido a errores de cálculo numérico realizados por FEKO.

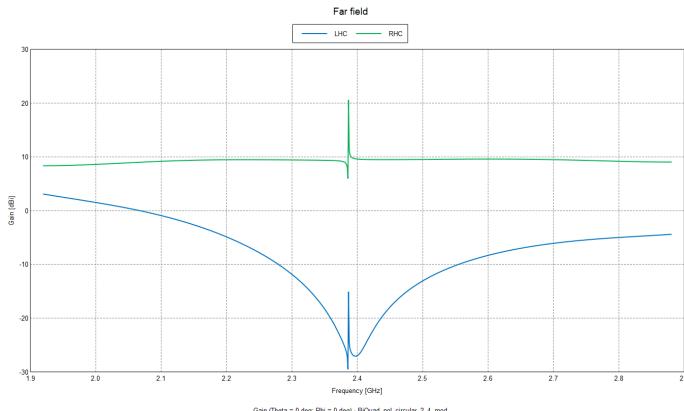


Figura 3.14: Ganancia de la antena dependiendo del sentido de la polarización circular con  $f_c = 2,4\text{GHz}$ .

### 3.3. Diseño a 5.1 GHz

Del mismo modo que para el diseño anterior, se traslada la frecuencia central del diseño original, aplicando un escalado con una razón de 0,294 proveniente del cociente entre la frecuencia de diseño de la antena y a la que se desea llegar.

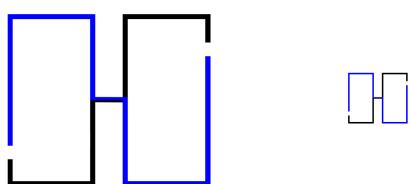


Figura 3.15: Escalado de la antena de partida para que la frecuencia central sea 5.1 GHz.

Volviendo a representar los mismos parámetros que en los casos anteriores, se tiene primero el coeficiente de reflexión en la figura 3.16.

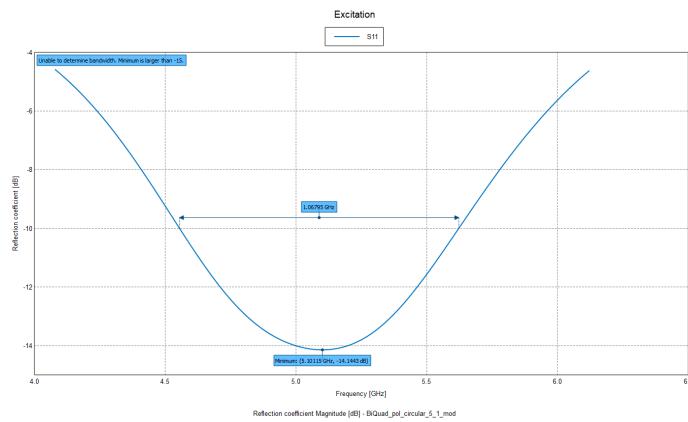


Figura 3.16: Coeficiente de reflexión frente a frecuencia con  $f_c = 5,1GHz$ .

A continuación, vemos el valor de la impedancia de entrada en la figura 3.17.

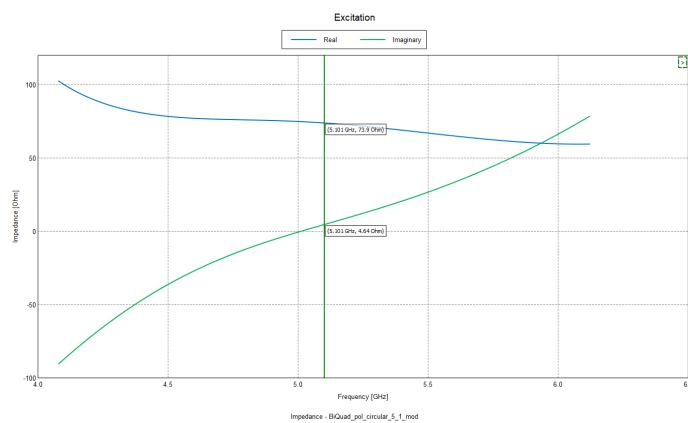


Figura 3.17: Impedancia de entrada frente a frecuencia con  $f_c = 5,1GHz$ .

En cuanto a las magnitudes correspondientes al campo lejano, tenemos el diagrama de radiación en la figura 3.18.

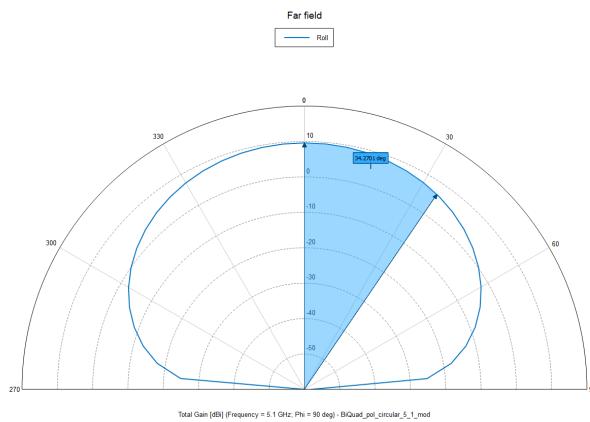


Figura 3.18: Diagrama de radiación de la antena con  $f_c = 5,1GHz$ .

La relación axial sigue el mismo comportamiento que los otros diseños, tal y como se ve en las figuras 3.19 y 3.20.

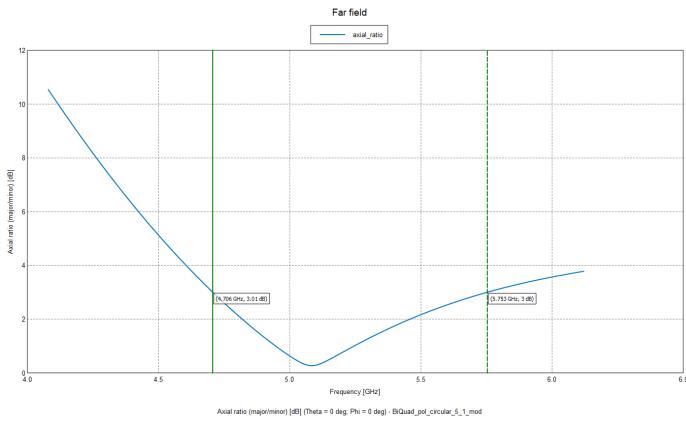


Figura 3.19: Relación axial frente a frecuencia con  $\theta = 0$ .

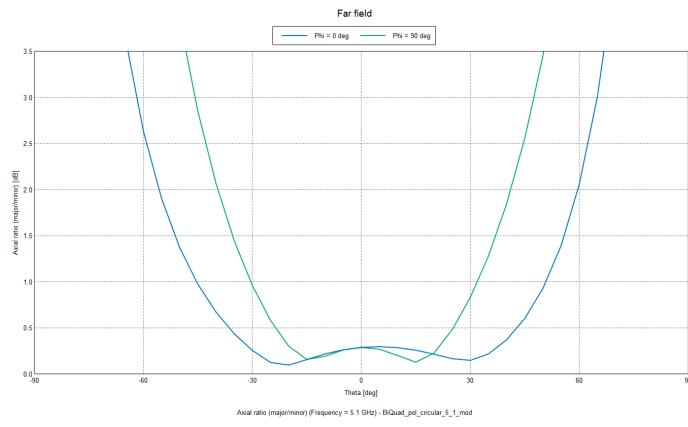


Figura 3.20: Relación axial frente a  $\theta$  con  $f_c = 5,1GHz$ .

Por último, vuelve a predominar es polarización circular a derechas frente al sentido a izquierdas si nos fijamos en la figura 3.21.

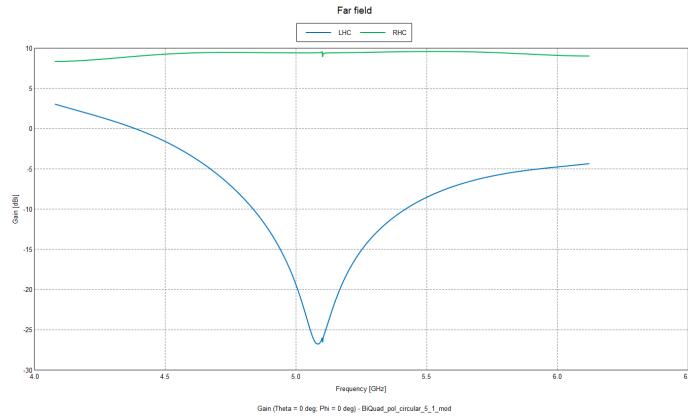


Figura 3.21: Ganancia de la antena dependiendo del sentido de la polarización circular con  $f_c = 5,1GHz$ .

## CAPÍTULO 4

### MODIFICACIONES Y RESULTADOS

#### 4.1. Altura de la antena

Se han realizado 5 simulaciones alejando y acercando la antena al plano de masa obteniendo los siguientes resultados (Tabla 4.1)

Medida (m)	S11) (dB)	Frecuencia (GHz)	BW (GHz)	Resistencia (Ω)	Reactancia (Ω)	Axial Ratio < 3dB (GHz)
0,0369	-20,188	1,608	0,3722	81,7	-8,57	-
0,0469	-17,09	1,56	0,3337	71,9	-3,32	0,168
<b>0,0569</b>	<b>-16,1905</b>	<b>1,536</b>	<b>0,29918</b>	<b>69,9</b>	<b>-0,344</b>	<b>0,273</b>
0,0669	-15,8309	1,524	0,275281	70,7	-0,792	0,39
0,0769	-16,7904	1,548	0,24308	70,5	-5,25	0,249

Tabla 4.1: Valores obtenidos al variar la altura de la antena

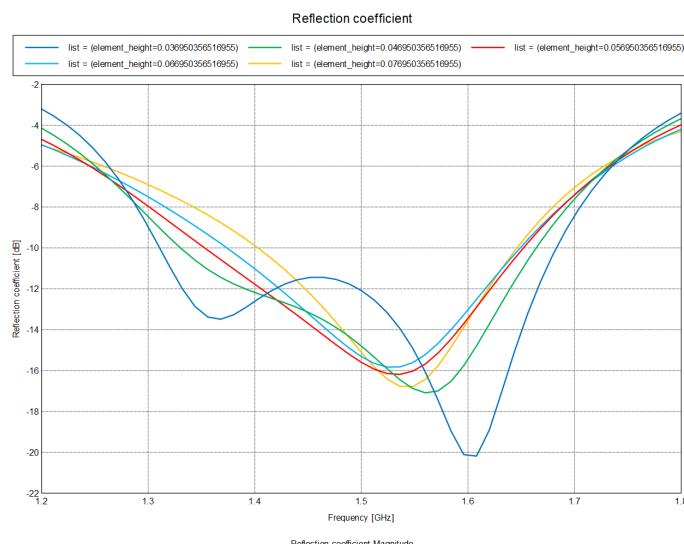


Figura 4.1: Coeficiente de reflexión frente a frecuencia con  $f_c = 1,5\text{GHz}$  variando la altura de la antena

Observando la gráfica y los datos obtenidos anteriormente se puede ver cómo el mejor valor que se obtiene es el central.

A continuación en la Figura 4.2 se pueden ver las cinco gráficas de la impedancia de entrada obtenida al variar la altura de la antena.

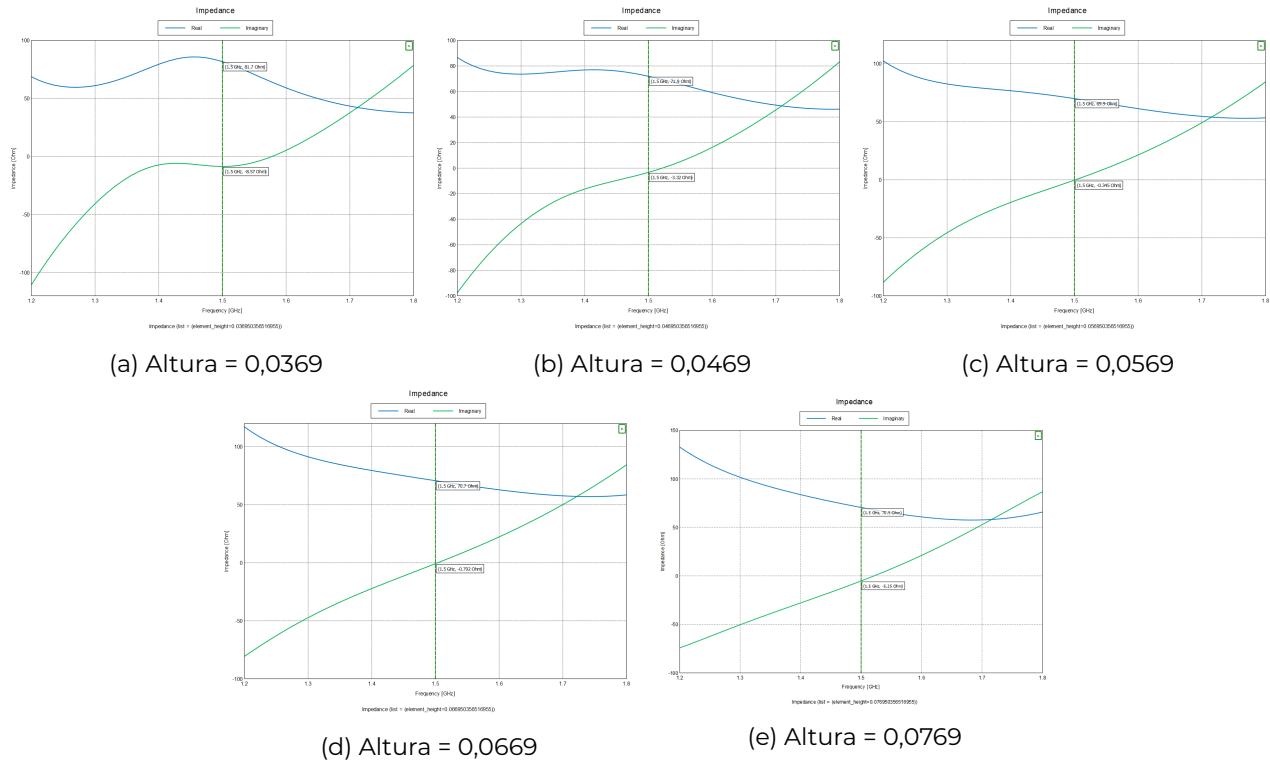


Figura 4.2: Impedancia de entrada frente a frecuencia con  $f_c = 1,5GHz$  variando la altura de la antena

En las gráficas se observa cómo el valor menor de impedancia de entrada es cuando se posiciona la antena a 0.0569 m del plano de masa.

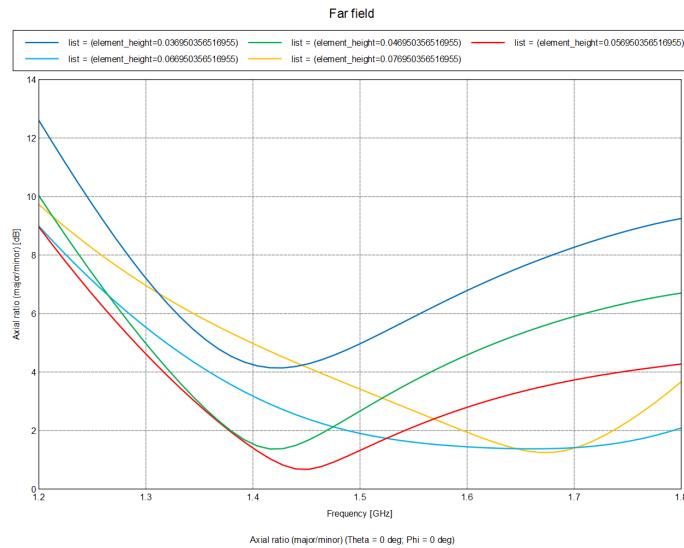


Figura 4.3: Relación axial frente a frecuencia con  $f_c = 1,5GHz$  variando la altura de la antena

En la gráfica anterior se puede ver cómo, de nuevo, el mejor valor es el central (dados en el enunciado del trabajo y calculado por Antenna Magus).

## 4.2. Anchura del gap

Se han realizado 5 simulaciones cambiando el tamaño del *gap* cuyos resultados se pueden ver en la Tabla 4.2

<b>Medida (m)</b>	<b>S11) (dB)</b>	<b>Frecuencia (GHz)</b>	<b>BW (GHz)</b>	<b>Resistencia (Ω)</b>	<b>Reactancia (Ω)</b>	<b>Axial Ratio &lt; 3dB (GHz)</b>
0,00229	-18,94	1,536	0,275367	65,9	-4,24	0,238
0,00329	-17,29	1,536	0,289411	68,2	-2,12	0,257
<b>0,00429</b>	<b>-16,1905</b>	<b>1,536</b>	<b>0,29918</b>	<b>69,9</b>	<b>-0,344</b>	<b>0,273</b>
0,00529	-15,3879	1,524	0,30603	71,3	1,23	0,285
0,00629	-14,7783	1,524	0,310627	72,5	2,66	0,295

Tabla 4.2: Valores obtenidos al variar la anchura del *gap*

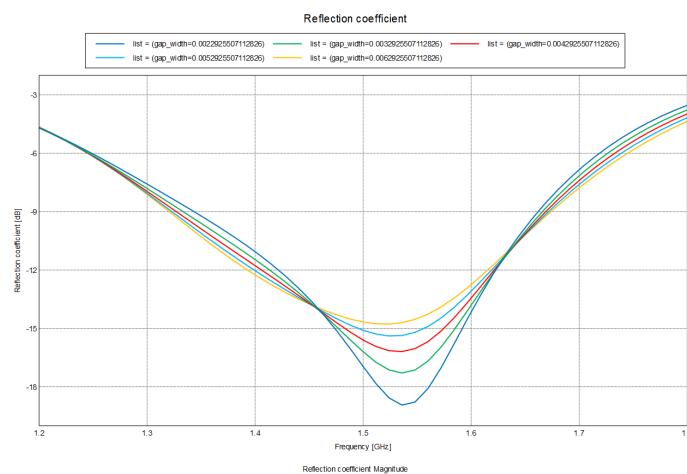


Figura 4.4: Coeficiente de reflexión frente a frecuencia con  $f_c = 1,5\text{GHz}$  variando la anchura del *gap*

Observando la gráfica y los datos obtenidos anteriormente se puede apreciar como el primer valor de anchura del *gap* mejora tanto el S11 como el ancho de banda.

A continuación en la Figura 4.5 se pueden ver las cinco gráficas de la impedancia de entrada obtenida al variar el ancho del *gap*

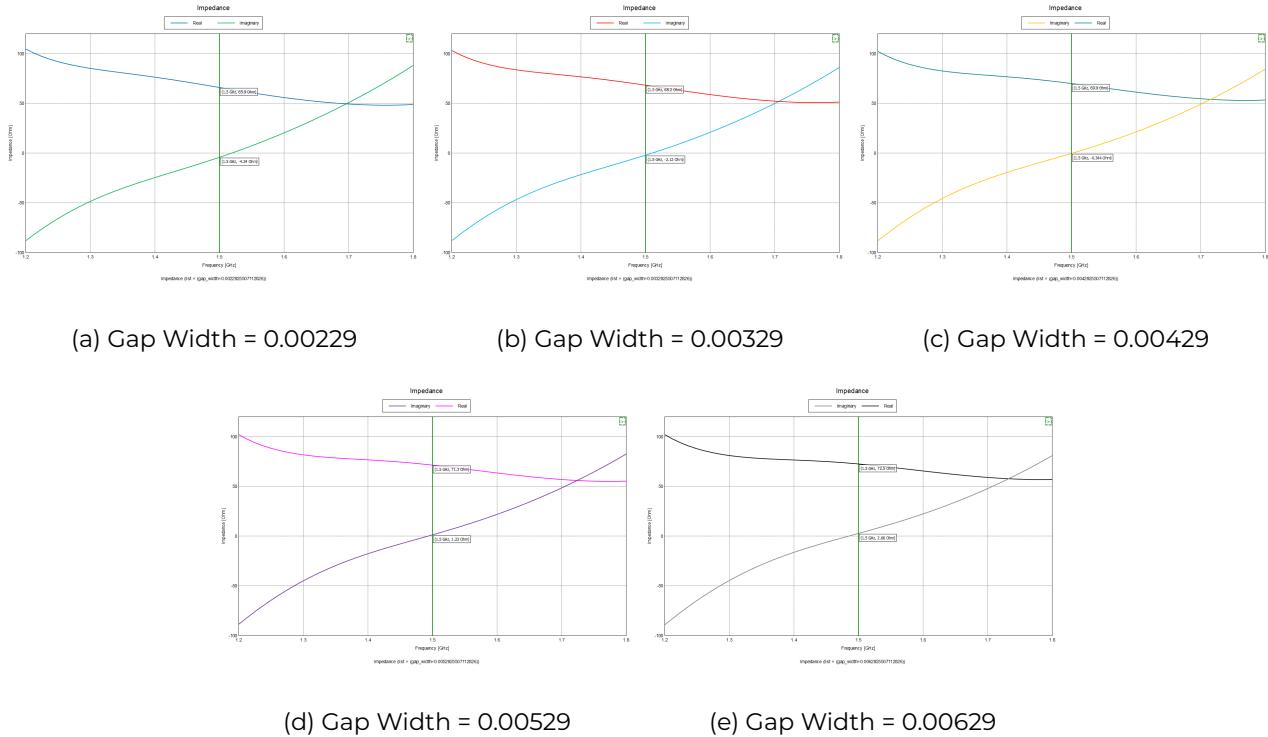


Figura 4.5: Impedancia de entrada frente a frecuencia con  $f_c = 1,5\text{GHz}$  variando la anchura del *gap*

En las gráficas se observa cómo se incrementa la impedancia de entrada conforme se aumenta el ancho del *gap*.

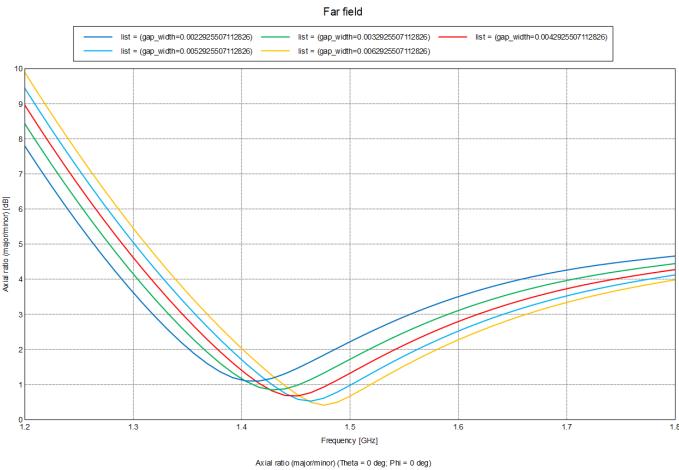


Figura 4.6: Relación axial frente a frecuencia con  $f_c = 1,5\text{GHz}$  variando la anchura del *gap*

En la gráfica anterior se puede ver cómo conforme se aumenta el ancho del *gap*, el Axial Ratio se desplaza hacia la frecuencia central interesada y aumenta ligeramente el ancho de banda a 3 dB.

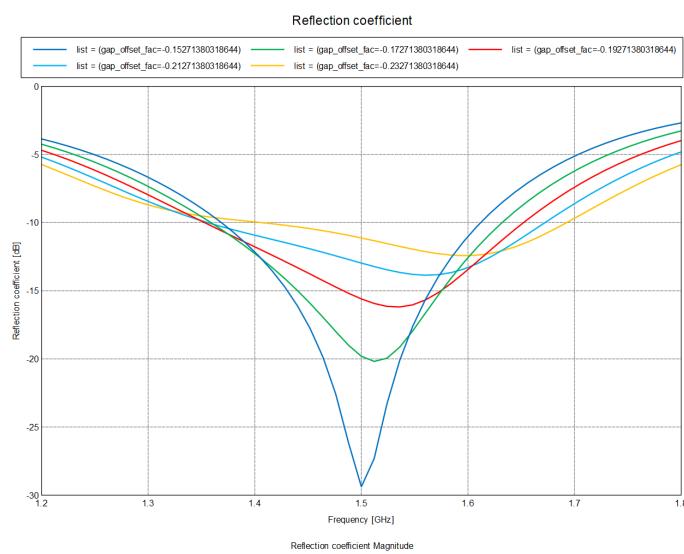
Una vez obtenidos los resultados se observa como el resultado central es el más balanceado.

## 4.3. Desplazamiento del *gap*

Al igual que para la anchura del *gap*, se han realizado 5 simulaciones cambiando desplazando el *gap* cuyos resultados se pueden ver en la Tabla 4.3

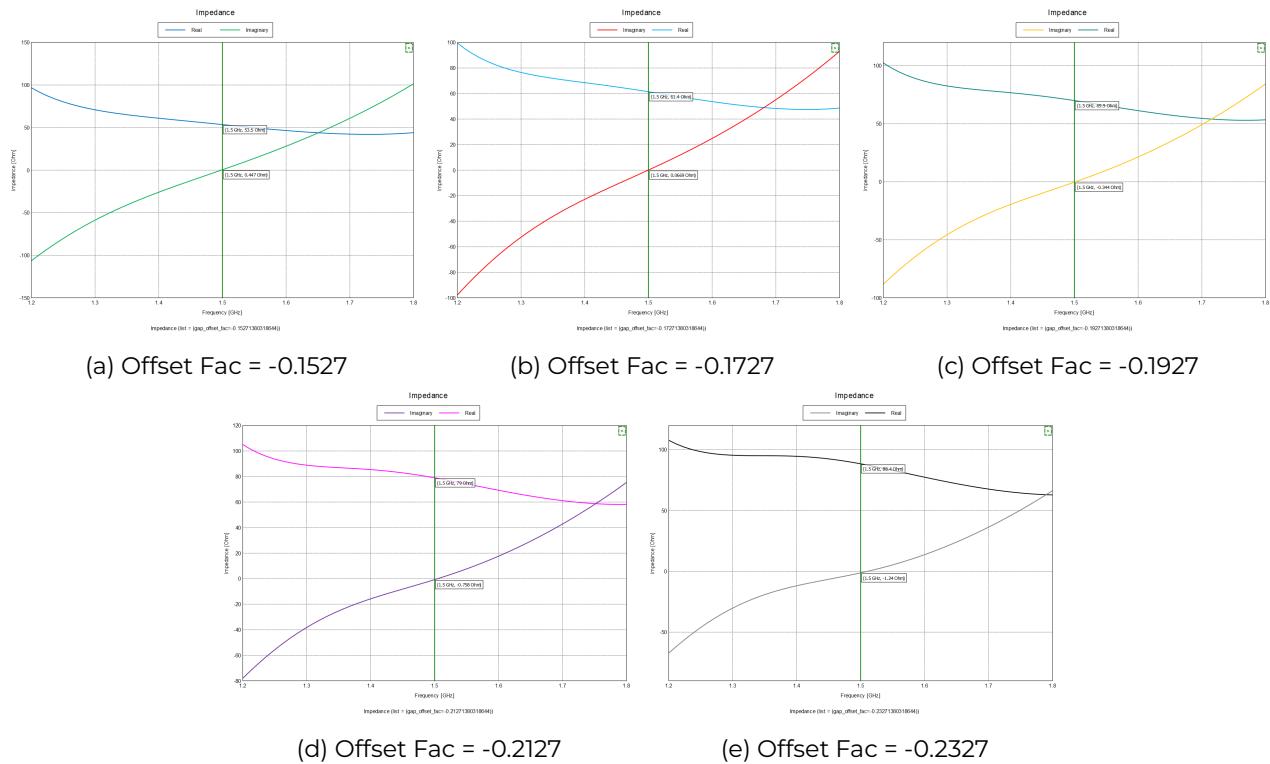
Medida (m)	S11) (dB)	Frecuencia (GHz)	BW (GHz)	Resistencia (Ω)	Reactancia (Ω)	Axial Ratio < 3dB (GHz)
-0,15	-29,38	1,5	0,243253	53,5	0,447	0,244
-0,17	-20,18	1,512	0,273101	61,4	0,0669	0,271
<b>-0,19</b>	<b>-16,1905</b>	<b>1,536</b>	<b>0,29918</b>	<b>69,9</b>	<b>-0,344</b>	<b>0,273</b>
-0,21	-13,8595	1,56	0,31643	79	-0,758	0,266
-0,23	-12,4232	1,596	0,286222	88,4	-1,24	0,253

Tabla 4.3: Valores obtenidos al variar la posición del gap

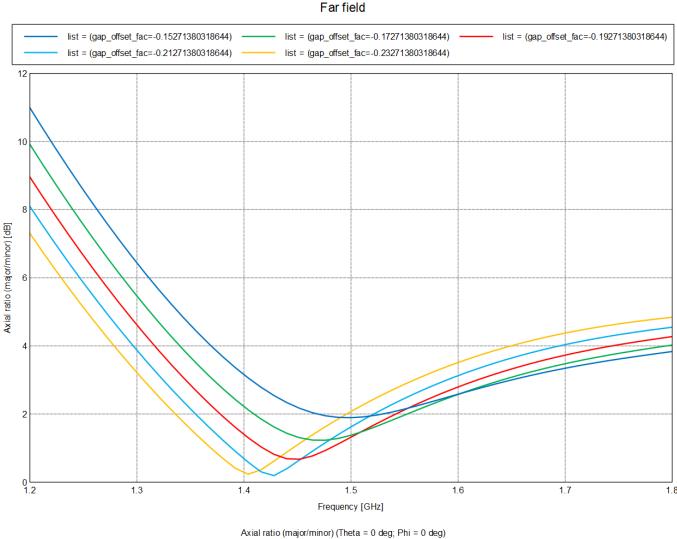
Figura 4.7: Coeficiente de reflexión frente a frecuencia con  $f_c = 1,5\text{GHz}$  variando desplazando el gap

Observando la gráfica y los datos obtenidos anteriormente se puede apreciar como desplazando el gap hacia el interior se obtienen mejores valores de S11 y frecuencia de adaptación, como contrapunto se pierde ancho de banda.

A continuación en la Figura 4.8 se pueden ver las cinco gráficas de la impedancia de entrada obtenida al desplazar el gap

Figura 4.8: Impedancia de entrada frente a frecuencia con  $f_c = 1,5\text{GHz}$  desplazando el *gap*

En las gráficas se observa cómo aumenta la impedancia conforme acercamos el *gap* a la esquina del *loop*.

Figura 4.9: Relación axial frente a frecuencia con  $f_c = 1,5\text{GHz}$  desplazando el *gap*

Viendo la Figura 4.9 y la Tabla 4.3 se aprecia cómo para un offset de -0.19 se obtiene el mejor Axial Ratio menor a 3 dB.

Finalmente se decide que la mejor opción es la de un offset de -0.19 ya que es la más equilibrada.

## 4.4. Diámetro del loop

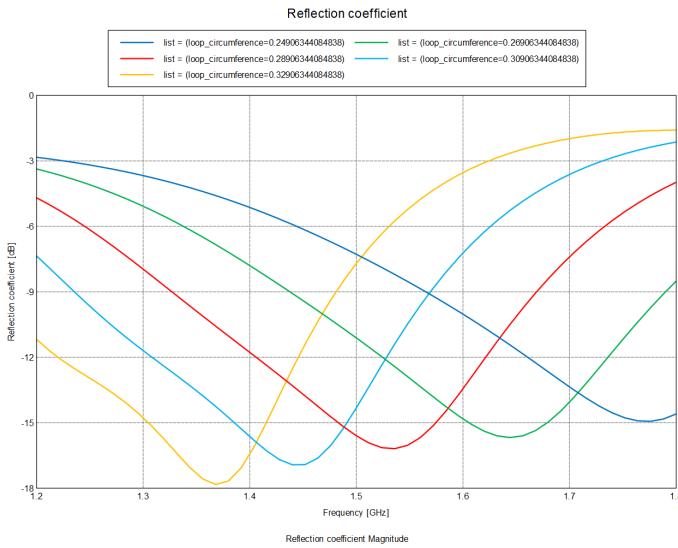


Figura 4.10: Coeficiente de reflexión frente a frecuencia con  $f_c = 1,5\text{GHz}$  variando el diámetro del *loop*

En la Figura 4.10 se puede ver como al cambiar el diámetro del *loop* desplazamos la antena en frecuencia, por lo que no interesaría modificar este valor para mejorar la antena. Ya que el parámetro de diseño inicial es el más óptimo.

## 4.5. Anchura del loop

En este paso se realizarán cambios en la anchura del *loop*, pero sin variar la circunferencia del mismo. En la Tabla 4.4 se pueden ver los resultados de las cinco simulaciones realizadas.

Medida (m)	S11) (dB)	Frecuencia (GHz)	BW (GHz)	Resistencia (Ω)	Reactancia (Ω)	Axial Ratio < 3dB (GHz)
1,752	-16,897	1,524	0,302	67,7	-0,23	0,254
1,802	-16,51	1,524	0,3	68,8	-0,264	0,264
<b>1,852</b>	<b>-16,1905</b>	<b>1,536</b>	<b>0,29918</b>	<b>69,9</b>	<b>-0,344</b>	<b>0,273</b>
1,902	-15,8912	1,536	0,296971	71	-0,459	0,282
1,952	-15,8976	1,548	0,295386	72	-2,39	0,29

Tabla 4.4: Valores obtenidos al variar la anchura del *loop*

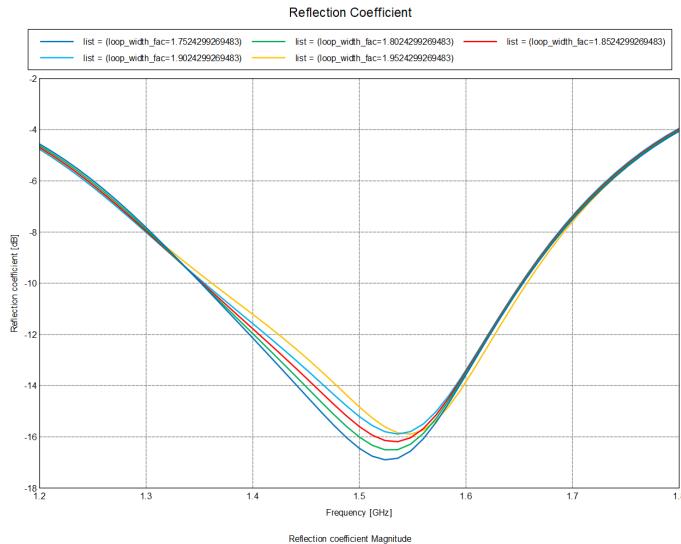


Figura 4.11: Coeficiente de reflexión frente a frecuencia con  $f_c = 1,5GHz$  cambiando la anchura del *loop*

Observando la gráfica y los datos obtenidos anteriormente se puede apreciar como no se consiguen grandes mejoras en S11 ni ancho de banda realizando este cambio

A continuación en la Figura 4.8 se pueden ver las cinco gráficas de la impedancia de entrada obtenida al variar la anchura del *loop*.

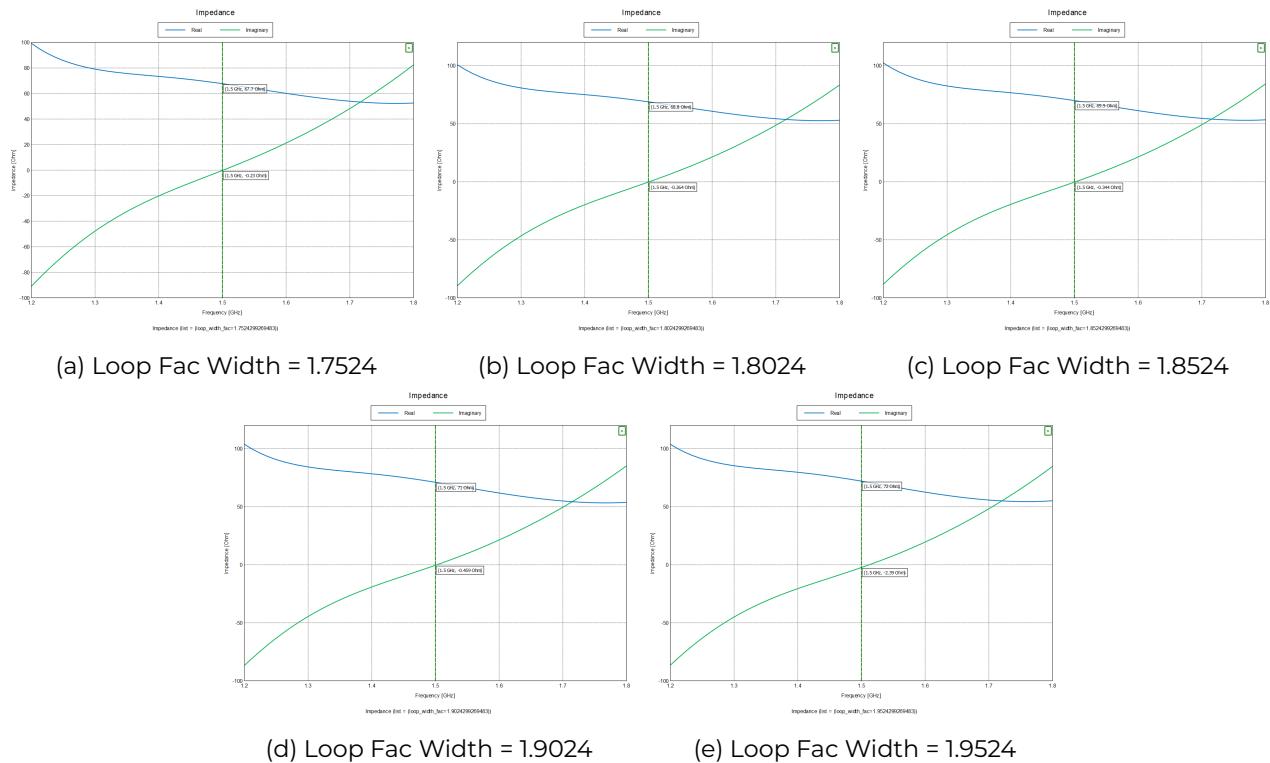


Figura 4.12: Impedancia de entrada frente a frecuencia con  $f_c = 1,5GHz$  cambiando la anchura del *loop*

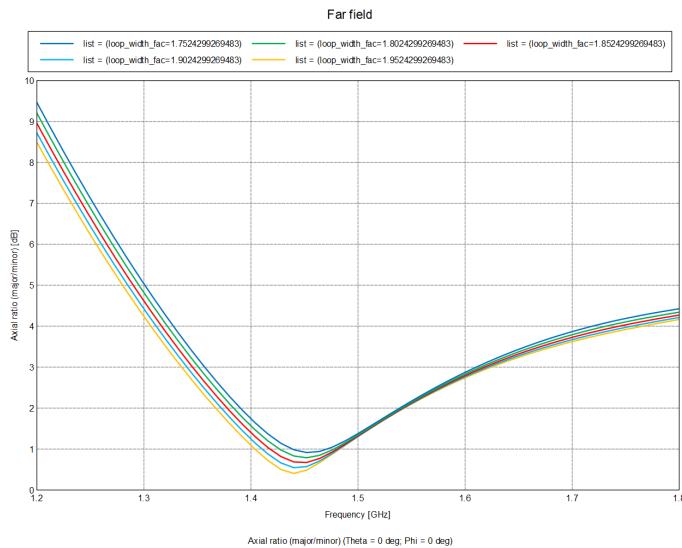


Figura 4.13: Relación axial frente a frecuencia con  $f_c = 1,5\text{GHz}$  cambiando la anchura del *loop*

En términos generales esta modificación no presenta cambios muy grandes en la antena por lo que se opta por dejar el valor central. Aunque leyendo la documentación se leer que este cambio afecta al Axial Ratio

# CAPÍTULO 5

## PROTOTIPO Y APLICACIONES

### 5.1. Aplicaciones

Una vez se han estudiado las características de este tipo de antena hay que ver cómo y dónde sacar el mejor provecho de la misma. Este tipo de antena se encuentra con frecuencia en:

- **Comunicaciones en movimiento.** La buena directividad, la polarización circular y el rango de acción hacen que la antena Bi-Quad sea óptima para este tipo de comunicaciones como pueden ser los sistemas de geolocalización o el control de drones.
- **Conectividad WiFi.** Al poder funcionar a 2.4 GHz y a 5.1 GHz, es decir banda WIFI, se convierte en una antena ideal para proporcionar conectividad en hogares, oficinas y establecimientos comerciales. Es una alternativa barata y fácil de construir.
- También se puede usar como único elemento radiante, como elemento básico para diferentes arrays o como alimentador para reflectores parabólicos.

### 5.2. Variantes

La antena Bi-Quad posee muchas variantes, cada una de ellas con características y finalidades diferentes pero su funcionamiento es el mismo. Estas Bi-Quad modificadas se obtienen a raíz de las necesidades que aparecen en el sistema donde se quiere colocar la antena, ya sea falta de espacio, tipo de radiación, etc.

- **Antena Multi-Quad**

Los lados de los elementos cuádruples deben ser un cuarto de la longitud de onda que desea que reciba la antena. Por ejemplo, para 2,4 GHz, el lado de cada espira debe de estar alrededor de los 30 mm. Muchas veces es complicado ajustar la medida de los elementos, es por eso que añadir rombos facilita encontrar la relación de la antena con la longitud de onda. Esta antena se muestra en la Figura 5.1



Figura 5.1: Antena multiquad

### ■ Antena omni Bi-Quad

Como su nombre indica, se trata de una antena omnidireccional. Este cambio se produce cruzando dos Bi-Quad. Tal y como se dijo en la sección anterior, este tipo de antenas se usan para dar conectividad siendo ejemplo de ello la aplicación que se le da a la misma en la Figura 5.2.



Figura 5.2: Antena omni Bi-Quad

### ■ Antena Yagi

La concatenación de antenas Bi-Quad en paralelo (Figura 5.3) con unos ciertos requisitos permiten que el sistema en conjunto se comporte como una antena Yagi ofreciendo buenas prestaciones.



Figura 5.3: Antena Yagi a partir de múltiples antenas Bi-Quad

### ■ Bi-Quad PCB

Cuando se necesita el uso de una antena y el espacio disponible es un impedimento debido a las limitaciones, es posible plasmar la antena Bi-Quad en una PCB (Figura 5.4), optimizando el diseño y el espacio.

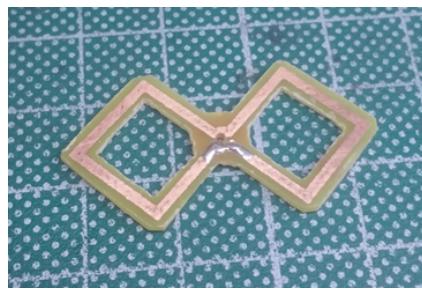


Figura 5.4: Antena Bi-Quad en una PCB

Dado que la antena Bi-Quad estudiada en esta memoria tiene polarización circular, sería conveniente enseñar otra variante con esa misma característica, es decir, que presente gaps en cada uno de los elementos rectangulares de la antena. Se trata de la **Dual-Band Dual-Rectangular Loop** [8] (Figura 5.5), cuya información fue extraída del *paper* de los investigadores Sumi y Takada [7].

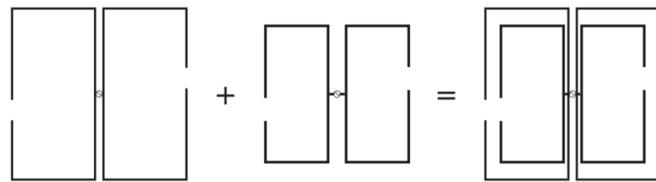


Figura 5.5: Antena Dual-Band Dual-Rectangular Loop

Esta antena pretende ser usada en sistemas globales de navegación por satélite o *GNSS*. Es el resultado de combinar dos *loops* rectangulares exteriores con otros dos interiores de menor tamaño. Cada elemento mayor está conectado con uno menor, todos ellos con *gaps* situados simétricamente respecto al punto de alimentación para producir la polarización circular a derechas (*RCHP*). El posicionamiento de los *gaps* y la forma de cada bucle son muy importantes para ajustar las características de adaptación de impedancia y de la polarización circular, tal y como se vio previamente en esta memoria. La antena propuesta ofrece una relación de onda estacionaria de tensión (*VSWR*) y una relación axial (*AR*) de doble banda, L1 (1575,42 MHz) y L2 (1227,60 MHz). La banda inferior (L2) dada por el *loop* rectangular de mayor tamaño y la banda superior (L1) por el de menor tamaño.

La ganancia de la antena supera los 8,7 dBi y se obtienen amplios patrones de elevación *AR*

### 5.3. Protipo casero

Para finalizar el documento, se va a explicar la fabricación de una antena Bi-Quad [9] de polarización lineal a partir de materiales que se pueden encontrar con facilidad. Esta antena, tal y como se dijo en el apartado de las aplicaciones, es muy útil para dar conectividad, por eso se va a crear para que trabaje a 2.4 GHz, es decir, la banda WiFi. Para ello se necesitan los siguientes materiales:

- Sección cuadrada de 123x123 mm (reflector).
- Conector N.
- 250 mm de alambre de cobre con 1.5 mm de diámetro.
- Cable coaxial de unos 300 mm de largo.
- Tubo de cobre de 50 mm de largo.

Respecto al reflector, se ha utilizado una plancha metálica pero puede servir cualquier conductor eléctrico, incluso un CD-ROM. En la Figura 5.6 se muestra el proceso para crear el reflector:

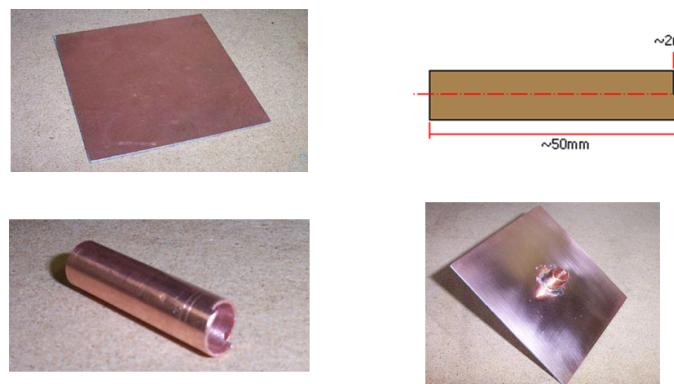


Figura 5.6: Proceso de creación del reflector de la antena

De izquierda a derecha, de arriba abajo, se tiene la plancha de metal de 123x123 mm, el tubo de cobre con una muesca de unos 2 mm para facilitar el soldado posterior y el resultado del ensamblaje obteniéndose el reflector de la antena.

La longitud de cada lado (Figura 5.7) debe ser lo más cercano posible a un cuarto de la longitud de onda a 2.4GHz, cuyo resultado es de 30,5mm

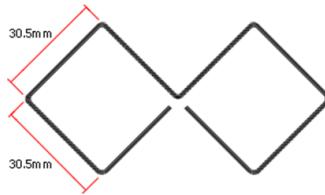


Figura 5.7: Tamaño de la antena casera

Para la antena, se utiliza un alambre de cobre que puede ser extraído de cables de alimentación así promoviendo el reciclaje de componentes electrónicos para cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (iniciativa impulsada por las Naciones Unidas). Una vez extraído el cable, hay que doblar siete veces el cable 90° como se muestra en la Figura 5.8 y a su vez comprobar que cada lado mide 30.5mm aproximadamente.

Los cables coaxiales se tienen que pelar unos 30 mm y retraer la malla hasta que queden unos 4 mm del conductor tal y como muestra la Figura 5.9

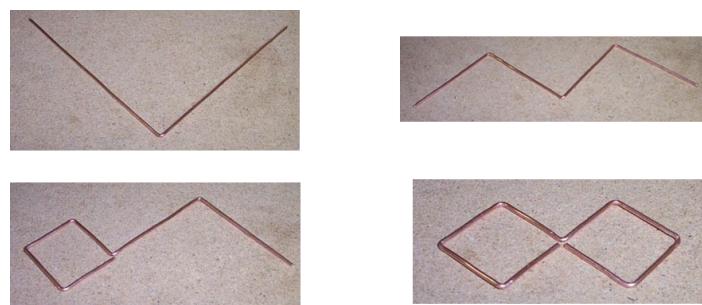


Figura 5.8: Proceso de creación de la antena

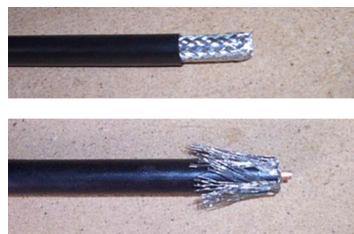


Figura 5.9: Proceso de retracción de la malla del cable coaxial

Para finalizar, se suelda la antena a unos 15 mm de la placa y el centro de ella tiene que situarse justo donde se encuentra el vivo del cable coaxial, de esta forma evitando el contacto con el tubo de cobre. Por último, acoplar el conector tipo N en el otro extremo del cable coaxial. El resultado obtenido aparece en la Figura 5.10.



Figura 5.10: Antena soldada y ensamblada

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES

1. Para aumentar (disminuir) la frecuencia de trabajo, se disminuye (aumenta) el radio del *loop*. Habrá que ajustar otros parámetros para garantizar una polarización circular óptima y la adaptación de la impedancia.
2. Para cambiar la polarización, se debe invertir las posiciones de los gaps de los bucles.
3. El aumento del valor absoluto del desplazamiento del gap incrementará la impedancia de entrada.
4. El aumento de la relación entre la anchura y la longitud del *loop* tiende a mejorar el ancho de banda de la relación axial a costa de reducir el ancho de banda del coeficiente de reflexión.
5. Se pueden aplicar ligeros ajustes de la distancia al plano de toda la antena para restablecer la polarización circular si se modifican otros parámetros. Los cambios de distancia al plano también pueden utilizarse para obtener un ancho de banda de relación axial más amplio a costa de una empeorar el ancho de banda del coeficiente de reflexión.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Clarence C. Moore. «Antenna Quad Patent». 1951. URL: <http://www.puertobalsillas.com/radio/US2537191.pdf>.
- [2] Moses Jacobson. «Antenna Patent». 1924. URL: <http://www.puertobalsillas.com/radio/US1747008.pdf>.
- [3] George H. Brown. «Antenna Patent». 1938. URL: <http://www.puertobalsillas.com/radio/US2207781.pdf>.
- [4] *Classification of Polarization*. URL: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/polclas.html> (visitado 15-10-2021).
- [5] K. Hirasawa H. Morishita T. Iizuka y T.Nagao. «A DUAL RHOMBIC LOOP ANTENNA FOR CIRCULAR POLARISATION». En: (), págs. 500-503.
- [6] H. Morishita, K. Hirasawa y T. Nagao. «Circularly polarised wire antenna with a dual rhombic loop». En: *IEE Proceedings: Microwaves, Antennas and Propagation* 145 (2 1998), págs. 219-224. DOI: 10.1049/IP-MAP:19981864.
- [7] Makoto Sumi, Kazuhiro Hirasawa y Song Shi. «Two rectangular loops fed in series for broadband circular polarization and impedance matching». En: *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 52.2 (2004), págs. 551-554. ISSN: 0018926X.
- [8] *Dual Bi-Quad*. URL: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/transcom/E102.B/12/E102.B\\_2019EBP3043/\\_pdf/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/transcom/E102.B/12/E102.B_2019EBP3043/_pdf/-char/en).
- [9] *Fabricación de la antena*. URL: <https://martybugs.net/wireless/biquad/>.