



Projecte Fi de Carrera

Enginyeria de Telecomunicació

---

# Diseño de antenas UHF para aplicaciones RFID

José Vicente Hernández Ripoll

---

Director: Dr. Josep Parrón Granados

*Departament de Telecomunicació i d'Enginyeria de Sistemes*

**Escola Tècnica Superior d'Enginyeria (ETSE)  
Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)**

Setembre 2009



El tribunal d'avaluació d'aquest Projecte Fi de Carrera, reunit el dia 28 de setembre de 2009, ha acordat concedir la següent qualificació:

--

President:

Vocal:

Secretari:



El sotasignant, Dr. Josep Parrón Granados, Professor de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria (ETSE) de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB),

CERTIFICA:

Que el projecte presentat en aquesta memòria de Projecte Fi de Carrera ha estat realitzat sota la seva direcció per l'alumne *José Vicente Hernández Ripoll*

I, perquè consti a tots els efectes, signa el present certificat.

Bellaterra, 1 de Setembre de 2009

Signatura: Dr. Josep Parrón Granados

# Agradecimientos y dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a mi madre, a mi hermana, a Gustavo Bueno, y a José Luís Bueno, que sin su ayuda y apoyo no habría llegado hasta aquí.

Agradecerle al Dr. Josep Parrón la tutoría de este proyecto, en el que he conseguido aprender a diseñar, evaluar y fabricar antenas UHF para aplicaciones RFID.

El hecho de desarrollar este proyecto desde el inicio, haciendo el diseño, el análisis, y la realización física me ha ayudado a una mejor comprensión de los conceptos de parámetros básicos de antenas, y a entender el funcionamiento de las diferentes antenas que hemos realizado.

A todas las personas que me han ayudado,

Gracias.

José Vicente

# Índice

1. Introducción.....	1
1.1. Motivación del proyecto.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Antenas realizadas.....	2
1.4. Estructura del documento.....	3
2. Parámetros básicos de antenas.....	4
2.1. Introducción.....	4
2.2. Impedancia.....	5
2.3. Diagrama de radiación.....	6
2.4. Directividad.....	7
2.5. Polarización.....	7
2.6. Adaptación.....	8
2.7. Ancho de banda.....	10
3. RFID.....	11
3.1. Introducción.....	11
3.2. Historia RFID.....	12
3.3. Elementos de un sistema RFID.....	14
3.4. Clasificación y tipos de etiquetas RFID.....	14
3.4.1. Introducción.....	14
3.4.2. Clasificación por fuente de energía.....	15
3.4.3. Clasificación por memoria.....	16
3.4.4. Clasificación por clase.....	16
3.5. Funcionamiento de un sistema RFID.....	17
3.6. Efecto de los materiales en los tags.....	18
3.7. Regulación y estándares.....	19
3.7.1. Regulación de las frecuencias.....	19
3.7.2. ISO.....	20
3.7.3. EPC.....	21
3.7.4. UHF Generation 2 Air Interface Protocol.....	22
3.8. RFID vs código de barras.....	24

3.9	Aplicaciones RFID .....	25
3.9.1	Introducción.....	25
3.9.2	Gestión en tienda .....	26
3.9.3	Identificadores de presencia .....	27
3.9.4	Gestión de la cadena de suministro .....	27
3.9.5	La logística del frío.....	28
3.9.6	Peaje automático.....	29
3.9.7	Gestión de equipajes en aeropuertos .....	29
3.9.8	Control de producción o calidad.....	29
3.9.9	Identificación de personas y control de accesos.....	31
3.10	Posibles aplicaciones RFID para nuestros diseños de antenas .....	32
4.	Antenas para adaptar chips RFID con impedancia de entrada de 50 $\Omega$ .....	36
4.1	Introducción.....	36
4.2	Antena dipolo monocapa .....	38
4.3	Antena Quasi-Log monocapa .....	47
4.3.1	Introducción.....	47
4.3.2	Diseño y funcionamiento de la antena Quasi-Log .....	49
4.4	Antena Quasi-Log optimizada monocapa .....	61
4.5	Antena Quasi-Log mejorada monocapa .....	65
4.6	Antena dipolo bicapa .....	70
4.7	Antena Quasi-Log bicapa .....	74
5.	Antenas para poder integrar el chip XRAG 2 de STMicroelectronics .....	77
5.1	Introducción.....	77
5.2	Antenas CLL simétricas .....	78
5.3	Antenas SRR .....	86
6.	Fabricación y medidas de las antenas.....	94
6.1	Proceso de fabricación de las antenas.....	94
6.1.1	Transferencia del diseño en CADFEKO a AutoCAD .....	94
6.1.2	Transferencia del diseño en AutoCAD a la fresadora .....	94
6.1.3	Ataque al cobre.....	95
6.1.4	Soldadura de componentes .....	95
6.2	Diseños realizados en sustrato FR4 .....	96
6.2.1	Dipolo básico monocapa .....	96
6.2.2	Dipolo básico bicapa .....	97

6.2.3	Quasi-Log monocapa.....	97
6.2.4	Quasi-Log optimizada monocapa.....	99
6.2.5	SRR.....	99
6.3	Comparativa resultados simulación – medida.....	100
6.3.1	Introducción.....	100
6.3.2	Medidas single-ended.....	102
6.3.2.1	Dipolo monocapa.....	102
6.3.2.2	Dipolo bicapa.....	104
6.3.2.3	Quasi-Log monocapa.....	106
6.3.2.4	Quasi-Log optimizada monocapa.....	107
6.3.2.5	SRR.....	109
6.3.3	Medidas diferenciales.....	110
6.3.3.1	Introducción.....	110
6.3.3.2	Dipolo monocapa.....	112
6.3.3.3	Quasi-Log monocapa.....	113
6.3.3.4	Quasi-Log optimizada monocapa.....	114
6.3.3.5	SRR.....	115
7.	Conclusiones y líneas futuras.....	117
7.1	Conclusiones.....	117
7.2	Líneas futuras.....	119
	Bibliografía y referencias.....	121

# Índice figuras

Figura 1.1. Antenas UHF fabricadas con sustrato FR4 .....	2
Figura 2.1 Diagrama de radiación tridimensional [5].....	6
Figura 2.2 Diagramas de radiación isótropo, omnidireccional y directivo [5].....	6
Figura 2.3 Directividad [5] .....	7
Figura 2.4 Representación del circuito de conexión entre la antena y el chip RFID .....	8
Figura 3.1 Interrogación por parte del lector RFID a los tags [8] .....	12
Figura 3.2 Respuesta de los tags a la petición del lector RFID [8] .....	12
Figura 3.3 Años y acciones claves para la tecnología RFID [9] .....	13
Figura 3.4 Elementos de una etiqueta RFID [9].....	14
Figura 3.5 Funcionamiento de un sistema RFID corporativo [11].....	17
Figura 3.6 Efecto de los materiales en los tags [8].....	18
Figura 3.7 Frecuencias utilizadas en diferentes situaciones geográficas [9].....	20
Figura 3.8 Estructura código EPC [15] .....	22
Figura 3.9 RFID vs Código de barras [9] .....	24
Figura 3.10 Aplicaciones RFID gestión tienda o almacén [16] [17].....	26

Figura 3.11 Aplicación Smart Shelf [9] [11].....	26
Figura 3.12 Identificadores de presencia [18] [19].....	27
Figura 3.13 Aplicación cadena de suministro [20].....	28
Figura 3.14 Gestión de equipajes en el aeropuerto de Hong Kong [11] .....	29
Figura 3.15 Aplicación identificación personas y control de accesos [24][25].....	31
Figura 3.16 Chip implantable de VeriChip [26].....	31
Figura 3.17 Antenas UHF fabricadas con sustrato FR4 .....	32
Figura 3.18 Posible aplicación antena dipolo simple [27] [28].....	33
Figura 3.19 Posible aplicación dipolo simple bicapa [29] .....	33
Figura 3.20 Posible aplicación antena Quasi-Log [30] .....	34
Figura 3.21 Posible aplicación antena SRR [11].....	34
Figura 3.22 Posible aplicación antena SRR [31].....	35
Figura 4.1 Programa de diseño CADFEKO [32] .....	36
Figura 4.2 Relación radio de hilo utilizado y ancho de pista [6].....	37
Figura 4.3 Antena dipolo simple RFID [11] .....	38
Figura 4.4 Diseño dipolo simple en espacio libre .....	39
Figura 4.5 Relación % de acortamiento dipolo según el valor de “H” [5].....	40

Figura 4.6 En rojo $ S_{11} $ de un dipolo de dimensión $\lambda/2$ , y en azul $ S_{11} $ habiendo acortado la antena un 8% .....	40
Figura 4.7 Diagrama de radiación dipolo simple en espacio libre .....	41
Figura 4.8 Dipolo simple con ancho de pista de 2mm y 6mm .....	42
Figura 4.9 En rojo $ S_{11} $ de un dipolo con un ancho de pista de 2mm, y en azul $ S_{11} $ de un dipolo con un ancho de pista de 6mm. ....	43
Figura 4.10 Estructura dipolo simple .....	44
Figura 4.11 Dipolo simple sobre sustrato FR4 .....	45
Figura 4.12 En rojo $ S_{11} $ del dipolo simple en espacio libre, y en azul $ S_{11} $ del dipolo simple sobre sustrato FR4. ....	46
Figura 4.13 Eficiencia dipolo simple sobre FR4 .....	47
Figura 4.14 Estructura antena Quasi-Log.....	48
Figura 4.15 Estructura antena logoperiódica [5] .....	48
Figura 4.16 Estructura y medidas Quasi-Log.....	49
Figura 4.17 Diagrama de radiación antena Quasi-Log entorno los 960MHz.....	50
Figura 4.18 $ S_{11} $ de la antena Quasi-Log en espacio libre.....	51
Figura 4.19 Antena Quasilog sin cruzar los brazos, y con los brazos cruzados.....	52
Figura 4.20 Antena Quasi-Log con los brazos a una distancia muy pequeña y con los brazos a una distancia óptima para su funcionamiento .....	53

Figura 4.21 Antena Quasi-Log con los brazos en el mismo lado.....	53
Figura 4.22 $ S_{11} $ de la antena Quasi-Log con los brazos en el mismo lado .....	54
Figura 4.23 Medidas antena Quasi-Log brazos mismo lado .....	55
Figura 4.24 Diagrama de radiación Quasi-Log brazos en el mismo lado .....	55
Figura 4.25 Estructura 1 que forma la antena Quasi-Log.....	56
Figura 4.26 $ S_{11} $ de la estructura 1 que forma la antena Quasi-Log.....	56
Figura 4.27 Estructura 2 que forma la antena Quasi-Log.....	57
Figura 4.28 $ S_{11} $ de la estructura 2 que forma la antena Quasi-Log.....	57
Figura 4.29 $ S_{11} $ de la estructura 1, de la estructura 2, y de la antena Quasi-Log.....	58
Figura 4.30 Antena Quasi-Log sobre sustrato FR4.....	59
Figura 4.31 Medidas antena Quasi-Log sobre sustrato FR4 .....	60
Figura 4.32 Eficiencia antena Quasi-Log sobre sustrato FR4.....	60
Figura 4.33 $ S_{11} $ de la antena Quasi-Log sobre FR4 .....	61
Figura 4.34 Optimización antena Quasi-Log [3].....	62
Figura 4.35 Antena Quasi-Log optimizada sobre sustrato FR4 .....	63
Figura 4.36 Medidas antena Quasi-Log optimizada sobre sustrato FR4.....	63
Figura 4.37 $ S_{11} $ de la antena Quasi-Log optimizada sobre sustrato FR4.....	64

Figura 4.38 Eficiencia de la antena Quasi-Log optimizada sobre sustrato FR4.....	65
Figura 4.39 Medidas antena Quasi-Log mejorada en espacio libre .....	66
Figura 4.40  S11  antena Quasi-Log mejorada en espacio libre .....	66
Figura 4.41 Diagrama de radiación antena Quasi-Log mejorada en espacio libre.....	67
Figura 4.42 Antena Quasi-Log mejorada sobre sustrato FR4 .....	68
Figura 4.43 Medidas antena Quasi-Log mejorada sobre sustrato FR4.....	68
Figura 4.44  S11  antena Quasi-Log mejorada sobre sustrato FR4 .....	69
Figura 4.45 Eficiencia de la antena Quasi-Log mejorada sobre sustrato FR4 .....	70
Figura 4.46 Antena dipolo simple bicapa sobre sustrato FR4.....	71
Figura 4.47 Estructura Antena dipolo simple bicapa .....	71
Figura 4.48 Conexión línea de transmisión a la antena dipolo simple bicapa.....	72
Figura 4.49  S11  antena dipolo simple bicapa sobre sustrato FR4 .....	72
Figura 4.50 Eficiencia de la antena dipolo simple bicapa sobre sustrato FR4 .....	73
Figura 4.51 Antena Quasi-Log bicapa sobre sustrato FR4.....	74
Figura 4.52  S11  Antena Quasi-Log bicapa sobre sustrato FR4.....	75
Figura 4.53 Eficiencia de la antena Quasi-Log bicapa sobre sustrato FR4.....	76
Figura 5.1 CLL básica en espacio libre .....	78

Figura 5.2 Diagrama radiación CLL básico .....	79
Figura 5.3 Representación $20\text{Log} S $ antena CLL básico.....	79
Figura 5.4 CLL básico optimizado .....	80
Figura 5.5 Diagrama de radiación CLL básico optimizado.....	81
Figura 5.6 Representación $20\text{Log} S $ antena CLL básico optimizado.....	81
Figura 5.7 CLL básico optimizado cuadrado .....	82
Figura 5.8 Diagrama de radiación CLL básico optimizado cuadrado.....	83
Figura 5.9 Representación $20\text{Log} S $ antena CLL básico optimizado cuadrado .....	83
Figura 5.10 CLL básico optimizado rectangular .....	84
Figura 5.11 Diagrama de radiación CLL básico optimizado rectangular.....	84
Figura 5.12 CLL básico optimizado cuadrado utilizando una pista de 4mm .....	85
Figura 5.13 Dimensiones antena SRR.....	86
Figura 5.14 Representación $20\text{Log} S $ antena SRR en espacio libre.....	87
Figura 5.15 Parte real de la impedancia de la antena SRR. En rojo, el anillo interior sin desplazamiento, en azul con un desplazamiento hacia la fuente +0.0005m, y en verde con un desplazamiento de -0.0005m .....	88
Figura 5.16 Parte imaginaria de la impedancia de la antena SRR. En rojo, el anillo interior sin desplazamiento, en azul con un desplazamiento hacia la fuente +0.0005m, y en verde con un desplazamiento de -0.0005m.....	89

Figura 5.17 Representación $20\text{Log} S $ antena SRR en un plano dieléctrico infinito .....	90
Figura 5.18 Antena SRR en sustrato finito FR4.....	91
Figura 5.19 Representación $20\text{Log} S $ antena SRR en sustrato finito FR4 .....	92
Figura 5.20 Eficiencia antena SRR en sustrato finito FR4.....	93
Figura 6.1 Fresadora LPKF S62 .....	95
Figura 6.2 Antenas fabricadas en FR4 .....	96
Figura 6.3 Antena dipolo monocapa en sustrato FR4 .....	96
Figura 6.4 Antena dipolo bicapa en sustrato FR4 .....	97
Figura 6.5 Antena Quasi-Log monocapa en sustrato FR4 .....	97
Figura 6.6 Conector soldado en la parte trasera de la antena Quasi-Log .....	98
Figura 6.7 Conector soldado en la parte frontal de la antena Quasi-Log .....	98
Figura 6.8 Antena Quasi-Log optimizada monocapa en sustrato FR4.....	99
Figura 6.9 Antena SRR en sustrato FR4 .....	99
Figura 6.10 Antena SRR comparada con el tamaño de un euro.....	100
Figura 6.11 Analizador de redes N5230A de Agilent Technologies.....	100
Figura 6.12 Medidas diferenciales [40].....	101

Figura 6.13 Comparativa $ S_{11} $ de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena dipolo monocapa .....	102
Figura 6.14 Comparativa $ S_{11} $ de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena dipolo monocapa mientras tocamos el cable que conecta el analizador y la antena.....	103
Figura 6.15 Comparativa $ S_{11} $ de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena dipolo bicapa .....	104
Figura 6.16 Comparativa $ S_{11} $ de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena dipolo bicapa mientras tocamos el cable que conecta el analizador y la antena .....	105
Figura 6.17 Comparativa $ S_{11} $ de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena Quasi-Log monocapa .....	106
Figura 6.18 Comparativa $ S_{11} $ de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena Quasi-Log monocapa mientras tocamos el cable que conecta el analizador y la antena.....	107
Figura 6.19 Comparativa $ S_{11} $ de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena Quasi-Log optimizada monocapa.....	108
Figura 6.20 Comparativa $ S_{11} $ de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena SRR .....	109
Figura 6.21 Comparativa de la fase de la antena SRR de los resultados simulados y los resultados medidos .....	110
Figura 6.22 Comparativa $ S_{11} $ de los resultados simulados y los resultados medidos (mediante medidas diferenciales) de la antena dipolo monocapa .....	112

Figura 6.23 Comparativa  $|S_{11}|$  de los resultados simulados y los resultados medidos (mediante medidas diferenciales) de la antena Quasi-Log monocapa 113

Figura 6.24 Comparativa  $|S_{11}|$  de los resultados simulados y los resultados medidos (mediante medidas diferenciales) de la antena Quasi-Log optimizada monocapa..... 114

Figura 6.25 Comparativa  $|S_{11}|$  de los resultados simulados y los resultados medidos (mediante medidas diferenciales) de la antena SRR ..... 115

Figura 6.26 Representación  $20\text{Log}|S|$  antena SRR habiendo utilizado medidas diferenciales..... 116

Figura 7.1 Etiqueta RFID fabricada por EPSON [44], este tipo de etiqueta incorpora una pantalla de tecnología EPD que permitirá mostrar la información del producto cuando se pase por un escáner RFID..... 120

# Índice tablas

**Tabla 1.1 Denominación de las bandas por décadas [5] ..... 4**

**Tabla 3.1 Comparativa características Gen2 Clase 1 vs Gen1 Clase 1 [9]..... 24**

# 1. Introducción

## 1.1 Motivación del proyecto

La motivación principal que me ha llevado a la realización de este proyecto ha sido la posibilidad de hacer un proyecto basado en el diseño, análisis, implementación y medida de antenas UHF, aplicadas a una tecnología en plena expansión, la identificación por radio frecuencia, en inglés, *Radio Frequency IDentification*(**RFID**).

La identificación por radio frecuencia es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos sin ningún tipo de contacto entre los dispositivos denominados etiquetas, transpondedores o tags RFID y los lectores RFID. El propósito fundamental de la tecnología RFID es transmitir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio. Las tecnologías RFID se agrupan dentro de la tecnología denominada Auto ID (*automatic identification*, o identificación automática).

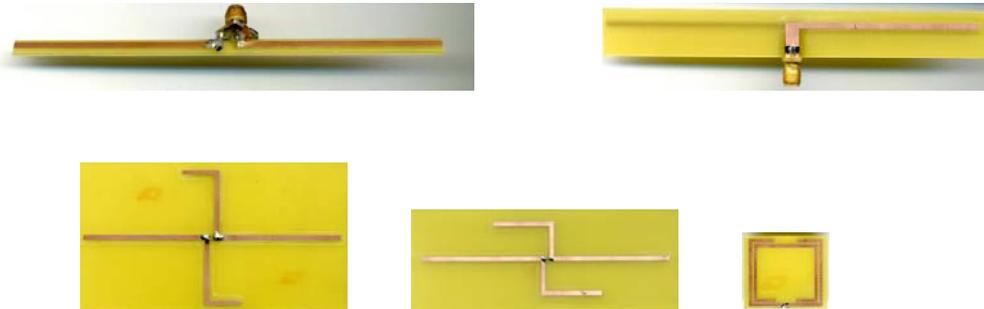
## 1.2 Objetivos

El proyecto persigue cumplir varios objetivos. El primer objetivo es diseñar, evaluar y realizar diversos modelos de antenas UHF aplicadas en el campo de RFID. Partiendo de este objetivo, nos plantearemos el diseño, y análisis de antenas para utilizarlas con un chip con impedancia de entrada  $50 \Omega$ , y otro con una impedancia diferente a  $50 \Omega$ , tal y como ofrece el mercado en este momento, en particular el XRAG2 de STMicroelectronics [1].

Partiremos diseñando una antena de tipo dipolo. Este tipo de antena nos ofrece unas dimensiones y un ancho de banda determinado, y en según qué aplicaciones podría no ser la antena más óptima para su utilización. Por ello, nos planteamos como objetivo diseñar diferentes modelos de antenas que nos ofrezcan un aumento del ancho de banda respecto al dipolo simple y, a su vez, realizar un proceso de optimización del tamaño de estas antenas para conseguir un buen ancho de banda con el menor tamaño posible.

### 1.3 Antenas realizadas

En este proyecto hemos realizado físicamente 5 diseños de antenas UHF (figura 1.1).



**Figura 1.1. Antenas UHF fabricadas con sustrato FR4**

En los próximos capítulos de este proyecto podremos ver el diseño, análisis, implementación y medida de estas cinco antenas. Las dos primeras son antenas de tipo dipolo simple, la diferencia básica entre ambas, es que para hacer la estructura de la antena, en una hemos utilizado una capa, y en la otra hemos realizado un diseño bicapa. Las dos siguientes son antenas Quasi-Log, el lector se puede informar sobre este tipo de antenas en [2], y [3]. De las dos antenas Quasi-Log diseñadas podemos decir que la segunda es una optimización de la primera a nivel de dimensiones, manteniendo unos valores de ancho de banda muy similares entre ambas. El último diseño es una antena SRR (Split Ring Resonator), se puede ver las características básicas de esta antena en [4]. De estos cinco modelos, las cuatro primeras se han diseñado para utilizar un chip con impedancia de entrada de  $50 \Omega$ , y la última con un chip con impedancia de entrada de  $10-j245 \Omega$ .

Aunque en España la banda de trabajo en RFID es de los 865.6-867.6 MHz. Se ha decidido que las antenas que integrarían un chip de  $50 \Omega$  trabajen entorno los 960MHz, porque de esta manera podremos hacer diversas optimizaciones que hacen de la antena Quasi-Log en [3]. Pudiendo ver si nuestros diseños se optimizan de la misma manera. Siendo esta frecuencia una de las más elevadas en aplicaciones UHF-RFID, además de ser utilizada en Japón para este tipo de tecnología.

Los diseños realizados son escalables en frecuencia, y para utilizarlos en España, se tendría que aumentar ligeramente el tamaño de las antenas. Como se verá en capítulos posteriores, las antenas deberán presentar una adaptación menor que -10dB entorno la frecuencia de 960MHz.

Para la antena SRR se ha decidido diseñar partiendo de que el chip que se utilizaría no tendría una impedancia de entrada de  $50 \Omega$ . En nuestro caso hemos elegido que nuestro chip tenga una impedancia de entrada de  $10-j245 \Omega$ . El chip que podría integrarse con nuestra antena podría ser el XRAG2 de la empresa ST Microelectronics. Para ampliar la información sobre este circuito integrado se puede consultar su data sheet en [1].

La frecuencia fundamental de trabajo de este chip es de 915MHz, por lo tanto podremos ver en capítulos posteriores que a esta frecuencia la antena deberá presentar una adaptación conjugada menor que -10dB alrededor de esta frecuencia.

#### **1.4 Estructura del documento.**

La memoria de este proyecto consta de seis grandes bloques. En primer lugar, en los dos primeros capítulos se ofrecen toda una serie de definiciones, conceptos sobre antenas y sobre la tecnología RFID. De esta manera, el lector se familiarizará con los conceptos básicos que luego se utilizarán a lo largo del diseño, estudio y realización de las diferentes antenas.

En los dos capítulos siguientes podremos ver el diseño, análisis, y las características de cada una de las antenas. En el siguiente capítulo a estos se realizará una explicación del proceso de fabricación de cada una de las antenas, y podremos ver una comparativa entre los resultados teóricos-simulados, y los medidos en las antenas realizadas.

Tras estos capítulos se presentarán las conclusiones del proyecto y las líneas futuras.

## 2. Parámetros básicos de antenas

### 2.1 Introducción

En este capítulo vamos indicar de forma muy simple, y resumida, para dar una idea al lector, los parámetros de antena que se utilizarán a lo largo del proyecto. Para profundizar en la teoría y comprensión de estos parámetros se pueden consultar [5], y [6].

Toda onda se caracteriza por su frecuencia ( $f$ ) y su longitud de onda ( $\lambda$ ), ambas relacionadas por la velocidad de propagación en el medio, que habitualmente en antenas tiene las propiedades del vacío ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s), con  $c = \lambda \cdot f$ .

El conjunto de todas las frecuencias, o espectro de frecuencias, se divide por décadas en bandas, con la denominación presentada en la tabla 1.1.

BANDA	FRECUENCIA	LONG. DE ONDA	DENOMINACIÓN
ELF	<3 kHz	>100 km	Extremely Low Frequency
VLF	3-30 kHz	100-10 km	Very Low Frequency
LF	30-300 kHz	10-1 km	Low Frequency
MF	0,3 -3 MHz	1.000-100 m	Medium Frequency
HF	3-30 MHz	100-10 m	High Frequency
VHF	30-300 MHz	10-1 m	Very High Frequency
UHF	0,3 -3 GHz	100-10 cm	Ultra High Frequency
SHF	3-30 GHz	10-1 cm	Super High Frequency
EHF	30-300 GHz	10-1 mm	Extremely High Frequency

**Tabla 1.1 Denominación de las bandas por décadas [5]**

Las antenas tienen unas características de impedancia y de radiación que dependen de la frecuencia. El análisis de dichas características se puede realizar a partir de las ecuaciones de Maxwell en el dominio de la frecuencia, utilizando las expresiones de los campos en forma compleja o fasorial.

En una forma amplia y no exhaustiva, los tipos más comunes de antenas se pueden agrupar en los tres grandes bloques siguientes [5]:

- Antenas de hilo. Se distinguen por estar construidas con hilos conductores que soportan las corrientes que dan origen a los campos radiados. Pueden estar formadas por hilos rectos (dipolo, V, rómbica), espiras (circular, cuadrada o de cualquier forma arbitraria) y hélices. Este tipo de antenas se caracterizan por corrientes y cargas que varían de forma armónica con el tiempo y con amplitudes que también varían a lo largo de los hilos. Este es el tipo las antenas que hemos diseñado en este proyecto.
- Antenas de apertura y reflectores.
- Agrupaciones de antenas

## 2.2. Impedancia

La antena ha de conectarse a un transmisor y radiar el máximo de potencia posible con un mínimo de pérdidas en ella. La antena y el transmisor han de adaptarse para una máxima transferencia de potencia.

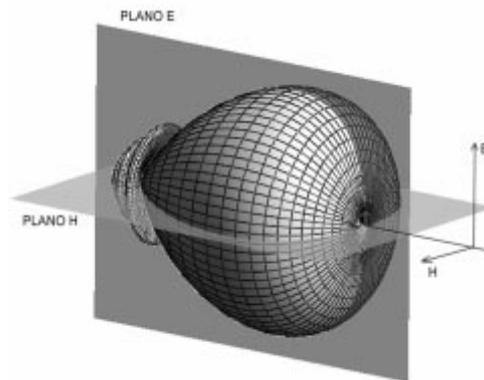
Habitualmente el transmisor se encuentra alejado de la antena y la conexión se hace mediante una línea de transmisión o guía de ondas, que participa también en esa adaptación, debiéndose considerar su impedancia característica, su atenuación y su longitud.

A la entrada de la antena puede definirse la impedancia de entrada  $Z_e$  mediante relaciones tensión-corriente en ese punto. En notación fasorial de régimen permanente sinusoidal poseerá una parte real  $R_e(\omega)$  y una imaginaria  $X_e(\omega)$ , ambas dependientes en general de la frecuencia. Si  $Z_e$  no presenta una parte reactiva a una frecuencia, se dice que es una antena resonante.

Nos interesará adaptación conjugada, dependiendo del diseño deberemos tener adaptación a  $50 \Omega$ , o a  $10-j245 \Omega$ . Esto quiere decir que para tener máxima transferencia de potencia nuestra antena tendría que tener una impedancia de entrada de  $50 \Omega$ , para las antenas que requieren adaptación a  $50 \Omega$ , y una impedancia de entrada de  $10+j245 \Omega$ , para adaptar el chip de ST Microelectronics [1].

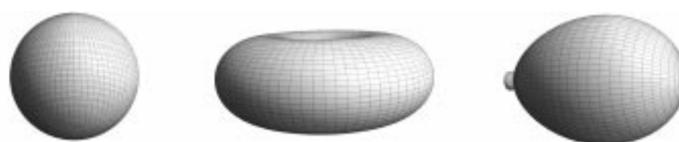
### 2.3. Diagrama de radiación

Un diagrama de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena, en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija. Normalmente se empleará un sistema de coordenadas esféricas.



**Figura 2.1 Diagrama de radiación tridimensional [5]**

Los niveles se suelen expresar en decibelios respecto al máximo de radiación. Para antenas linealmente polarizadas se define el *plano E* como el que forman la dirección de máxima radiación y el campo eléctrico en dicha dirección. Análogamente, el *plano H* es el formado por la dirección de máxima radiación y el campo magnético en dicha dirección. Ambos planos son perpendiculares y su intersección determina una línea que define la dirección de máxima radiación de la antena (figura 2.1).

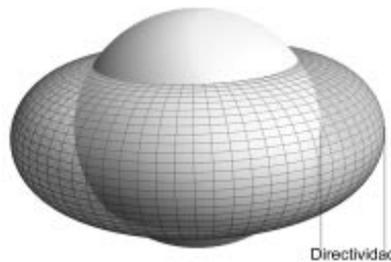


**Figura 2.2 Diagramas de radiación isótropo, omnidireccional y directivo [5]**

En la figura 2.2 podemos ver diferentes tipos de diagramas de radiación que podemos tener como son el isótropo, omnidireccional y directivo.

La logística es uno de los campos en que más se está utilizando la tecnología RFID, para poder utilizar nuestras antenas en este campo, debemos tener en cuenta que los lectores podrán situarse en cualquier posición, y por tanto, no nos interesará tener un diagrama de radiación directivo que apunte solo a una dirección, sino que nos interesa que sea omnidireccional.

## 2.4 Directividad



**Figura 2.3 Directividad [5]**

La directividad  $D$  de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esa misma distancia una antena isótropa que radiase la misma potencia que la antena.

## 2.5. Polarización

La polarización de una antena en una dirección es la de la onda radiada por ella en esa dirección. La polarización de una onda es la figura geométrica descrita, al transcurrir el tiempo, por el extremo del vector campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Para ondas con variación temporal sinusoidal esa figura es en general una elipse, pero hay dos casos particulares de interés: si la figura trazada es un segmento, la onda se denomina linealmente polarizada y si es un círculo, circularmente polarizada. En nuestro caso, las antenas tendrán una polarización lineal.

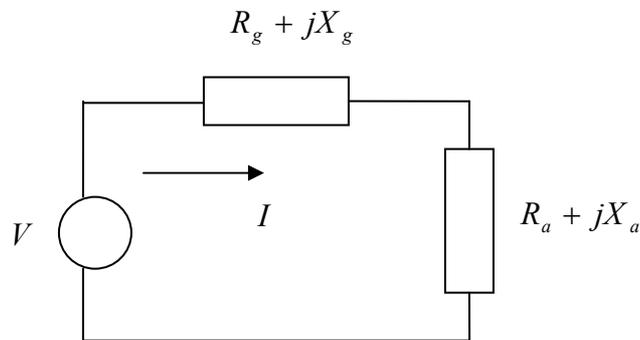
## 2.6 Adaptación

Dicho de una manera muy sencilla, tener buena adaptación de nuestra antena al chip que irá en el tag significa que tendremos una buena transferencia de potencia de nuestra antena al chip y viceversa.

La impedancia de una antena receptora es la misma que la impedancia de dicha antena actuando como transmisora. En recepción, la antena se conecta a una línea de transmisión o bien directamente a un receptor.

En las diferentes antenas deberemos conseguir adaptación conjugada entorno las frecuencias alrededor de 960MHz para las antenas que utilizarán chips con impedancia de entrada  $50 \Omega$ . Y alrededor de los 915MHz para la antena SRR. De esa manera garantizamos una transferencia de potencia óptima al chip RFID. Esto se puede entender a partir de la teoría de parámetros S en [7].

En la figura 2.4 vemos la representación del circuito que forman el chip RFID, y la antena.



**Figura 2.4 Representación del circuito de conexión entre la antena y el chip RFID. En donde  $R_g + jX_g$  es la impedancia del chip RFID, y  $R_a + jX_a$  es la impedancia de la antena.**

Adaptación conjugada se puede definir como vemos en la relación 2.1.

$$\begin{aligned} R_g &= R_a \\ X_g &= -X_a \end{aligned} \quad (2.1)$$

La potencia radiada ( $W_{ra}$ ) por la antena la vemos en la expresión 2.2.

$$\begin{aligned}
 W_{ra} &= |I|^2 \cdot R_a \\
 I &= \frac{V}{(R_g + R_a) + j(X_g + X_a)} \\
 W_{ra} &= \left| \frac{V}{(R_g + R_a) + j(X_g + X_a)} \right|^2 \cdot R_a
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

A partir de las expresiones de 2.3 podemos definir el coeficiente de desadaptación  $C_a$ .

$$\left. \begin{aligned}
 W_{ra \max} &= \frac{|V|^2}{4R_g} \\
 W_{ra} &= \left| \frac{V}{(R_g + R_a) + j(X_g + X_a)} \right|^2 \cdot R_a
 \end{aligned} \right\} W_{ra} = W_{ra \max} \cdot C_a \tag{2.3}$$

$$C_a = \frac{4 \cdot R_a \cdot R_g}{(R_a + R_g)^2 + (X_a + X_g)^2}$$

Podemos expresar  $|S|^2 = 1 - C_a$ , de tal manera que  $|S|^2$  se puede definir como en la expresión 2.4.

$$|S|^2 = 1 - C_a = 1 - \frac{4 \cdot R_a \cdot R_g}{(R_a + R_g)^2 + (X_a + X_g)^2} = \left| \frac{(Z_a - Z_g^*)}{(Z_a + Z_g)} \right|^2 \tag{2.4}$$

Si  $Z_g$  es real,  $Z_g^* = Z_g$ , el valor de S se puede ver en la expresión 2.5

$$S = \rho = \frac{Z_a - Z_g}{Z_a + Z_g} \tag{2.5}$$

## 2.7 Ancho de banda

Todas las antenas, debido a su geometría finita, están limitadas a operar satisfactoriamente en una banda o margen de frecuencias. Este intervalo de frecuencias, se conoce como el ancho de banda de la antena.

El ancho de banda estará relacionado con otros parámetros como son la impedancia, la adaptación, es decir, en nuestro caso evaluaremos el ancho de banda conseguido a partir de la magnitud del  $S_{11}$  a -10dB's para las antenas diseñadas con una impedancia de entrada de  $50 \Omega$ .

Y para las antenas que se diseñen para integrar el chip XRAG 2, con una impedancia de entrada por parte del circuito integrado de  $10-j245 \Omega$ , mediremos el ancho de banda conseguido a partir del  $20 \log |S|$  a -10dB's.

# 3. RFID

## 3.1 Introducción

Aunque este proyecto se basa en el diseño de antenas UHF para aplicaciones RFID. En este capítulo vamos a introducir los conceptos de esta tecnología, para que el lector pueda hacerse una idea de la misma a nivel conceptual. Para ampliar la información de este capítulo y profundizar en esta apasionante tecnología se puede consultar la bibliografía al final del proyecto en [9], [10], [11], y [20].

Debido a la necesidad de incrementar la seguridad y la detección de los productos, los fabricantes, empresas distribuidoras, y suministradoras están desarrollando novedades, y mejoras en los sistemas Auto-ID. De estos sistemas forman parte los códigos de barras, el reconocimiento de voz, los sistemas biométricos, y la tecnología RFID. La tecnología RFID esta probablemente destinada a ser la sucesora del código de barras por sus claras ventajas sobre éste; sin embargo, en muchos entornos la coexistencia de las dos tecnologías se prolongará algunos años. Muchos de estos sistemas Auto-ID requieren de una línea de visión directa entre el sistema Auto-ID utilizado, y el lector. Un beneficio que nos ofrece la tecnología RFID es que no es necesario mantener un LOS (line of sight), es decir, una línea de visión directa entre el lector RFID, y el tag.

RFID (**R**adio **F**recuency **I**Dentification), en castellano identificación por radiofrecuencia es un método de almacenamiento y recuperación de información, para la identificación de productos, animales o personas.

En la figura 3.1 y 3.2 podemos ver el principio de funcionamiento de los elementos que forman un sistema RFID.

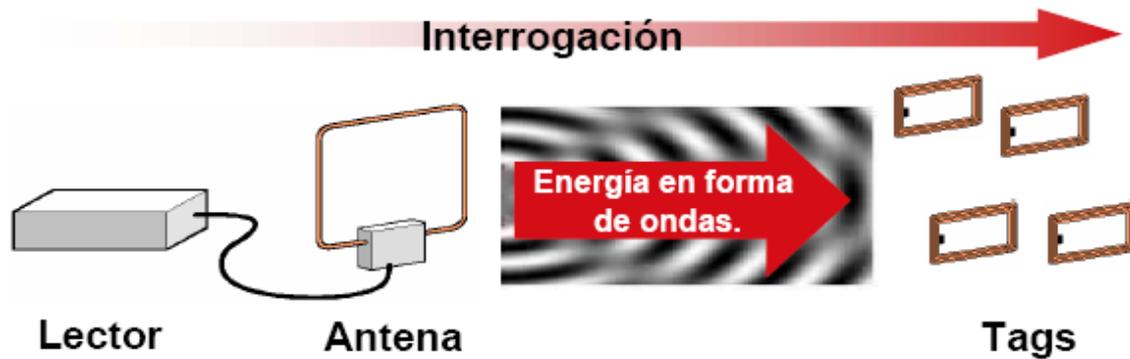


Figura 3.1 Interrogación por parte del lector RFID a los tags [8]

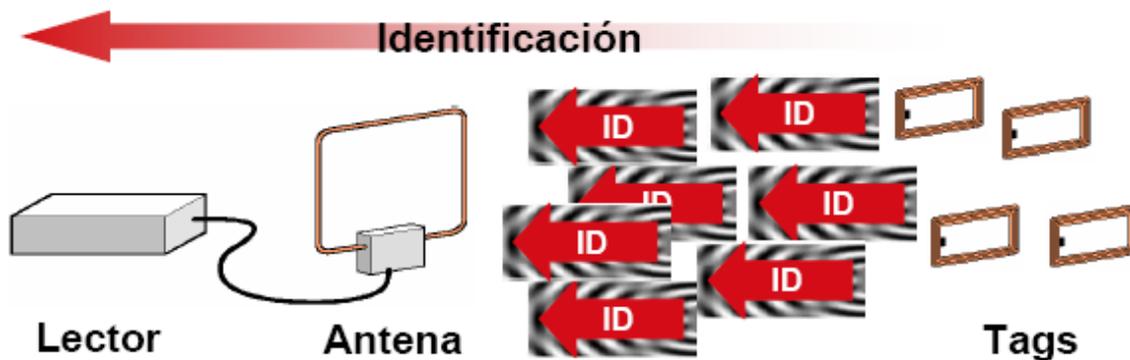


Figura 3.2 Respuesta de los tags a la petición del lector RFID [8]

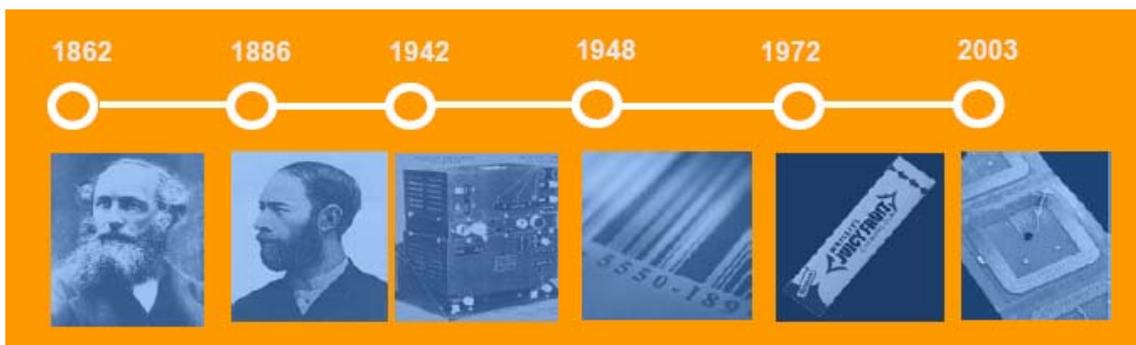
Este sistema utiliza, para el almacenamiento de la información, unos dispositivos llamados tags, transponders o etiquetas RFID. Esta información puede ir desde un Bit hasta KBytes, dependiendo principalmente del sistema de almacenamiento que posea el transponder.

### 3.2 Historia RFID:

Tal como encontramos en [9] los años y acciones claves (figura 3.3) para la tecnología RFID fueron:

- **En 1860:** James Clerk Maxwell, físico escocés, predijo la existencia de ondas radio y postuló su uso.
- **En 1886:** un científico alemán, Heinrich Rudolf Hertz probó que rápidas variaciones de corriente eléctrica podían ser proyectadas en el espacio en forma de ondas de radio, similar a las ondas de luz, y que estas eran medibles y repetibles.

- **En 1902:** Guglielmo Marconi, físico italiano, demostró la primera comunicación de larga distancia usando ondas radio, atravesando el Atlántico. Consistió en transmitir SOS en código Morse, en particular la letra S.
- **Durante la II Guerra Mundial (1942):** los británicos desarrollaron el primer sistema etiquetado de RFID, el objetivo era discriminar rápidamente entre su propia flota de aviones y los escuadrones alemanes. Los aviones británicos incorporaban tags que contestaban a un lector con un código “I am a friend”. Basado en el sistema de identificación IFF (Identity Friend or Foe).
- **En 1960:** la necesidad de seguridad en los materiales nucleares condujo al desarrollo de una etiqueta RFID como el EAS (Electronic Article Surveillance).
- **En 1977:** la tecnología desarrollada se transfirió al sector público. En ese momento se produjo la aparición de aplicaciones más allá del simple EAS (utilizado como antirrobo), como llaves sin contacto, etc.
- **A partir de 1980:** se focaliza en la comercialización de la RFID, desde nuevas aplicaciones a mejoras en el comportamiento y el coste de lectores, etiquetas y antenas. El éxito es evidente viendo la situación actual de la RFID.
- **En el 2000:** Auto-ID Center focaliza todos sus esfuerzos en el desarrollo tecnológico para la implantación masiva de la tecnología RFID en la cadena de suministro, proporcionando un sustituto al código de barras. Posteriormente se convierte en EPC global para gestionar y desarrollar estándares.



**Figura 3.3 Años y acciones claves para la tecnología RFID [9]**

### 3.3 Elementos del Sistema RFID

Un sistema RFID es la comunicación entre un lector y una etiqueta inteligente, también conocida como transpondedor (tag) a través del aire y mediante una frecuencia conocida por ambos elementos, como cualquier otra comunicación radio existente. En resumen, los lectores, antenas y tags configuran el sistema RFID básico, que puede ser ampliado por sistemas de red que tratan la información proporcionada por el RFID.

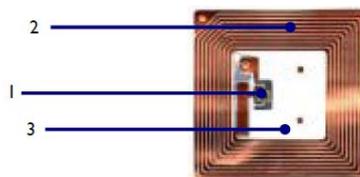
### 3.4 Clasificación y tipos de etiquetas RFID

#### 3.4.1 Introducción

Una etiqueta es un dispositivo, pequeño, que se puede adherir o incorporar a un producto, animal o persona. Estas etiquetas contienen un microchip y una antena para permitirles recibir y responder a peticiones por radiofrecuencia desde un lector RFID, siendo estas antenas el objetivo principal de diseño en este proyecto.

La etiqueta contiene información que puede ser sólo leída o puede permitir la escritura, dependiendo del tipo de memoria que posea el transponder. En algunos casos llevan datos grabados de fábrica y en otros se puede grabar por parte del usuario. El microchip almacena un número de identificación, hay varios tipos de esquemas propuestos para estos números, como por ejemplo el Electronic Product Code (EPC), diseñado por Auto-ID Center, que posteriormente comentaremos.

Existen tags pasivos, semi-activos, y activos. Las tres partes que componen la estructura de un transpondedor o tag de RFID pasivo se pueden ver en la figura 3.4. Se compone por (1) un microchip, (2) una antena, y (3) un sustrato. En el caso de los semi activos o activos solo hay que añadir la batería.



**Figura 3.4 Elementos de una etiqueta RFID [9]**

Los tags se pueden clasificar de diferentes maneras, como puede ser por fuente de energía, tipo de memoria, o por clase.

### 3.4.2 Clasificación por fuente de energía

Esta clasificación de los tags se basa según la procedencia de la energía para poder activar el chip y enviar la información.

- **Activos:** tienen una batería propia para el suministro de la energía. Dicha energía es utilizada para activar la circuitería del microchip y enviar la señal a la antena. Permiten una amplia cobertura de difusión, es decir, mayor alcance. Normalmente tienen una mayor capacidad de almacenar información, más allá del simple código único, como el contenido, el origen, destino, procesos realizados, etc. También pueden llevar sensores adicionales a la propia memoria como sensores de temperatura, de velocidad, de movimiento, etc. que permiten almacenar o controlar datos vitales en algunas aplicaciones. Estos tags son los más caros del mercado, una posible aplicación sería en el Ministerio de Defensa, por ejemplo, identificar los containeres mediante esta tecnología para saber entre muchas otras cosas, el contenido exacto de su interior. El ejemplo quizás más conocido es el sistema TeleTac para el pago sin parar de peajes.

- **Semi-activos:** utilizan una batería para activar la circuitería del chip pero la energía para generar la comunicación es la que recoge de las ondas radio del lector (como en los pasivos). Debido a la utilización de batería, estos son más grandes y caros que los pasivos, pero consiguen mejores rangos de comunicación. Algunos tags llevan integrados sensores de temperatura, movimiento, para proporcionar mayores funcionalidades.

- **Pasivos:** no requieren batería ya que toda la energía la recoge del campo electromagnético creado por el lector. Como es de suponer son los más económicos y los de menor rango de comunicación, pero por su relación entre comportamiento y precio son los más utilizados.

### 3.4.3 Clasificación por tipo de memoria

Esta clasificación se basa según el tipo de memoria que tiene el chip. Podemos tener:

- **Read Only:** como indica su nombre solo de lectura, el identificador viene grabado de fábrica y tiene una longitud fija de caracteres.
- **WORM (Write Once Read Many):** programable por el usuario una unidad de escritura, pudiendo leer las veces que se quiera.
- **Lectura/escritura programable:** una parte de la memoria, normalmente de usuario, se puede grabar hasta 100.000 veces.

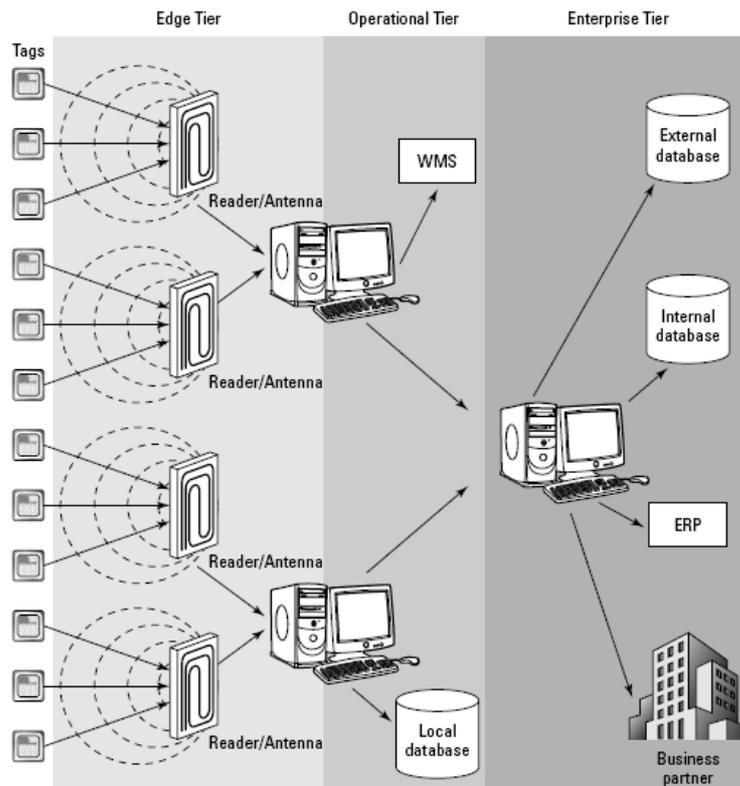
### 3.4.4 Clasificación por clase

EPC global como órgano de estandarización para la RFID en su uso con EPC ha organizado las etiquetas en 6 clases.

- **Clase 0:** solamente lectura (el número EPC se codifica en la etiqueta durante el proceso de fabricación).
- **Clase 1:** escritura una sola vez y lecturas indefinidas (se fabrican sin número y se incorpora a la etiqueta más tarde).
- **Clase 2:** lectura y escritura.
- **Clase 3:** capacidades de la clase 2 más la fuente de alimentación que proporciona un incremento en el rango y funcionalidades avanzadas.
- **Clase 4:** capacidades de la clase 3 más una comunicación activa con la posibilidad de comunicar con otras etiquetas activas.
- **Clase 5:** capacidades de la clase 4 más la posibilidad de poder comunicar también a etiquetas pasivas.

### 3.5 Funcionamiento de un sistema RFID

El lector envía una serie de ondas de radiofrecuencia al tag, que son captadas por la antena de éste. Dichas ondas activan el microchip a través de la antena y mediante ondas de radiofrecuencia, transmite al lector la información que tenga en su memoria. Una vez que el lector recibe la información que tiene el tag, lo envía a una base de datos donde se procesará la información según convenga, como vemos en la figura 3.5. Para ampliar la información se puede consultar [10], [11].



**Figura 3.5 Funcionamiento de un sistema RFID corporativo [11]**

En lectores RFID nos podemos encontrar con sistemas anticolidión que permiten leer varias etiquetas al mismo tiempo. En caso de que se produzca una colisión, el lector detecta la colisión y manda parar la transmisión de los tags durante un tiempo. Después irán respondiendo cada uno por separado.

Para el diseño de un sistema RFID hay que tener en cuenta diversos factores de diseño como el rango de alcance donde se quiere mantener la comunicación entre lector y etiqueta, la cantidad de información que puede almacenar el transponder, de eso dependerá la elección de un microchip u otro. La velocidad de transferencia de datos que podemos obtener entre lector y etiqueta, el tamaño físico de la etiqueta, la capacidad del lector para mantener la comunicación con varias etiquetas a la vez o la robustez que ofrece la comunicación a posibles interferencias de materiales entre lector y etiqueta.

### 3.6 Efecto de los materiales en los tags

Según el estudio realizado por [8], en la figura 3.6 vemos que debemos tener en cuenta el material sobre el que tendremos nuestro tag. Y la situación donde posicionaremos el lector RFID. Dependiendo de estos factores, nuestra señal puede verse atenuada sustancialmente. La siguiente imagen nos muestra una serie de ejemplos en el que se atenúa nuestra señal.



Figura 3.6 Efecto de los materiales en los tags [8]

En ambientes “hostiles” (agua, y metal) [12], los tags que trabajen a frecuencias altas serán menos eficientes que los que trabajen a frecuencias bajas. A su vez, los tags que trabajen a frecuencias altas tendrán una velocidad de transferencia de datos superior a los tags que trabajan en bajas frecuencias, por lo tanto, dependiendo de la aplicación, debemos seleccionar una banda de frecuencia de trabajo u otra, con lo que nos afecta también al tamaño del tag, y a su alcance de lectura. A más alta frecuencia, la longitud de onda es más pequeña, con lo que permite antenas más pequeñas y leer a mayores distancias.

### **3.7 Regulación y estándares**

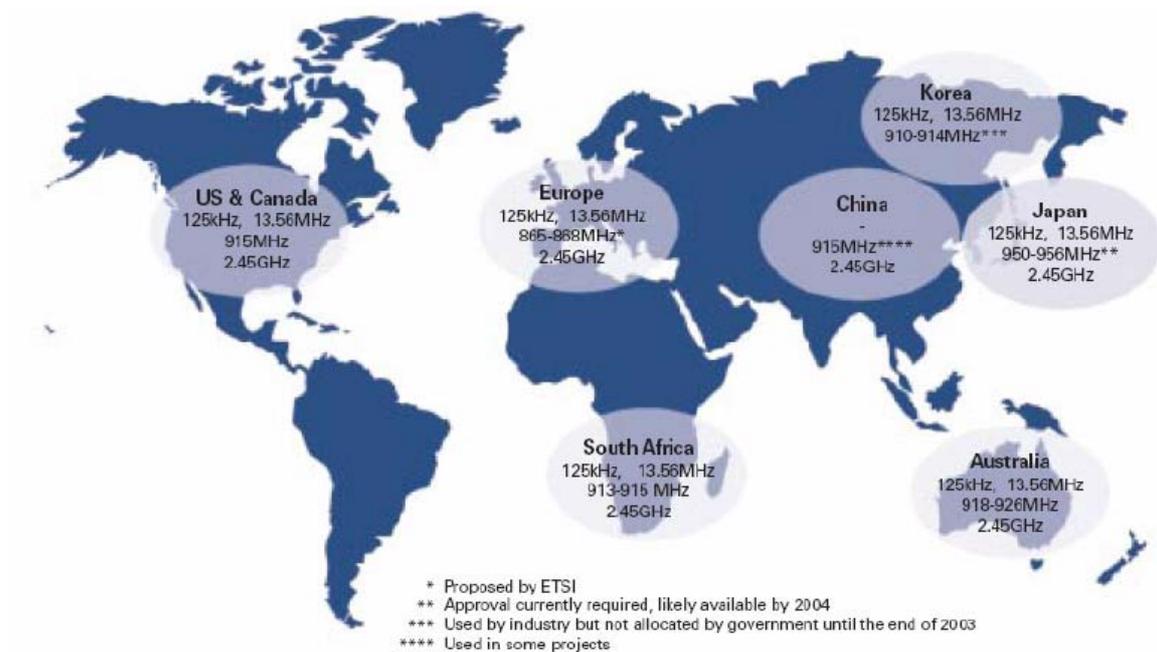
#### **3.7.1 Regulación de las frecuencias**

Actualmente, no existe ninguna corporación que gobierne las frecuencias utilizadas en RFID de manera mundial. Cada país puede fijar sus propias reglas. Las principales corporaciones que gobiernan la asignación de frecuencias para RFID son:

- EEUU: FCC (Federal Communications Commission).
- Canadá: DOC (Departamento de la Comunicación).
- Europa: ERO(European Radiocommunications Office), CEPT(European Conference of Postal and Telecommunications Administrations), ETSI(European Telecommunications Standards Institute) y administraciones nacionales. Las administraciones nacionales tienen que ratificar el uso de una frecuencia específica antes de que pueda ser utilizada en ese país. En España, el órgano regulador es la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones, y para la Sociedad de la Información.
- Japón: MPHPT (Ministry of Public Management, Home Affairs, Post and Telecommunication).
- China: Ministerio de la Industria de Información.
- Australia: Autoridad Australiana de la Comunicación (Australian Communication Authority).
- Nueva Zelanda: Ministerio de desarrollo económico de Nueva Zelanda (New Zealand Ministry of Economic Development).

- Argentina: CNC (Comisión Nacional de Comunicaciones).
- Chile: Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

En la figura 3.7 nos hacemos una idea de forma global sobre las frecuencias utilizadas en RFID en diferentes situaciones geográficas a nivel mundial.



**Figura 3.7 Frecuencias utilizadas en diferentes situaciones geográficas [9]**

En el rango de las frecuencias UHF, podemos indicar que en los Estados Unidos de América, y en la República Dominicana la frecuencia utilizada suele ser 902-928 MHz, en Europa suele ser 865.6-867.6 MHz, en la India, es 865-867 MHz, en Australia 920-926 MHz, en Sud África suelen utilizar 865.6-867.6 MHz, 915.4-919 MHz, 919.2-921 MHz, y en Japón 952-954MHz. Para ampliar la información, o ver las bandas UHF utilizadas en otros países se puede consultar [13].

### 3.7.2 ISO

El estándar ISO/IEC 18000 [14] se basa en la gestión de la identificación por radiofrecuencia, y se divide en varias partes:

- Part 1: Reference architecture and definition of parameters to be standardized.
- Part 2: Parameters for air interface communications below 135 KHz.

- Part 3: Parameters for air interface communications at 13,56 MHz.
- Part 4: Parameters for air interface communications at 2,45 GHz.
- Part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz.
- Part 7: Parameters for active air interface communications at 433 MHz.

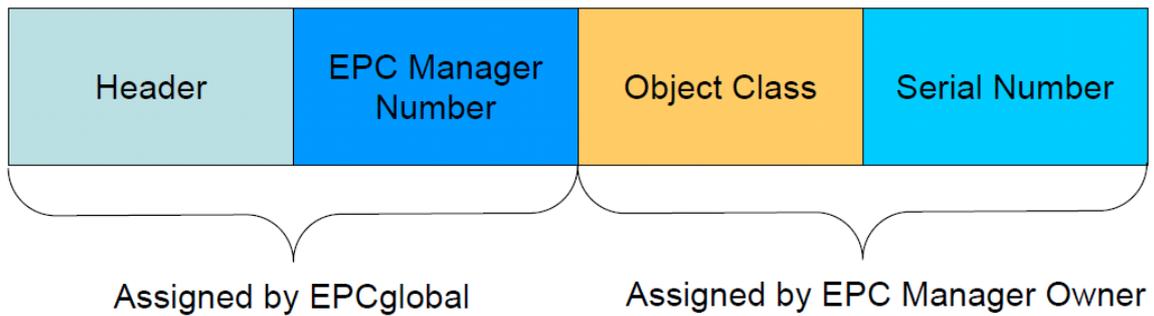
En nuestro caso, prestaremos especial atención en la parte 6 (rango de frecuencias UHF que incluyen las que utilizaremos en el proyecto). En la ISO 18000-6 se detallan los parámetros que han de tener los dispositivos que se comunican con los tags RFID. También se especifica cómo debe ser el uso de los canales, frecuencias, ancho de banda y otros aspectos técnicos. Existen dentro del estándar partes A y partes B. Básicamente, indican la utilización de diferentes tipos de codificación de los datos.

Podemos indicar que el estándar 18000-6C, adopta el estándar EPC Gen 2 Class 1 UHF. Su finalidad es proporcionar una especificación técnica común para los dispositivos de RFID. Y de esta manera permitir la compatibilidad y fomentar la interoperabilidad de productos. Para ampliar la información se puede consultar [14].

### **3.7.3 EPC**

El EPC (Electronic Product Code) es un sistema de identificación que suele ir integrado en la tecnología RFID.

EPC global es el órgano regulador del sistema EPC. Su papel primordial es el de asesorar y homologar las aplicaciones disponibles en la industria así como las empresas reconocidas como integradoras. Es una organización subsidiaria, de GS1. GS1 es una organización mundial que se encarga en desarrollar estándares, tal y como ha hecho con el código de barras, el EDI (Intercambio Electrónico de Datos) y otras herramientas de identificación y difusión de información. La estructura básica del código EPC la podemos ver en la figura 3.8.



**Figura 3.8 Estructura código EPC [15]**

Existen códigos EPC con formato de 64, y 96 bits. El “Header”(8 bits) identifica el tipo, la estructura, y la versión del código EPC. El “EPC Manager Number”(28 bits) identifica el fabricante, el campo “Object Class”(24 bits) nos indica la categoría del producto, y el campo “Serial Number”(36 bits) nos indica el número de serie del ítem en cuestión.

### **3.7.4 UHF Generation 2 Air Interface Protocol**

El estándar EPC Generación 2 fue ratificado en diciembre de 2004 (UHF Generation 2 Air Interface Protocol). Se ha creado a partir de las mejores características de la Generación 1, tanto de la clase 1 como de la 2, y de los protocolos ISO (ISO 18000 series). Con el compromiso de mejorar el estándar actual. Se ha desarrollado con la colaboración de los fabricantes líderes de RFID, usuarios e instituciones de estandarización, todo ello bajo la coordinación y supervisión de EPC global.

El nuevo estándar para UHF se ha realizado con los siguientes objetivos:

- Establecer una única especificación UHF, para unificar las existentes como EPC clase 1, EPC clase 0 e ISO 18000-6, partes a y b.
- Diseño para un desarrollo mundial, dirigido a las diferentes regulaciones de diferentes regiones.
- Influenciar y mejorar las especificaciones UHF existentes, además de anticipar posibles aplicaciones futuras (como incluir funcionalidades para etiquetas que contengan sensores).

La Generación 2 tiene las siguientes diferencias respecto a la Gen1:

- Global y abierto: Gen2 incorpora las frecuencias y características para un uso mundial.
- Incremento de la velocidad de lectura: 8 veces más que la Gen1. Esto es importante en países donde el ancho de banda es muy limitado, que pueden llegar a tener velocidades un 30% inferiores que Estados Unidos.
- Tamaño: se espera que el tamaño de los chips se puedan reducir en un 20% respecto al actual.
- Alta fiabilidad en la comunicación.
- Mejores algoritmos de lectura que reducirán las lecturas duplicadas.
- Modo para lectura en entornos de alta densidad de lectores (Dense-Interrogator channelized signaling, normalmente llamado Dense Reader Mode).
- Seguridad: mejorada con un password encriptado de 32 bits y la posibilidad de “matar” permanentemente el tag.
- Incremento de la capacidad de escritura gracias a la mejora de los esquemas de escritura.

El documento de ingeniería de 94 páginas con el título “EPC Radio Frequency Identity Protocols/Class 1 Generation – 2 UHF RFID Protocol for communications at 860-960 MHz”, que fue ratificado en diciembre de 2004 especifica las características de los tags, así como el protocolo de comunicación, para garantizar la interoperabilidad con los lectores EPC.

La especificación Gen2 tiene varios puntos clave:

- Las etiquetas RFID podrán comunicarse en cualquier frecuencia entre 860-960 MHz, este requerimiento también afecta a los lectores RFID.
- Las etiquetas (tags) serán capaces de entender tres esquemas de modulación diferentes:
  - DB-ASK (Double Sideband-Amplitude Shift Keying)
  - SS-ASK (Single Sideband-Amplitude Shift Keying)
  - PR-ASK (Phase-Reversal Amplitude Shift Keying)

Los lectores determinarán que esquema se utiliza, teniendo en cuenta las regulaciones radio de cada gobierno y las condiciones del entorno.

- Los tags pueden transmitir a diferentes velocidades, 4 en concreto: 80 Kbps, 160 Kbps; 320 Kbps o 640 Kbps. Los lectores determinan que velocidad usan. Para situarnos mejor, la Gen1 era de entre 70 y 149 Kbps.
- Los tags Gen2 aportan EPC (Electronic Product Code) de 256 bits, mientras que la Gen1 soportaba hasta 96 bits.
- La Gen2 incluye un método para soportar múltiples lectores y reducir la interferencia entre ellos (Dense-Interrogator channelized signaling). Este modo se utiliza en zonas donde múltiples lectores funcionan al mismo tiempo. Es importante saber que este modo es opcional para los lectores, según la especificación. El comportamiento en el entorno real depende de muchos factores, incluyendo interferencias externas de otros dispositivos, como teléfonos inalámbricos UHF, equipamiento industrial o equipos inalámbricos de redes LAN.

En la tabla 3.1 podemos ver una comparativa sobre el estándar Gen2 y Gen1. Para ampliar la información se puede consultar [9] y [15].

	Gen2 Clase I	Gen1 Clase I
EPC	96 / 256 bits	64 / 96 Bits
Velocidad	80 / 640 Kbps	70 / 140 Kbps
Ratio de lectura	EU ETSI – 460 tags/segundo US FCC – 880 tags/segundo Adaptable según el ruido del entorno en que trabaja	EU ETSI – 115 tags/segundo US FCC – 230 tags/segundo
Ratio de escritura	5 tags / segundo	3 tags / segundo
Frecuencia	860 – 960 MHz	860 – 930 MHz
Inventario	Protocolo Q y simetría AB	Modo binario de sleep y wake up
Verificación	16 bits CRC	16 bits CRC
Modos del lector	US FCC Frequency hopping (salto de frecuencias)  EU ETSI – Escuchar después de hablar. Canales de frecuencia y 4 sesiones. 3 modos de trabajo del lector (solo, múltiple y denso) según entorno de trabajo.	US FCC Frequency hopping (salto de frecuencias)  EU ETSI – Escuchar después de hablar.
Seguridad	32 bits bloqueo y kill	8 bits de kill
Expansión	Anticipa clase 2 y 3 Memoria de usuario ilimitada, según tipo de tag	Por sobre de 96 bits

**Tabla 3.1 Comparativa características Gen2 Clase 1 vs Gen1 Clase 1 [9]**

### 3.8 RFID vs Código de barras



**Figura 3.9 RFID vs Código de barras [9]**

Nuestros diseños están orientados en un principio al campo de la logística, aunque pueden utilizarse en muchos otros campos. Vamos a indicar los beneficios que obtendría el área logística, de distribución y suministro si utilizaran la tecnología RFID en lugar de utilizar la tecnología basada en códigos de barras.

La tecnología RFID permite leer múltiples etiquetas simultáneamente, mientras que los códigos de barras requieren de lecturas secuenciales, y casi siempre con intervención humana. Con la tecnología RFID, los tags identifican cada producto de forma individual, pueden contener información sobre el producto. También se pueden leer a través de suciedad y no se deterioran fácilmente, siendo resistentes a la humedad y a la temperatura. Mientras que con los códigos de barras, cada producto sólo puede contener un código, y en algunos casos un precio, sin poder incluir información sobre el ítem. Se degradan en ambientes húmedos, o en altas temperaturas, y se rasgan, borran o ensucian con facilidad. Por otro lado, el código de barras debe estar en línea de visión directa al lector para ser leído, mientras que los tags RFID, no requieren de esta necesidad.

Otro punto importante es el aspecto de la seguridad de la información, con la tecnología de códigos de barras la información está desprotegida, mientras que con la tecnología RFID es posible encriptar la información.

### **3.9 Aplicaciones RFID**

#### **3.9.1 Introducción**

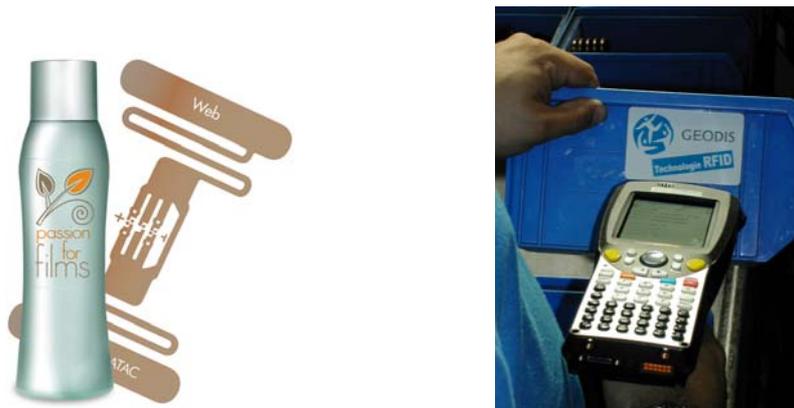
Existen muchas aplicaciones, en donde se está utilizando la tecnología RFID. A continuación veremos diversas aplicaciones en donde se utiliza esta tecnología. Como aplicaciones más comunes pueden ser:

- Gestión en tienda (gestión de activos).
- Identificación de presencia.
- Gestión de la cadena de suministro.
- La logística del frío.
- Peaje automático.
- Gestión de equipajes en aeropuertos.

- Control de producción o calidad.
- Identificación de personas o control de accesos.

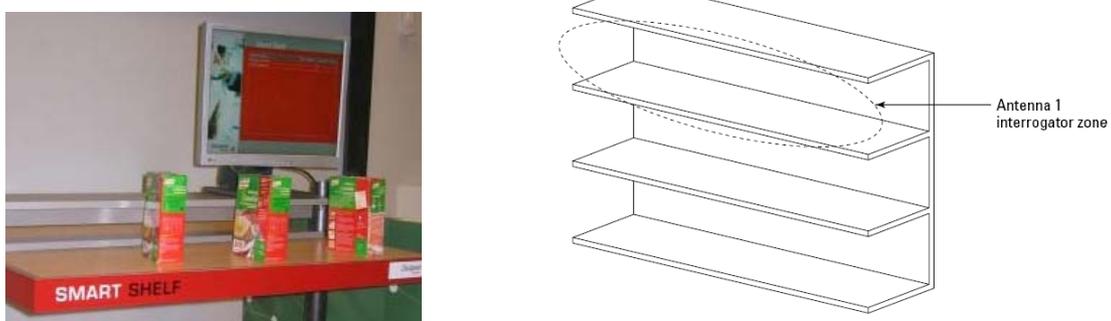
### 3.9.2 Gestión en tienda

Se basa en la identificación de objetos para su gestión en tienda, o almacén como podemos ver en la figura 3.10.



**Figura 3.10 Aplicaciones RFID gestión tienda o almacén [16] [17]**

Se basaría en gestión de activos. La aplicación consiste en matricular mediante un tag cada uno de los activos, obteniendo un mejor control, disponibilidad de históricos para cada uno, poder analizar en detalle su uso para poder trasladar de manera precisa los datos al análisis financiero, reducción de trabajo administrativo mediante automatización de procesos, etc. Como por ejemplo las aplicaciones Smart-Shelf (lineal inteligente) (Figura 3.11).

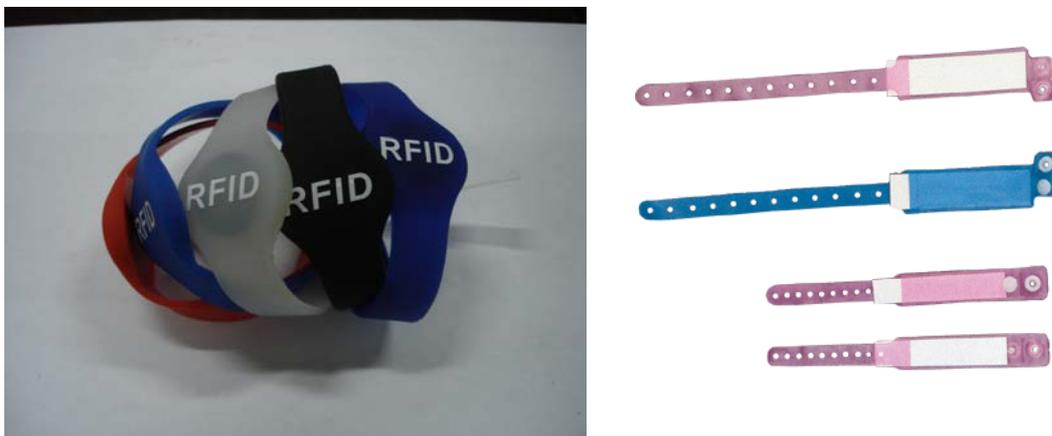


**Figura 3.11 Aplicación Smart Shelf [9] [11]**

Cuando la estantería inteligente detecta la falta de un artículo, alerta automáticamente a los empleados y les informa a través de su sistema de gestión. En el caso de etiquetar bolsas de sangre, con tecnología RFID, nos puede permitir conocer en tiempo real mediante un sistema ERP, los hospitales con disponibilidad de un tipo de sangre determinado, y la cantidad en cada uno, pudiendo salvar la vida del paciente.

### 3.9.3 Identificadores de presencia

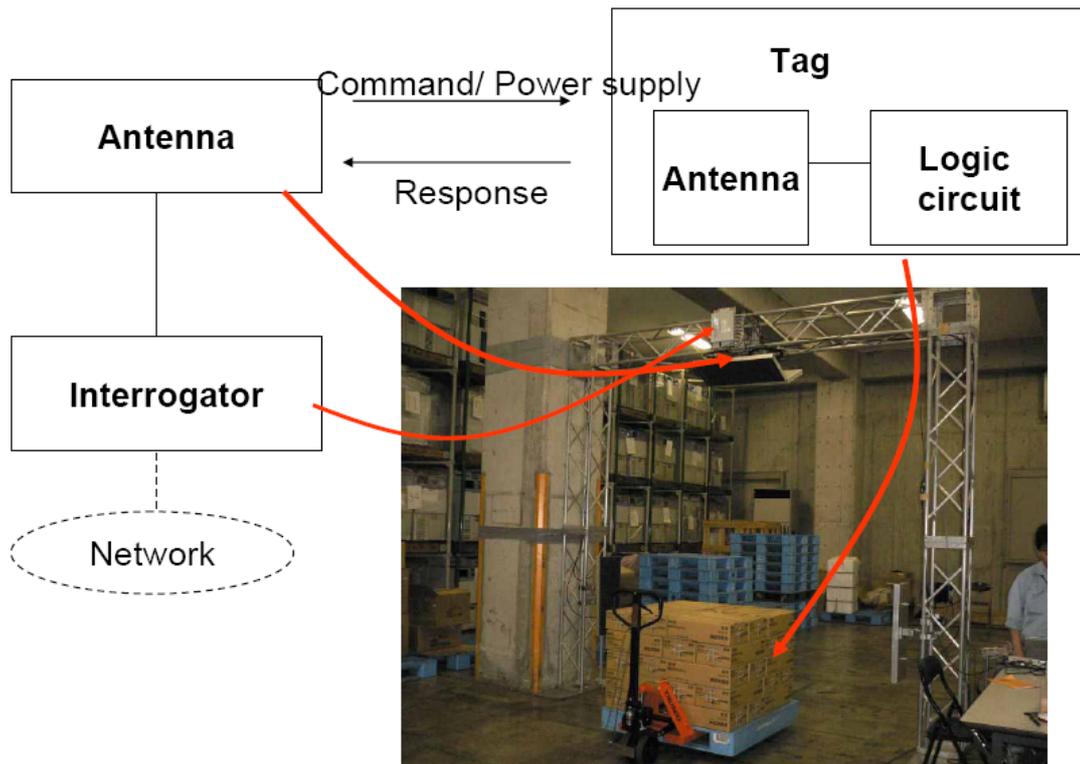
Esta aplicación se puede usar tanto en un museo, como para gente de la tercera edad en un geriátrico u hospital (figura 3.12).



**Figura 3.12 Identificadores de presencia [18] [19]**

### 3.9.4 Gestión de la cadena de suministro

En una cadena de suministro es donde se centra EPC global, utilizando la tecnología RFID, con el objetivo de identificar a cada uno de los productos y sustituir al código de barras (figura 3.13). El tag se situará en cada uno de los productos desde su fabricación hasta su venta. EPC global es la encargada de crear y dirigir los estándares y las políticas de desarrollo, marketing, etc. También está Auto-ID Labs (antiguo Auto-ID) que realiza la investigación entorno a RFID para su implantación masiva.



**Figura 3.13 Aplicación cadena de suministro [20]**

Esto nos permite gestionar, y controlar todo el género que llega y sale del almacén sin tener que puntearlo cada vez que se descarga el camión, lo que permite acelerar el proceso de descarga y gestión de almacén.

### **3.9.5 La logística del frío**

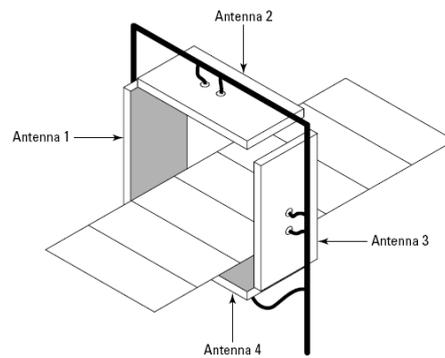
Este es un caso particular, donde entran en acción los tags semi-activos, en este caso etiquetas con sensores de temperatura incorporados. Su aplicación básica sería el controlar que el transporte de la mercancía sea el correcto y que no se rompa la cadena de frío del producto. Este detalle puede ahorrar mucho dinero a las empresas. Puede pasar que un producto no se sepa si el transportista ha cumplido o no las condiciones, en ese caso el producto debe tirarse, con la pérdida que conlleva. Además, permite controlar a la empresa que hace el transporte porque el tag registra las variaciones de temperatura en el tiempo, y como ha salido de los márgenes establecidos.

### 3.9.6 Peaje automático

Como se comentó antes el peaje automático como por ejemplo, TeleTac o ViaT. El tag es leído, de manera automática, el sistema cobra y levanta la barrera, sin la necesidad de parar, y así agilizar el acceso a los peajes. Estos sistemas también son utilizados para el control de entradas de parking.

### 3.9.7 Gestión de equipajes en aeropuertos

Como se puede apreciar en la figura 3.14, en el Aeropuerto de Hong Kong. Se puede gestionar el equipaje de un aeropuerto, y saber en cada momento donde se encuentra el equipaje de una determinada persona, o el total de la carga de un avión, y así evitar la pérdida de equipaje.



**Figura 3.14 Gestión de equipajes en el aeropuerto de Hong Kong [11]**

### 3.9.8 Control de producción o calidad

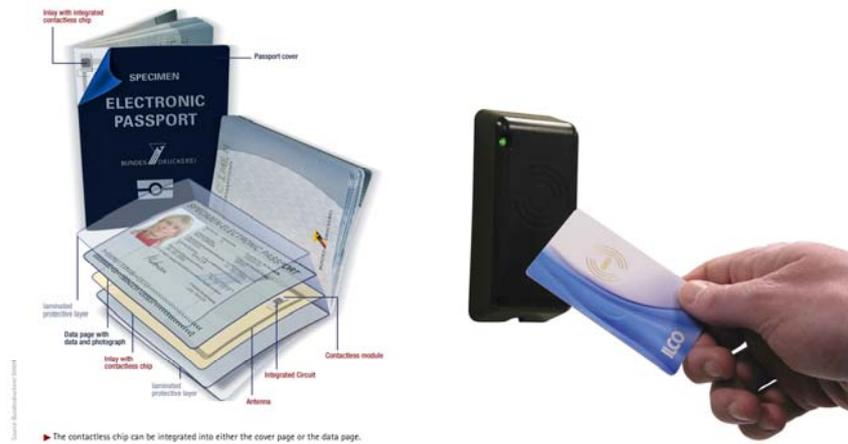
Un ejemplo sería una empresa que tiene una línea de producción con varias etapas hasta el producto finalizado y un programa de gestión de producción. En esta cadena puede fabricarse varios productos diferentes. Si cada uno de los productos se etiqueta con un tag y en cada etapa se instala un lector, el sistema de gestión puede captar la información en tiempo real y se puede saber la situación actual en la planta. Con esta información segura y precisa puede tomar decisiones vitales para su empresa.

En una cadena de producción de coches, cada etiqueta puede tener una matrícula de cada uno de los coches y almacenar cada una de las etapas que ha pasado y las características que se le han introducido. Además de tener mayor eficacia y eficiencia, una vez el vehículo está terminado, se puede verificar si todo el equipamiento es el correcto. Esto puede extenderse a la hora de la venta, para que el cliente pueda verificar que el coche tiene todo lo que quería.

Por ejemplo, en España CEPSA [21], gracias a la solución GasFlow de Athelia se identificarán con tags un total de 6 millones de botellas de butano y propano de CEPSA para gestionar su llenado y trazabilidad. Y en Vigo [22] se utiliza RFID para la planificación de la producción y control de existencias en el cultivo del mejillón. El sistema, que integra software, dispositivos móviles y tags RFID, permite, mediante un sencillo interfaz de usuario, realizar todas las operaciones para seguir el estado y la evolución de un almacén de producto vivo como es el mejillón. El proyecto está apoyado por el departamento de ingeniería de sistemas y automática de la universidad de Vigo.

En España también utiliza esta aplicación de RFID para el control de residuos peligrosos [23]. La utilización de etiquetas RFID convertirá el seguimiento y control de residuos peligrosos en un proceso altamente eficiente, seguro y fiable. La empresa andaluza de ingeniería de sistemas Guadaltel desarrolla un proyecto de I+D+I respaldado por la Corporación Tecnológica de Andalucía (CTA) para conseguir un sistema de control por radiofrecuencia de la gestión de residuos peligrosos, lo que mejorará la seguridad ambiental y la eficiencia del proceso. En Andalucía, se producen unos 50.000 traslados anuales de residuos peligrosos, cada uno de los cuales genera una elevada cantidad de documentación (documentos de registro, notificaciones, etc.). La tecnología de identificación por radiofrecuencia podría permitir almacenar en la etiqueta de cada bidón datos sobre su contenido y de todos los movimientos, traslados y manipulaciones que haya sufrido, lo que mejoraría en gran medida la seguridad del proceso, con las consiguientes ventajas medioambientales, sociales y económicas.

### 3.9.9 Identificación de personas y control de accesos



**Figura 3.15 Aplicación identificación personas y control de accesos [24][25]**

La integración de esta tecnología en los pasaportes (figura 3.15) permite también verificar la integridad del pasaporte, además de tener la posibilidad incluir más información de la persona que un pasaporte convencional.

En cuanto al control de accesos, el ámbito de aplicación puede ser desde el acceso a una zona restringida, como en hoteles, taquillas, ect.

Otra aplicación, es la utilización de chips implantables RFID. Este tipo de tecnología se utiliza en Barcelona en la discoteca Baja Beach, los clientes VIP utilizan este tipo de tecnología para realizar el pago y el acceso a diferentes servicios del local. El chip implantable RFID es como el que aparece en la figura 3.16.



**Figura 3.16 Chip implantable de VeriChip [26]**

Este chip implantable está fabricado por la empresa VeriChip. Y su radio de acción es aproximadamente de 1 metro. El precio del implante son 125 Euros.

Según la página Web de VeriChip consta de 16 dígitos identificadores. Este modelo no incorpora la opción de GPS integrado, siendo opcional en otros modelos, y pudiendo ser utilizado en zonas penitenciarias.

Otra aplicación en donde se utiliza la tecnología RFID, es en el campo de la seguridad, y prevención de copias ilegales. En el chip, se puede almacenar información que identifique si el artículo es original, o no.

### **3.10 Posibles aplicaciones RFID para nuestros diseños de antenas**

Resumiendo los diseños que hemos realizado (figura 3.17), los podemos clasificar por monocapa, y bicapa. Y entre esta clasificación tendremos antenas dipolo simple, antenas Quasi-Log, y SRR.

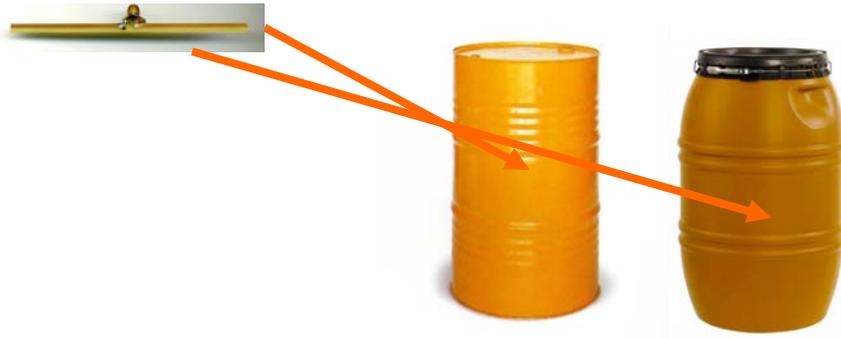


**Figura 3.17 Antenas UHF fabricadas con sustrato FR4**

Sea monocapa o bicapa, nos influirá básicamente si utilizaremos nuestros tags, pegados a una superficie o no.

Los diseños de tags formados por antenas monocapa podrán adherirse a productos para poder realizar su función, la elección de uno u otro dependerá de los requisitos que presente la aplicación. Como puede ser la frecuencia donde debe operar el transponder, el tamaño del tag, o el ancho de banda necesario.

Como antena básica monocapa, y válida mientras los requisitos de la aplicación se cumplan, tendremos la antena dipolo simple. Como anteriormente hemos comentado diversas aplicaciones que permite esta tecnología, en este caso escogeremos una posible aplicación para utilizar nuestra antena dipolo. Esta aplicación podría ser el control de residuos (figura 3.18).



**Figura 3.18 Posible aplicación antena dipolo simple [27] [28]**

Para la antena dipolo bicapa, una posible aplicación sería el pago de peajes, o alquileres de vehículos, tales como coches, bicicletas, etc. Se tendría que integrar la antena al vehículo de tal manera que pueda radiar sin problemas por ambas caras de la etiqueta.

Podemos situar los modelos bicapa, por ejemplo, donde indica la figura 3.19.



**Figura 3.19 Posible aplicación dipolo simple bicapa [29]**

Es decir, cualquier posición que aunque no tenga visión directa con el lector RFID, para poder radiar simultáneamente por ambos lados al espacio libre.

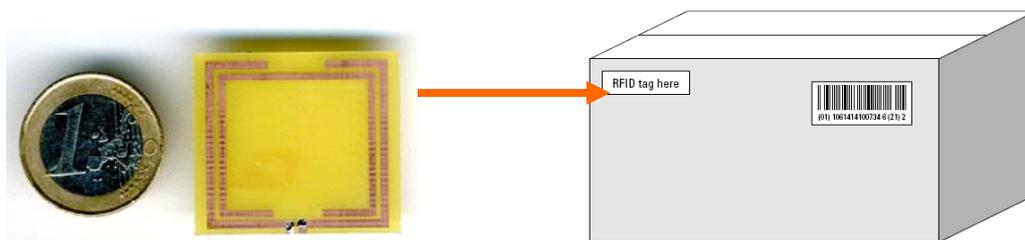
Tanto las antenas dipolo simple, como las Quasi-Log monocapa, tienen un gran abanico de posibilidades, tal y como se ha comentado anteriormente. Para la antena Quasi-Log, una posible aplicación sería el control de carga marítima, como son los containers de carga (figura 3.20).



**Figura 3.20** Posible aplicación antena Quasi-Log [30]

Y así, poder controlar el contenido de cada container, además de complementar a la función que realiza el precinto del contenedor.

Las antenas SRR, nos proporcionarán poco ancho de banda, entorno los 5-8 MHz, pero nos optimizan en tamaño, pudiéndose adherir a prácticamente cualquier producto que sea de tamaño similar a un euro o superior. Por ejemplo, en aplicaciones de mensajería (figura 3.21).



**Figura 3.21** Posible aplicación antena SRR [11]

Otra posible aplicación, es la gestión de activos dentro de las empresas, y así saber en cada momento en que lugar de la empresa se encuentra un activo determinado (figura 3.22).



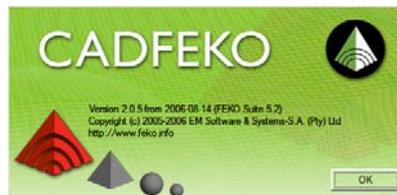
**Figura 3.22 Posible aplicación antena SRR [31]**

# 4. Antenas para adaptar chips RFID con impedancia de entrada de $50 \Omega$

## 4.1 Introducción

En este capítulo vamos a comentar los diseños de las antenas que están pensadas para utilizar con chips con impedancia de entrada a  $50 \Omega$ . Estos diseños son la antena dipolo monocapa, la antena dipolo bicapa, la antena Quasi-Log, la antena Quasi-Log optimizada, y la antena Quasi-Log mejorada.

El programa que se ha utilizado para realizar los diferentes diseños en las antenas para adaptar chips con una impedancia de entrada de  $50 \Omega$ , como para adaptar los chips con impedancia de entrada  $10 - j245 \Omega$ , ha sido CADFEKO (figura 4.1) [32].

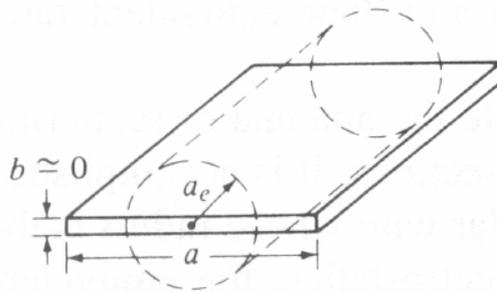


**Figura 4.1 Programa de diseño CADFEKO [32]**

A su vez, el sustrato utilizado ha sido el mismo tanto en este tipo de antenas como en las antenas diseñadas para adaptar chips con impedancia de entrada  $10 - j245 \Omega$ . El sustrato utilizado ha sido FR4. Las características más importantes son  $\epsilon_r = 4,6$  y  $\tan \delta = 0.015$ .

La metodología que se ha seguido para hacer los diseños de las antenas, la comentaremos a continuación. En primer lugar generamos los diseños de las antenas haciendo unas estructuras con hilos en espacio libre, ya que este tipo de diseños nos proporciona una idea de la respuesta de cada antena, y no tienen una gran carga computacional, agilizándonos los diseños iniciales. Una vez que tenemos las estructuras con hilos, realizamos la conversión de los diseños con hilos a unos diseños con una estructura de tipo pista. Esta conversión se realiza a partir de la relación  $a_e = 0,25 * a$  que podemos encontrar argumentada en [6].

Donde  $a_e$  es el radio del hilo que hemos utilizado, y  $a$  el ancho de la pista, equivaliendo la longitud del hilo con la longitud de la pista, y teniendo en cuenta que el grosor de la pista tienda a cero (figura 4.2).



**Figura 4.2 Relación radio de hilo utilizado y ancho de pista [6]**

Una vez que tenemos los diseños en espacio libre, el siguiente paso será realizar los diseños con un plano infinito simulando al sustrato FR4. Podremos observar que al cambiar de  $\epsilon_r = 1$  a  $\epsilon_r = 4,6$  los valores obtenidos se nos desplazan a frecuencias más bajas, teniendo que reducir las dimensiones del diseño para poder conseguir los valores deseados en el rango de frecuencias que indicaremos.

Habiendo ajustado los valores en los diseños utilizando un plano dieléctrico infinito, el siguiente paso será hacer los diseños de nuestras antenas en plano dieléctrico finito, que será el último paso antes de la implementación de los diseños en el laboratorio.

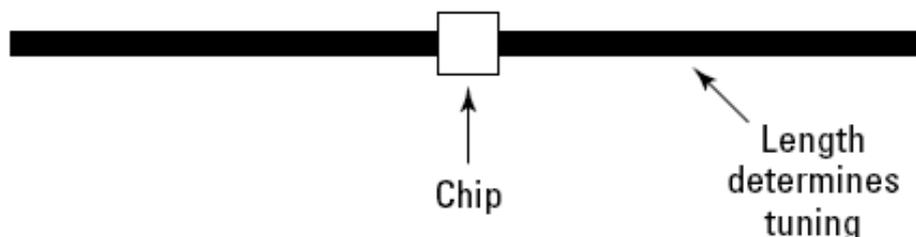
Tal y como hemos comentado anteriormente uno de los objetivos de este proyecto ha sido comparar y evaluar diferentes tipos de antenas para su utilización en RFID. Y dentro de este objetivo, otro objetivo a aplicar sería realizar una optimización de las antenas a nivel de dimensiones y prestaciones en ancho de banda. Dependiendo de las aplicaciones necesitaremos más ancho de banda que la que nos ofrece el dipolo básico, y en apartados posteriores podremos ver el porqué de la elección de la antena Quasi-Log para conseguir este objetivo. El otro aspecto importante será la optimización del tamaño. En la tecnología actual, las tendencias son a la miniaturización de las antenas, debido a que se tiende a que el diseño de cualquier antena RFID, sea válido para poder adherirlo a cualquier producto.

Se ha decidido que diseños que se presentan en este apartado trabajen entorno los 960MHz debido a que se ha querido escoger una de las frecuencias más elevadas en este tipo de aplicaciones UHF-RFID.

Esta frecuencia está dentro del rango que utiliza Japón, y por lo tanto estos diseños serían válidos para utilizarlos en esta zona geográfica. Sin embargo, esto no significa que no se puedan utilizar en España, tan solo que como los diseños realizados son escalables en frecuencia se tendría que aumentar ligeramente el tamaño de las antenas como se verá en los siguientes apartados. Por lo tanto las antenas diseñadas deberán presentar una adaptación menor que -10dB entorno la frecuencia de 960MHz.

#### **4.2 Antena dipolo monocapa**

En este apartado, hemos llevado a cabo el diseño de una antena de tipo dipolo, siendo esta comúnmente conocida y utilizada. Esta antena con el chip RFID tiene la estructura de la figura 4.3:



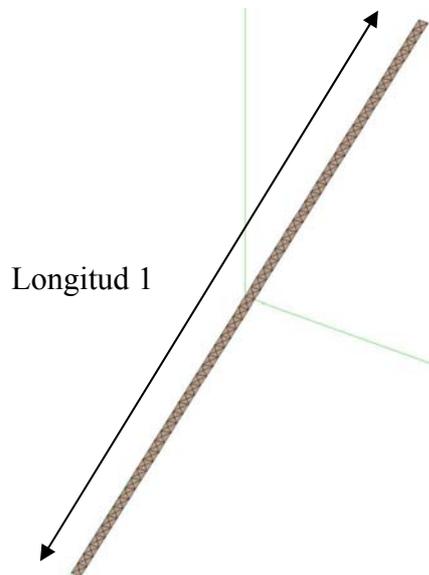
**Figura 4.3 Antena dipolo simple RFID [11]**

Dependiendo del rango de frecuencias donde se desee trabajar, los brazos del dipolo serán más largos, o más cortos.

La primera antena diseñada en espacio libre es la antena dipolo básico de lambda medios.

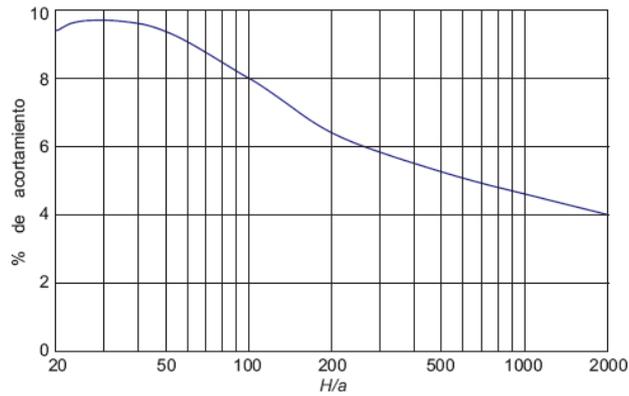
$$\lambda = \frac{3e8}{960e6} = 0,3125m \rightarrow \frac{\lambda}{2} = 0,15625m = 15,625cm \quad (4.1)$$

Las longitudes que tiene nuestra antena son Longitud 1 = 15,625cm y un ancho de pista de 2mm. Consiguiendo la siguiente estructura de la figura 4.4:



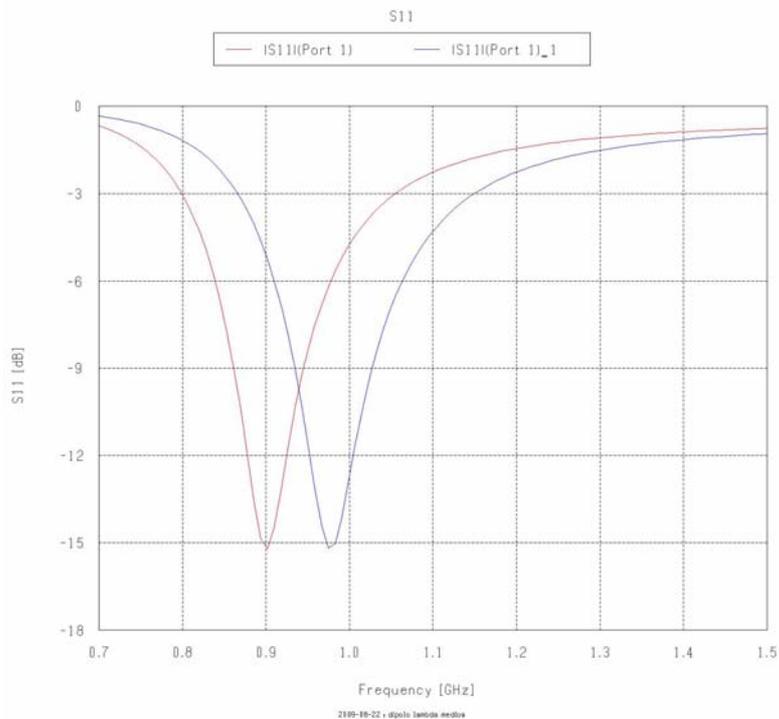
**Figura 4.4 Diseño dipolo simple en espacio libre**

Con este diseño inicial el valor de la magnitud del parámetro S11 no sería el óptimo tal y como nosotros deseamos, para trabajar entorno los 960MHz, porque nos aparece desplazado el resultado de la magnitud del parámetro S11 a frecuencias ligeramente inferiores. Aunque esto era el resultado esperado ya que según [5] para anular la reactancia de entrada su longitud debe ser ligeramente inferior a  $\lambda/2$ , dependiendo el acortamiento del radio del conductor. Este acortamiento suele ser de alrededor de un 5% de la longitud del dipolo de media onda. Para dipolos, y en el margen de 30-1000 MHz, la norma UNE 20-523-75 define un valor experimental de acortamiento que se encuentra en la figura 4.5.



**Figura 4.5 Relación % de acortamiento según el valor de “H” (dimensión brazo dipolo) dividido por “a” (radio conductor) [5]**

Por lo tanto, tendremos que  $\frac{H}{a_e} = 156,25$  lo que equivale a acortar el dipolo según la gráfica anterior, alrededor de un 7%. En nuestro caso, hemos ajustado nuestro diseño a que la frecuencia de 960MHz sea unas de las primeras frecuencias que cumpla que el  $20\log|\rho| < -10dB$  debido a que en el momento que coloquemos el dieléctrico el resultado obtenido se nos desplazará a frecuencias inferiores, y por lo tanto, en lugar de acortar el dipolo un 7%, lo llegamos a acortar un 8%.



**Figura 4.6 En rojo |S11| de un dipolo de dimensión lambda medios, y en azul |S11| habiendo acortado la antena un 8%**

En la figura 4.6, podemos ver la primera gráfica que sería el resultado de utilizar la medida exacta de lambda medios, y la siguiente utilizando el acortamiento indicado.

La medida de nuestra antena dipolo estando adaptada a  $50 \Omega$  en espacio libre es:

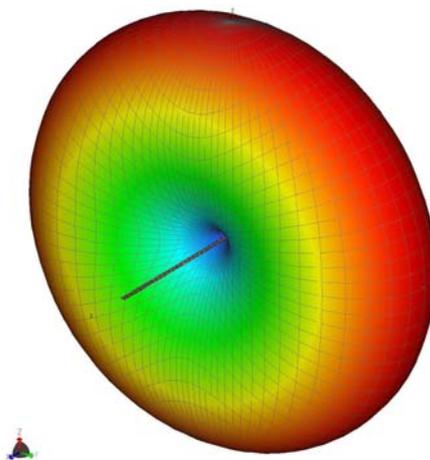
Longitud  $l = 14,375\text{cm}$  (ver figura 4.4) y un ancho de pista de  $2\text{mm}$ . Consiguiendo un área antena  $= 2,87\text{cm}^2$ .

Podemos observar que el efecto al acortar el dipolo es que los resultados obtenidos se desplazan a frecuencias superiores. Conocer este efecto nos servirá cuando utilicemos sustrato finito ya que veremos que con estas dimensiones los resultados obtenidos se desplazarán a frecuencias inferiores, y tendremos que reducir el tamaño de nuestra antena para conseguir un funcionamiento óptimo en el rango de frecuencias óptimo.

La directividad máxima entorno la frecuencia de  $960\text{MHz}$ , en concreto a  $958,586\text{MHz}$ , es  $1,63$  en lineal. Y la impedancia de entrada es  $65,23-j22,48 \Omega$ . Con esta antena tenemos un ancho de banda inferior a los  $100\text{MHz}$ . Aproximadamente unos  $73\text{MHz}$ . Dicho de otro modo, obtenemos un ancho relativo de  $7,56\%$ .

$$\left( BW = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \times 100\% = \frac{1,015 - 0,94242}{0,96} \times 100\% \right) \quad (4.2)$$

El diagrama de radiación a la frecuencia de  $958,586\text{MHz}$  podemos verlo en la figura 4.7.

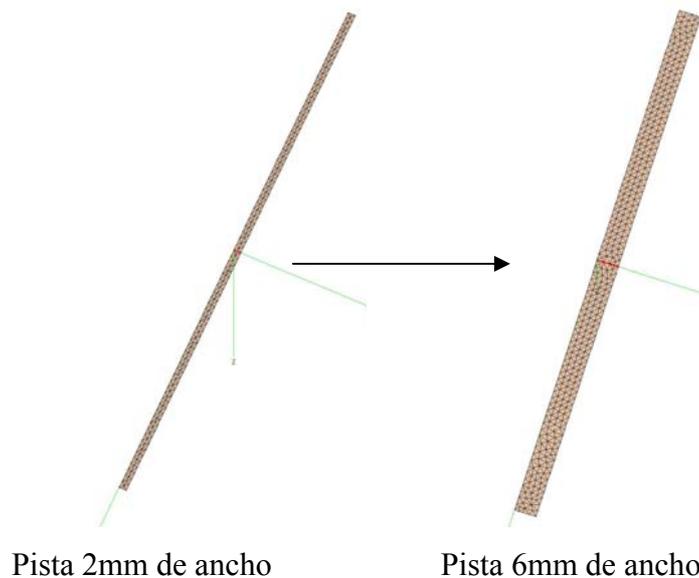


**Figura 4.7 Diagrama de radiación dipolo simple en espacio libre**

Una vez realizado el diseño, el objetivo sería realizar una optimización del mismo, es decir, conseguir unas dimensiones menores, y a ser posible aumentar el ancho de banda. Ya que podríamos tener alguna aplicación que requiera mayor ancho de banda que el que proporciona el dipolo simple.

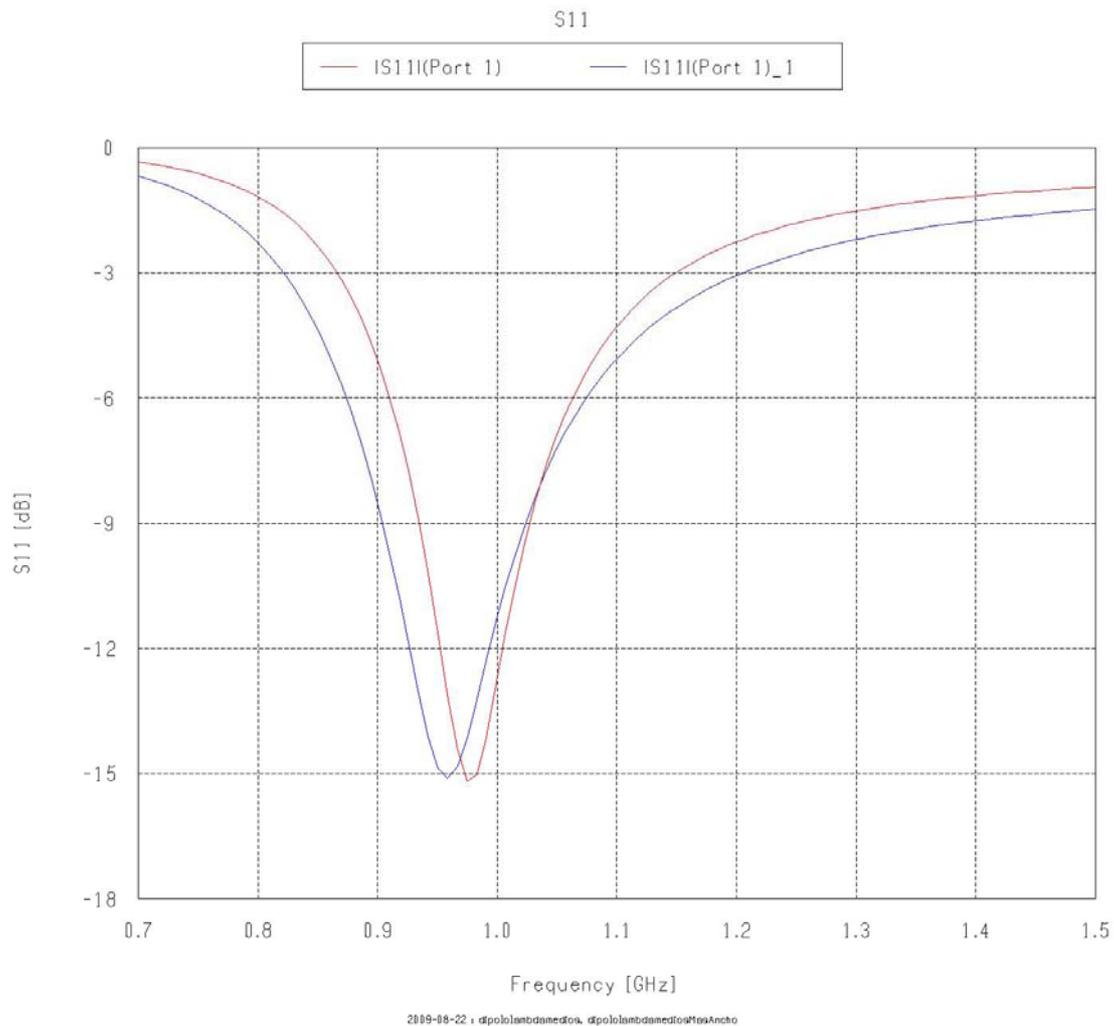
Para conseguir reducir las dimensiones obtenidas en espacio libre la utilización del sustrato finito sería la solución más factible, dependiendo de las características del sustrato conseguiremos una mayor o menor optimización.

Respecto al segundo objetivo, podemos indicar que si aumentamos el ancho de pista tal y como vemos en la figura 4.8, conseguimos aumentar ligeramente el ancho de banda conseguido.



**Figura 4.8 Dipolo simple con ancho de pista de 2mm y 6mm**

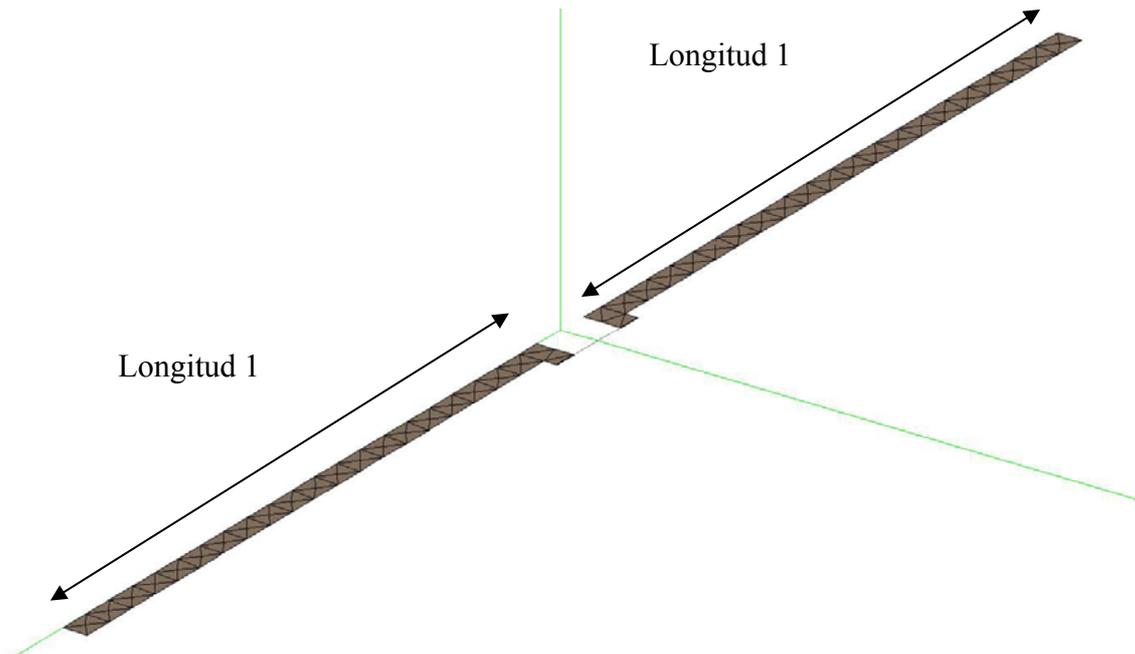
En la figura 4.9 podemos ver que realmente al aumentar el ancho de pista aumentamos el ancho de banda conseguido. Pero a su vez nos está degradando el primer objetivo que habíamos planteado. Es decir, de un área de  $2,87cm^2$  hemos pasado a tener un área de  $8,62cm^2$ .



**Figura 4.9 En rojo |S11| de un dipolo con un ancho de pista de 2mm, y en azul |S11| de un dipolo con un ancho de pista de 6mm.**

Por lo tanto, dependiendo los requisitos de la aplicación escogeríamos un diseño u otro. En nuestro caso, he escogido el primer diseño debido a que el aumento de ancho de banda no es muy considerable, y en este caso prefiero optimizar el tamaño.

Con el objetivo de mejorar las dimensiones y además poder fabricar nuestro dipolo, la siguiente fase de optimización de nuestro primer diseño sería realizar el diseño sobre FR4. El primer problema que nos encontramos a la hora de realizar el diseño físicamente será la manera de alimentar la antena. El diseño teórico que acabamos de ver nos permite ver el comportamiento de la antena dipolo, pero para realizar la antena no podemos hacer que el dipolo sea una línea continua, debemos alimentarla de alguna manera. El diseño que se ha llevado a cabo es tal y como muestra la figura 4.10.



**Figura 4.10 Estructura dipolo simple**

De esta manera, mientras el gap que hay entre los dos brazos sea pequeño en términos de lambda el comportamiento no se verá muy afectado.

Tal y como se ha comentado, al introducir el sustrato, y al cambiar la forma en que se nos alimenta la antena, el comportamiento nos ha variado y hemos tenido que reajustar las medidas de nuestra antena.

El ancho utilizado sigue siendo 2mm, y el valor de la Longitud 1 = 5,6cm. El gap utilizado ha sido de 5,8mm. El sustrato utilizado tiene un área de  $6,1\text{cm}^2$ .

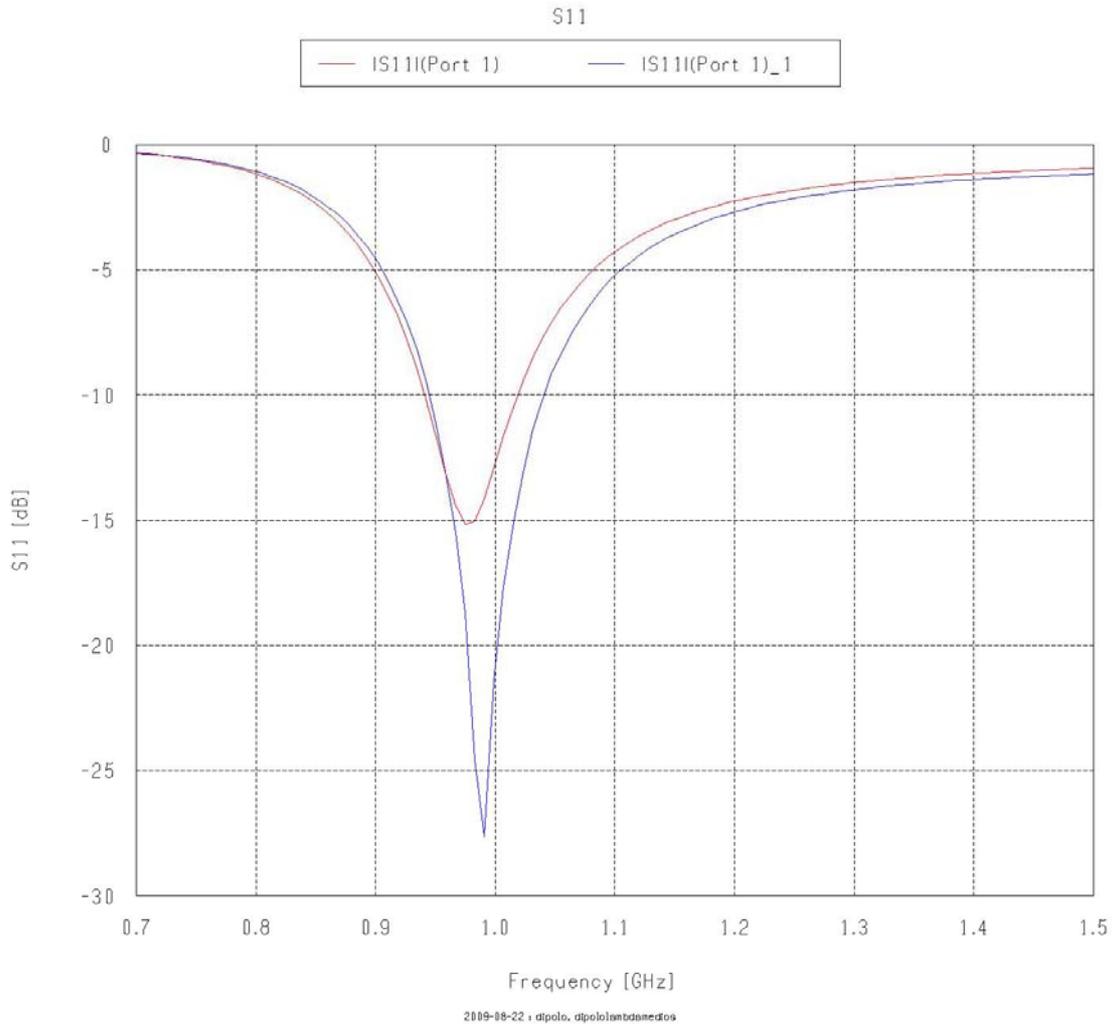
El diseño con sustrato finito a simular es el que podemos ver en la figura 4.11.



**Figura 4.11 Dipolo simple sobre sustrato FR4**

Podemos comprobar en la figura 4.12 que al introducir el sustrato FR4, nos ha proporcionado un aumento del ancho de banda, respecto al diseño inicial en espacio libre.

La directividad máxima entorno la frecuencia de 960MHz, en concreto a 958,586MHz, es 1,65 en lineal.



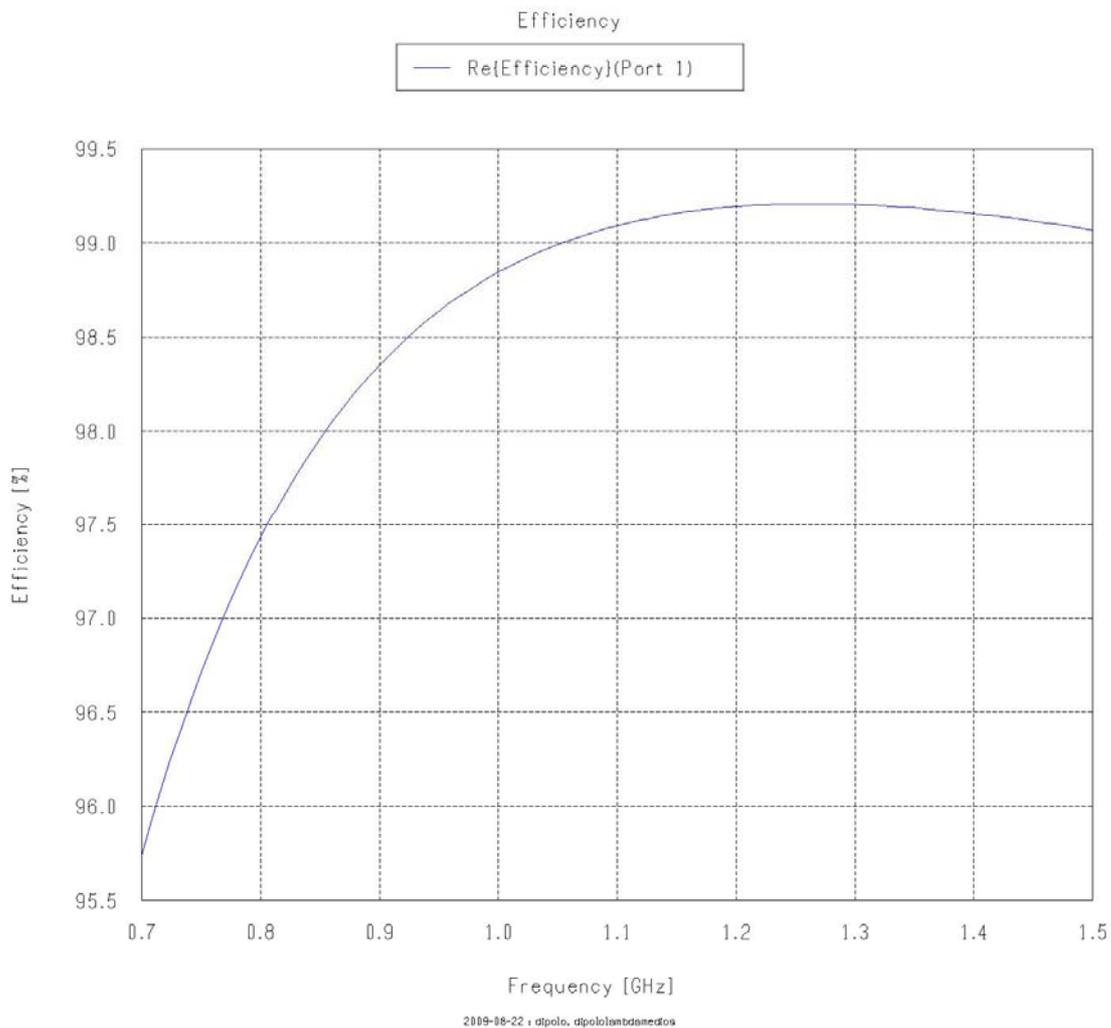
**Figura 4.12** En rojo |S11| del dipolo simple en espacio libre, y en azul |S11| del dipolo simple sobre sustrato FR4.

Con esta antena tenemos un ancho de banda aproximado a 100MHz. Aproximadamente unos 95MHz. Dicho de otro modo, obtenemos un ancho relativo de 9,895%.

$$\left( BW = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \cdot 100\% = \frac{1,040 - 0,945}{0,96} \cdot 100\% = 9,895\% \right) \quad (4.3)$$

Utilizando el sustrato FR4, hemos aumentado el ancho de banda respecto el diseño en espacio libre aproximadamente unos 22MHz.

Podemos observar en la figura 4.13 que la eficiencia de este último diseño alrededor de la frecuencia de 960MHz es aproximadamente superior a 98,5%.



**Figura 4.13 Eficiencia dipolo simple sobre FR4**

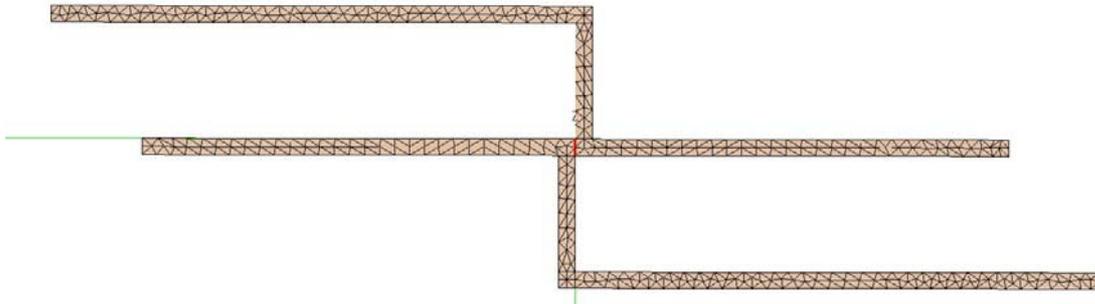
Este tipo de antena nos ofrece un ancho de banda de aproximadamente unos 100MHz. Como hemos comentado antes podríamos requerir más ancho de banda para alguna aplicación determinada, por lo tanto la siguiente fase del proyecto será diseñar una antena que nos aumente el ancho de banda conseguido por el dipolo.

### 4.3 Antena Quasi-Log monocapa

#### 4.3.1 Introducción

Frente a la necesidad de diseñar una antena que nos proporcione más ancho de banda que la antena dipolo, podríamos llegar a pensar en diseñar una antena que tuviese dos dipolos, y así conseguir el doble ancho de banda y mantener un área reducida.

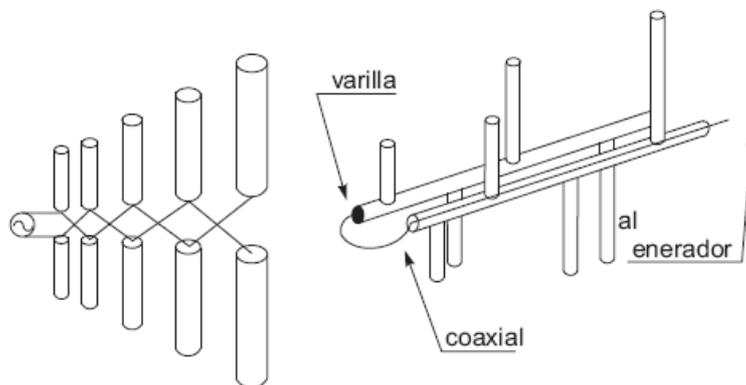
En sí, lo que acabamos de decir tiene parte de aplicación en el siguiente diseño que hemos realizado.



**Figura 4.14 Estructura antena Quasi-Log**

Hemos querido diseñar una antena Quasi-Log [2]. Este tipo de antena proviene de las antenas logoperiódicas [5]. Cada uno de los dipolos que forman la antena logoperiódica dispone de dos brazos que se sitúan cada uno de ellos en la parte superior e inferior de la antena alternativamente, de forma que se consiga alimentar los dipolos con la corrección de fase necesaria, es decir ambos brazos desfasados  $180^\circ$ . La anchura del primer dipolo y la distancia al segundo dipolo se diseña de modo que la impedancia de entrada sea de  $50 \Omega$ , y la ganancia sea máxima.

El número de dipolos que forman parte de este tipo de antenas depende de los requerimientos de ancho de banda. Aumentando el número de dipolos se obtiene un mayor ancho de banda, aumenta la directividad y la ganancia de la antena. En la figura 4.15 podemos ver como se estructura una antena logoperiódica.



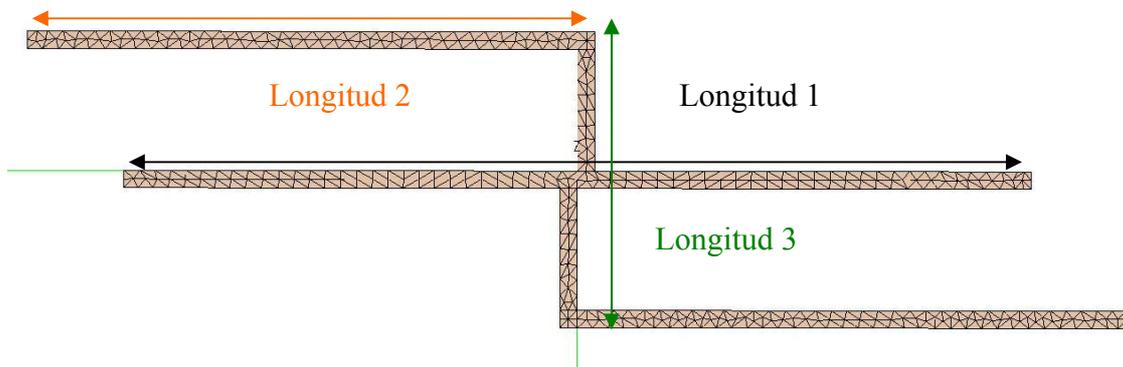
**Figura 4.15 Estructura antena logoperiódica [5]**

### 4.3.2 Diseño y funcionamiento de la antena Quasi-Log

En nuestro caso queremos hacer una antena formada por dos dipolos y así optimizar el ancho de banda que nos ofrece uno solo. Tal como se ha indicado la antena diseñada es del tipo Quasi-Log. Aunque esté basado en la idea de una antena logoperiódica, en sí está formada por dos dipolos y no podemos decir que tengamos realmente un periodo.

El objetivo de este tipo de antena es utilizar dos estructuras dipolo y hacer que las dos estructuras resuenen a una frecuencia muy cercana, consiguiendo que los dos mínimos de adaptación estén muy cercanos, y el máximo que aparezca entre ellos no supere los -10dB's para conseguir incrementar el ancho de banda que nos proporciona el dipolo básico.

El diseño óptimo en espacio libre que hemos conseguido para trabajar entorno la frecuencia de 960MHz se puede ver en la figura 4.16.



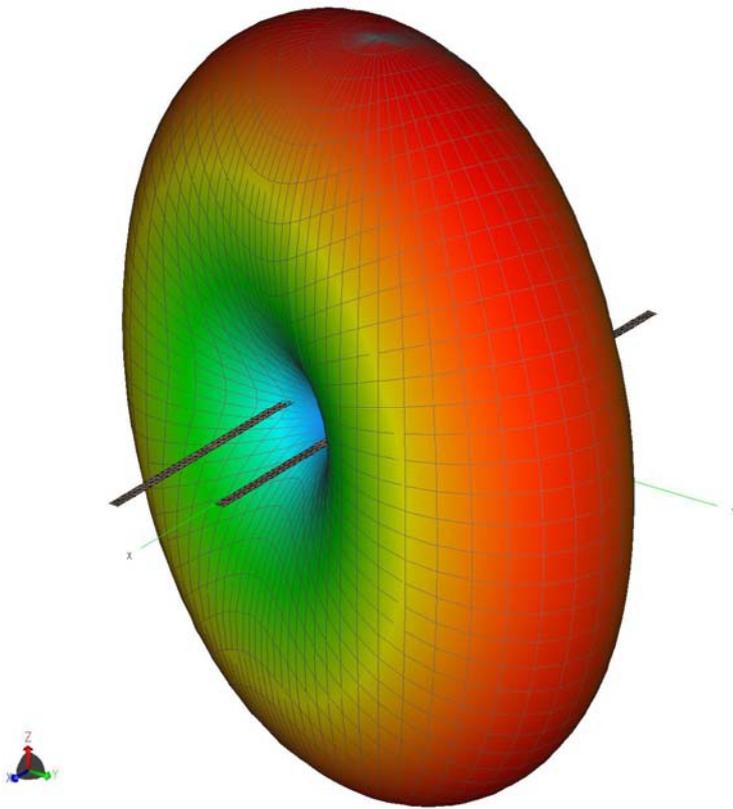
**Figura 4.16 Estructura y medidas Quasi-Log**

Las dimensiones de nuestra antena Quasi-Log (figura 4.16) estando adaptada a  $50 \Omega$  en espacio libre serían:

Longitud 1 = 10,4cm, Longitud 2 = 6,5cm y Longitud 3 = 3,4cm y el ancho de pista utilizado es de 2mm. Por lo tanto el área total de nuestra antena =  $42,84cm^2$

La directividad máxima entorno la frecuencia de 960MHz, en concreto a 958,586MHz, es 1,62 en lineal.

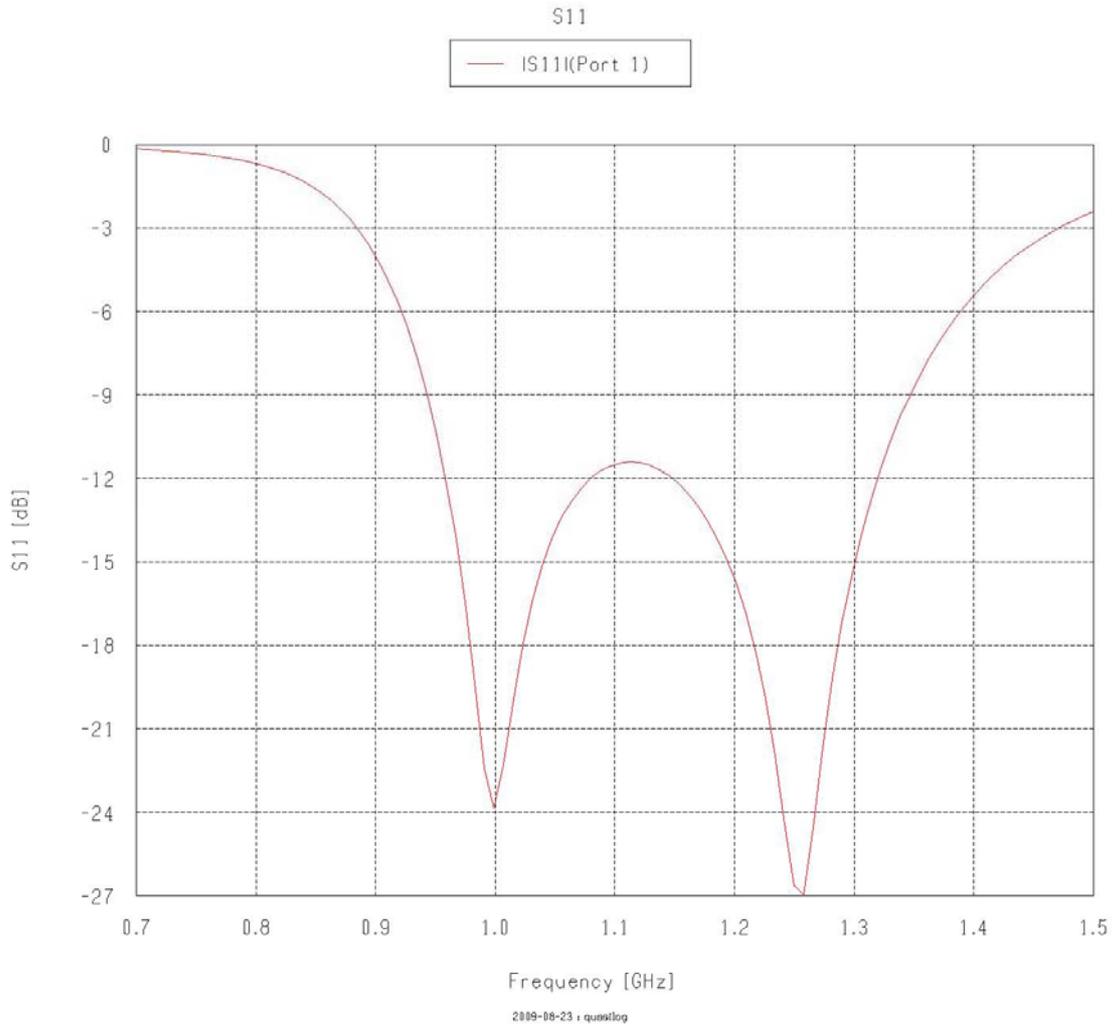
El diagrama de radiación a la frecuencia de 958,586MHz podemos verlo en la figura 4.17.



**Figura 4.17 Diagrama de radiación antena Quasi-Log entorno los 960MHz**

Podemos ver que el diagrama de radiación es muy similar al de la antena dipolo. Esto es debido a que a la frecuencia que hemos indicado, 958,586MHz, una de las estructuras se encontraba resonando muy cerca de la frecuencia deseada.

En la figura 4.18 podemos ver la magnitud del parámetro S11 de la antena Quasi-Log.



**Figura 4.18 |S11| de la antena Quasi-Log en espacio libre**

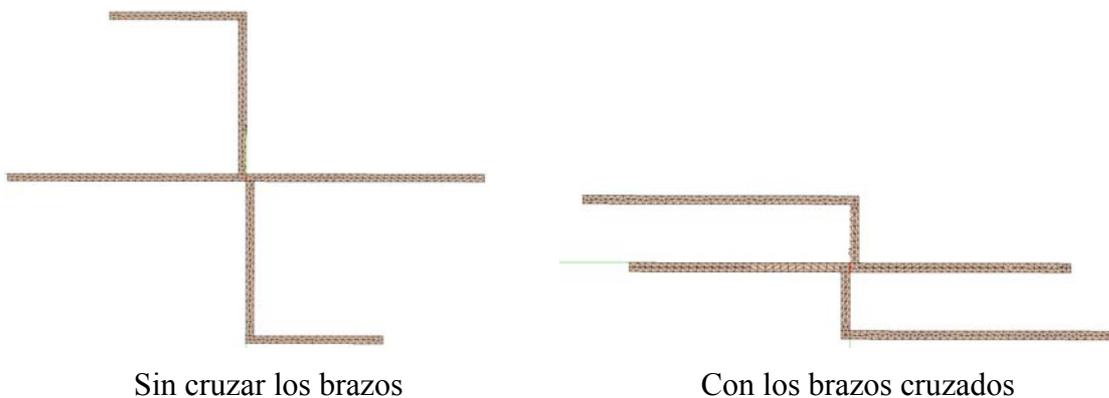
Con este diseño hemos llegado a maximizar las prestaciones de ancho de banda que nos ofrecía la antena dipolo, habiendo obtenido un ancho de banda a -10dB's de aproximadamente 380MHz. Es decir un ancho relativo de 40,42%.

$$\left( BW = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \times 100\% = \frac{1,338 - 0,950}{0,96} \times 100\% = 40,42\% \right) \quad (4.4)$$

Por lo tanto tendremos que tener la resonancia de las dos estructuras a una distancia ni muy lejos, ni muy cerca entre sí, para poder ampliar el ancho de banda de nuestra antena.

Sabemos que el dipolo básico está en resonancia a  $\lambda/2$ , y por lo tanto debemos ajustar las dimensiones de las dos estructuras de modo que resuenen a una frecuencia muy cercana, para conseguir que los dos mínimos estén muy cercanos, de manera que podamos obtener a  $-10\text{dB}$ 's un incremento del ancho de banda que nos proporciona el dipolo básico.

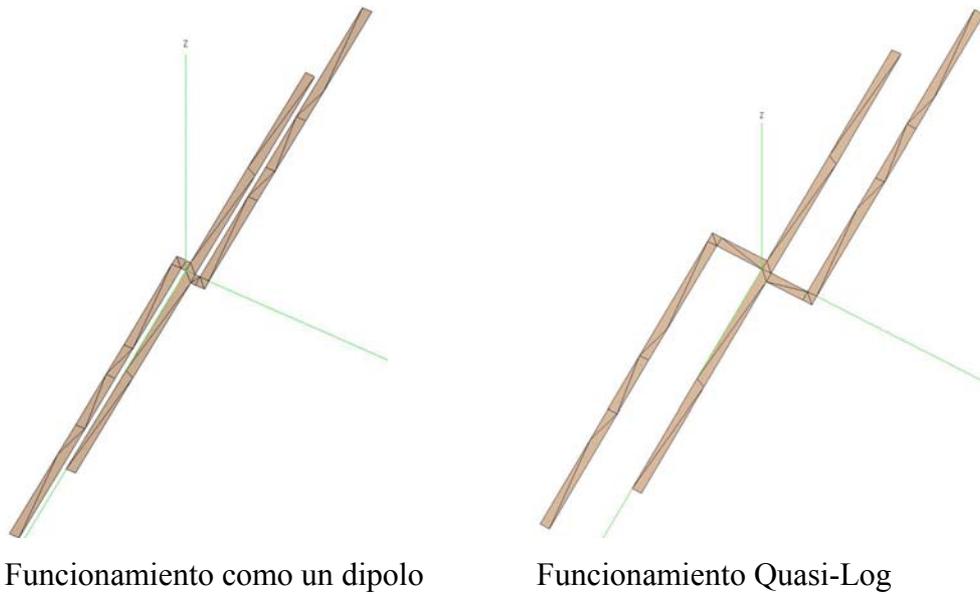
En el proceso de optimización de esta antena, podemos indicar que el hecho de cruzar los brazos de la antena (figura 4.19), como se hace en las logoperiódicas nos ha proporcionado una optimización en el tamaño de la misma, y en el ancho de banda.



**Figura 4.19 Antena Quasilog sin cruzar los brazos, y con los brazos cruzados**

También se ha realizado el diseño sin cruzar los brazos respecto la fuente de alimentación, y el área que nos ocupaba la antena era  $104,92\text{cm}^2$  y el ancho de banda conseguido es aproximadamente  $270\text{MHz}$ . Podemos ver como se ha optimizado al cruzar los brazos, tanto a nivel de ancho de banda, que hemos pasado de  $270\text{MHz}$  a  $380\text{MHz}$ , y a nivel de dimensiones que hemos pasado de  $104,92\text{cm}^2$  a  $42,84\text{cm}^2$ . Cumpliéndose nuestros dos objetivos, tanto a nivel de optimización de ancho de banda, como a nivel de miniaturización de la estructura.

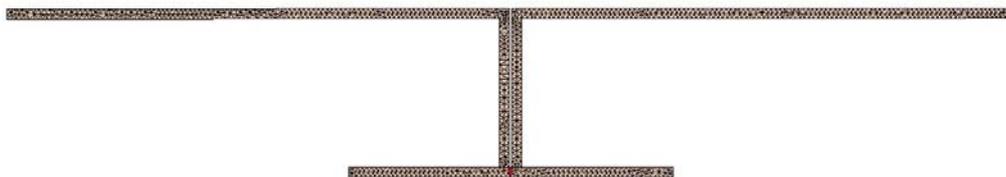
Otro efecto importante que tenemos que tener en cuenta es si aproximamos a una distancia muy pequeña las dos estructuras tal y como aparecen en la figura 4.20.



**Figura 4.20 Antena Quasi-Log con los brazos a una distancia muy pequeña y con los brazos a una distancia óptima para su funcionamiento**

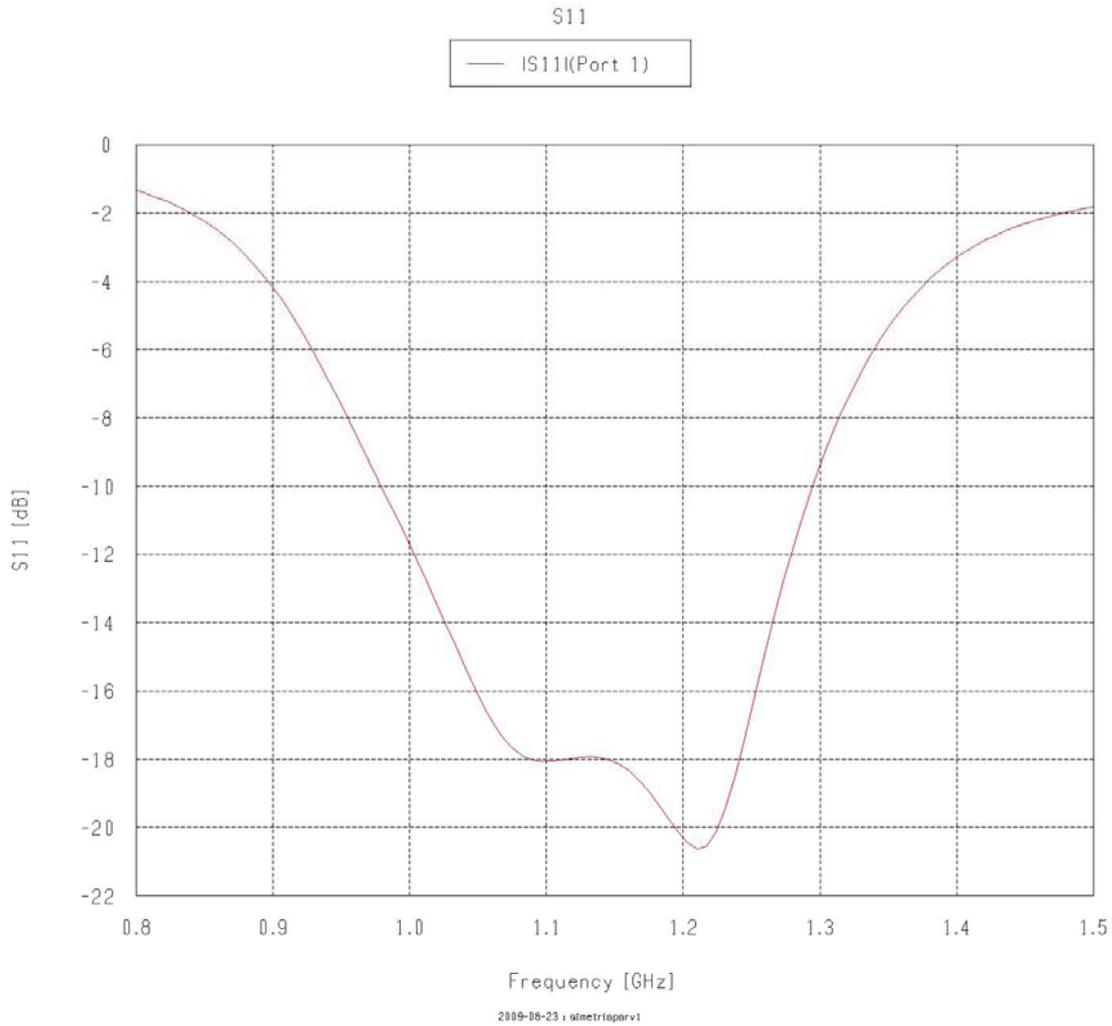
El efecto de acercar demasiado las estructuras es que la estructura completa actuará como si fuese un solo dipolo, por lo tanto, la distancia que deberíamos dejar para su correcto funcionamiento es la que aparece en las medidas que hemos indicado anteriormente (figura 4.16).

El lector también podría preguntarse qué ocurriría si se varía la posición de los brazos del Quasi-Log, y se pusieran los dos en el mismo lado de la antenna (figura 4.21).



**Figura 4.21 Antena Quasi-Log con los brazos en el mismo lado**

Podemos indicar que también hemos evaluado esta posibilidad, y observamos que pasamos de un diagrama de radiación omnidireccional, a otro directivo, y para conseguir un ancho de banda entorno los 300MHz (figura 4.22) deberemos utilizar un ancho de pista de 4mm. Tal y como hemos indicado antes, dependiendo de la aplicación donde se vaya aplicar podría ser un diseño de antena óptimo, ya que si se precisa de una antena directiva con un ancho de banda aproximado a 320MHz, este diseño sería válido.

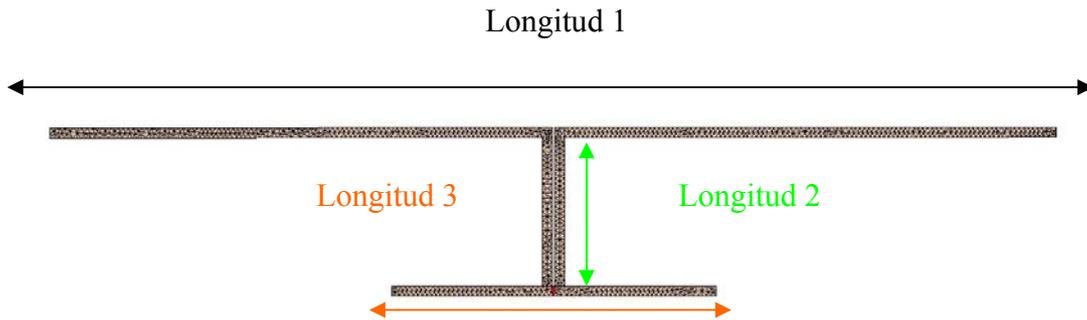


**Figura 4.22  $|S_{11}|$  de la antena Quasi-Log con los brazos en el mismo lado**

Con este diseño conseguimos un ancho de banda de aproximadamente 320MHz, es decir un ancho relativo de 33,16%. Y una directividad máxima a la frecuencia de 962,626MHz de 5,3 en lineal.

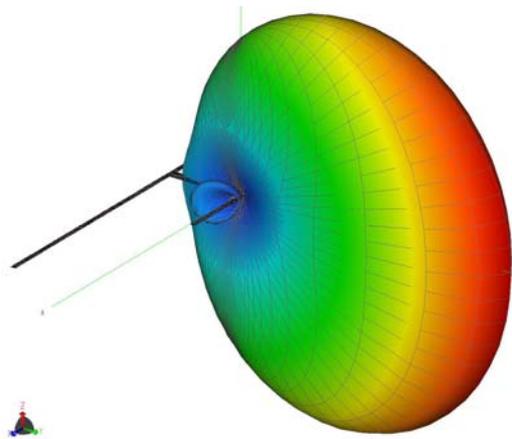
Las dimensiones de nuestra antena (figura 4.23) estando adaptada a  $50\Omega$  en espacio libre serían las siguientes:

Longitud 1 = 39,6cm, Longitud 2 = 6cm, y Longitud 3 = 12,8cm. Se ha utilizado un ancho de pista de 4mm. Por lo tanto el área total de nuestra antena =  $269,28\text{cm}^2$



**Figura 4.23 Medidas antena Quasi-Log brazos mismo lado**

El diagrama de radiación a la frecuencia de 962,626MHz podemos verlo en la figura 4.24.



**Figura 4.24 Diagrama de radiación Quasi-Log brazos en el mismo lado**

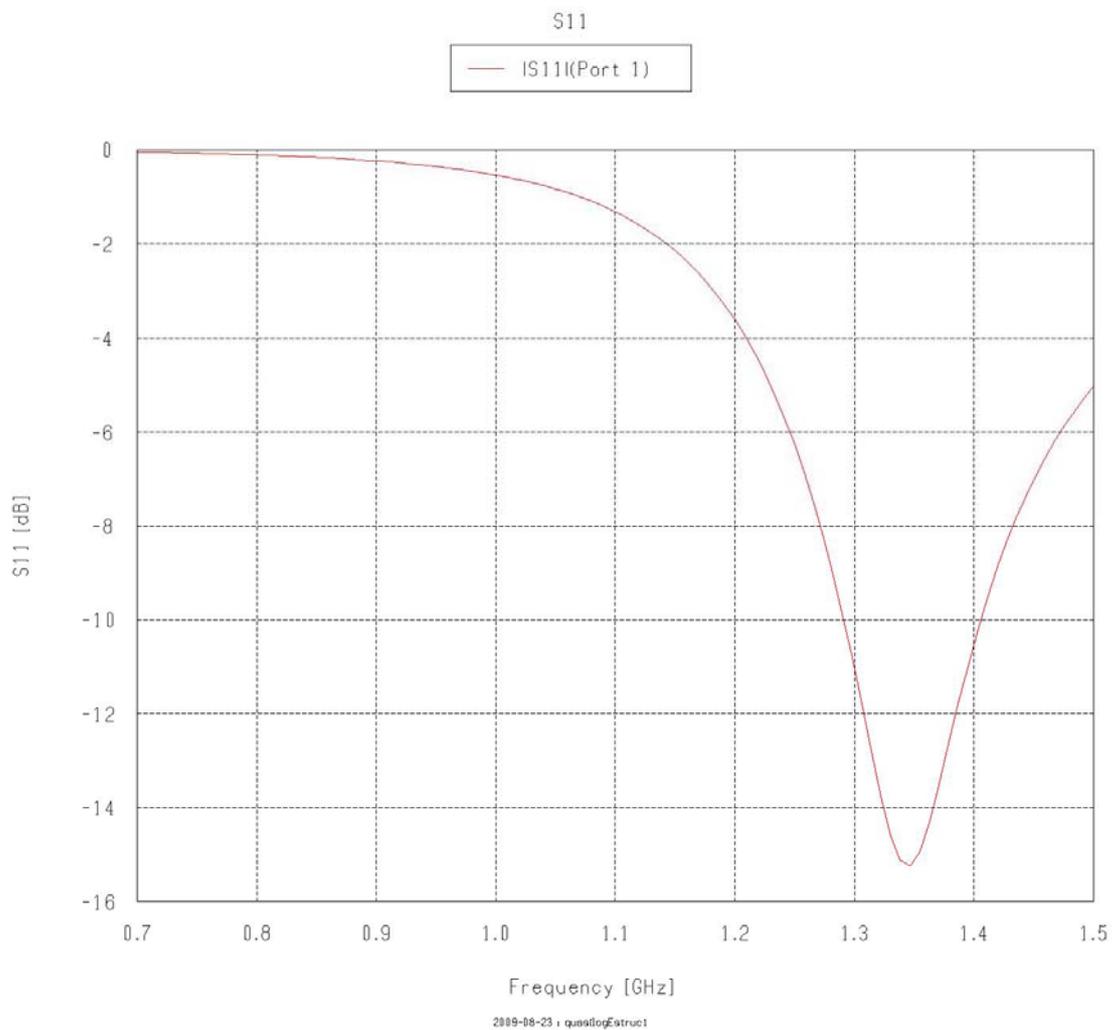
Volviendo al diseño Quasi-Log presentado inicialmente (figura 4.16) que hemos seleccionado para realizar físicamente, tal y como hemos comentado, el objetivo de este tipo de antena es utilizar dos estructuras dipolo y hacer que las dos estructuras resuenen a una frecuencia muy cercana, consiguiendo que los dos mínimos estén muy cercanos, y el máximo no supere los -10dB's y así conseguir incrementar el ancho de banda.

Por lo tanto, a continuación vamos explicar de forma más específica el funcionamiento de las dos estructuras que forman nuestra antena.

En primer lugar analizaremos el resultado obtenido de la magnitud del parámetro S11 (figura 4.26) de un dipolo que mide 10,4cm (figura 4.25):



**Figura 4.25 Estructura 1 que forma la antena Quasi-Log**



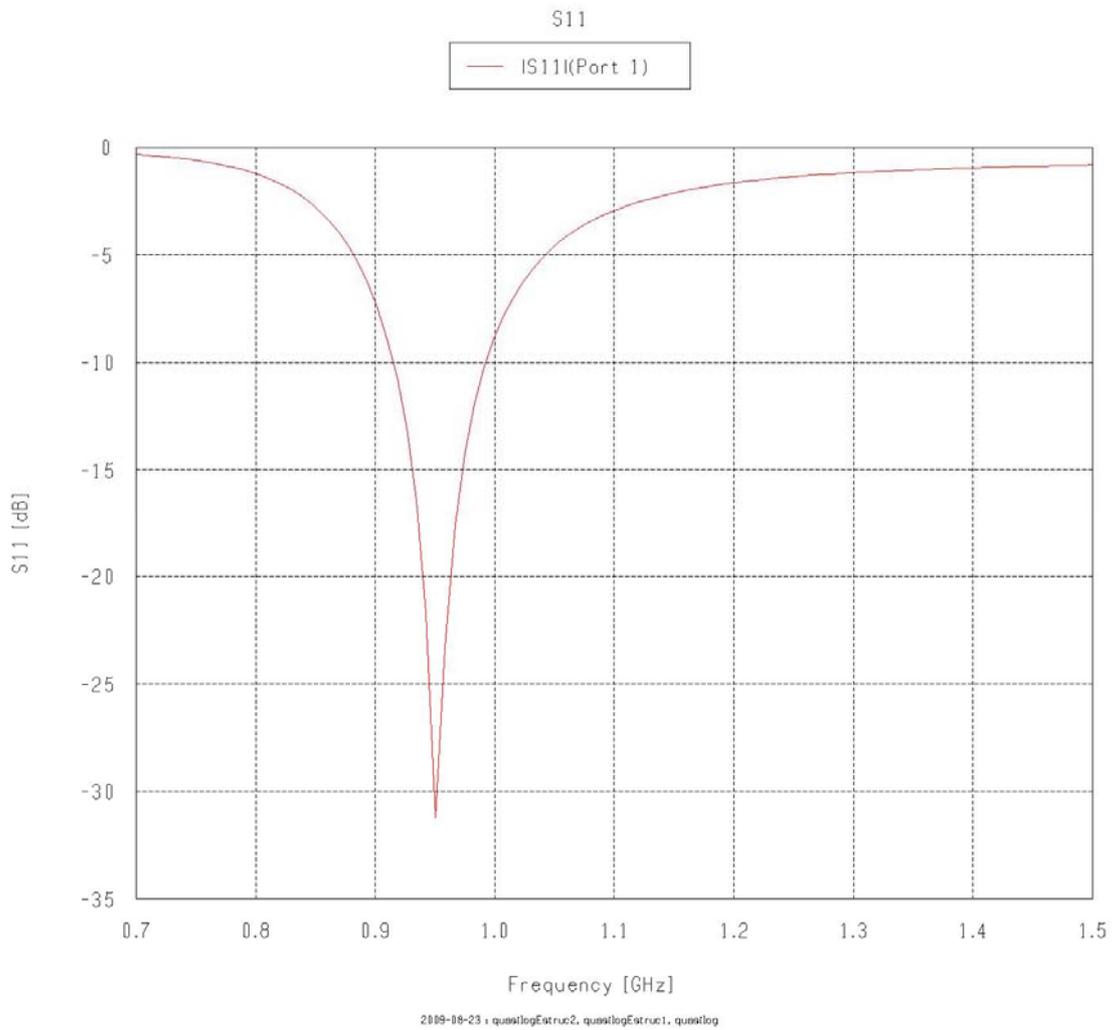
**Figura 4.26 |S11| de la estructura 1 que forma la antena Quasi-Log**

Comprobamos que cumple que  $20 \log |\rho| < -10 \text{ dB}$ . Obteniendo a  $-10 \text{ dB}$ 's unos  $100 \text{ MHz}$  de ancho de banda. Por otro lado la segunda estructura de nuestra antena Quasi-Log de  $16,2 \text{ cm}$  sería la que podemos ver en la figura 4.27.



**Figura 4.27 Estructura 2 que forma la antena Quasi-Log**

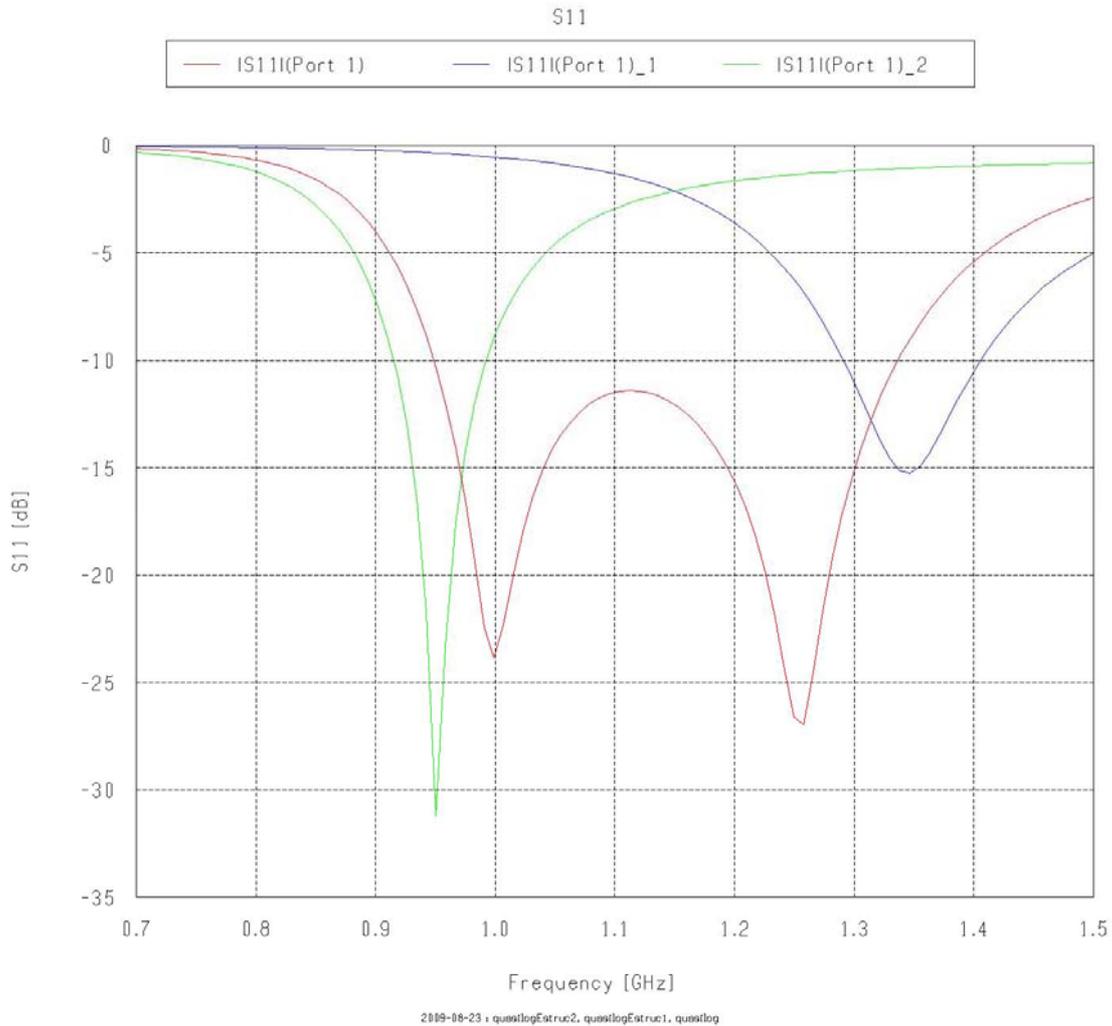
Y el resultado de la magnitud del S11, lo podemos ver en la figura 4.28.



**Figura 4.28 |S11| de la estructura 2 que forma la antena Quasi-Log**

Comprobamos que cumple que  $20 \log |\rho| < -10 \text{ dB}$ . Obteniendo a  $-10 \text{ dB}$ 's aproximadamente un poco menos de 100MHz de ancho de banda.

Si comparamos los diferentes resultados obtenidos de la magnitud del S11 en las dos estructuras y en la estructura completa que forma la antena Quasi-Log (figura 4.29) podemos identificar cada mínimo a que estructura pertenece.



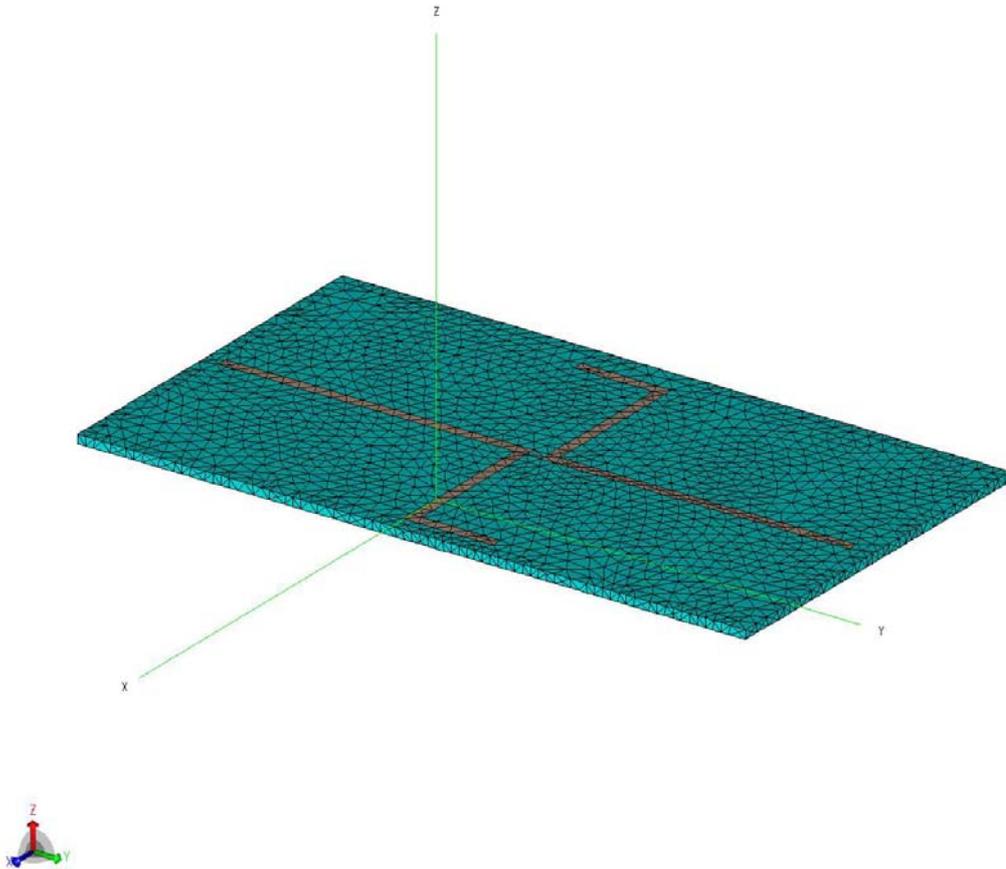
**Figura 4.29 |S11| de la estructura 1, de la estructura 2, y de la antena Quasi-Log**

Por lo tanto, una vez identificado cada uno de los mínimos, a la hora de ajustar el tamaño de nuestra antena modificaremos una u otra estructura según nos interese.

Si reducimos la dimensión de una de las estructuras, desplazaremos los valores a frecuencias más altas, y si aumentamos el tamaño, desplazaremos los valores a frecuencias más bajas.

Al igual que nos ha pasado con la antena dipolo, para realizar el diseño físico, tenemos que alimentar la antena de alguna manera, lo que nos imposibilitará realizar el diseño de la antena Quasi-Log tal y como la hemos diseñado en espacio libre.

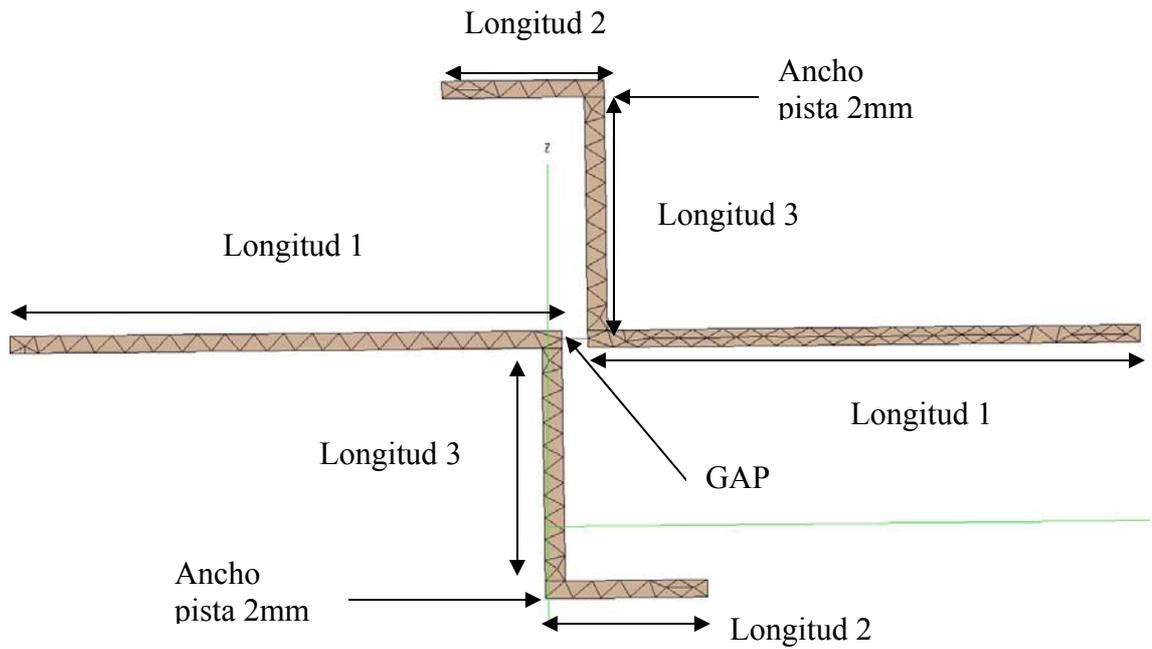
El diseño reajustado es el de la figura 4.30, utilizando un sustrato que tiene un área de  $75,3\text{cm}^2$ .



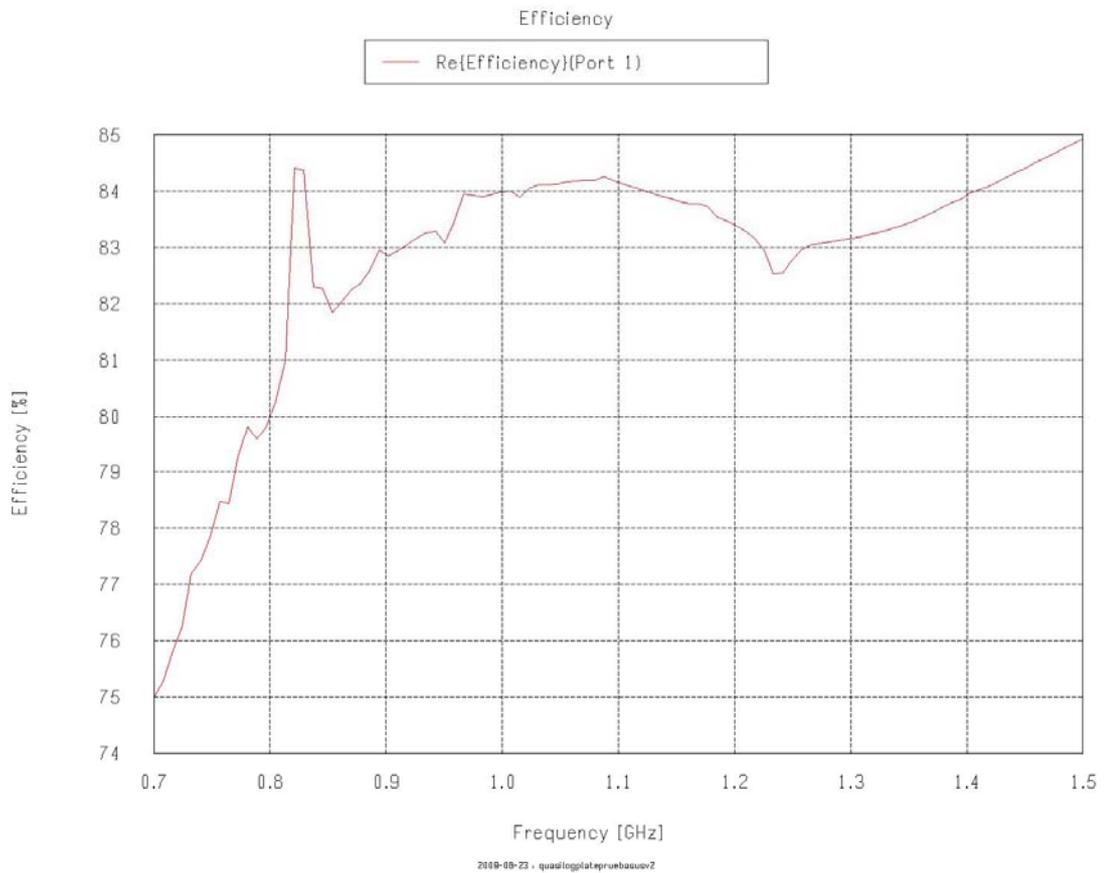
**Figura 4.30 Antena Quasi-Log sobre sustrato FR4**

Podemos observar, como en el diseño de la antena dipolo hemos dejado un gap en el centro de ambas estructuras, y que en este caso, podremos alimentar la antena tanto por arriba, como por abajo, realizando dos pequeñas perforaciones.

Las dimensiones de este diseño (figura 4.31) son: Longitud 1 = 5,55cm, Longitud 2 = 1,63cm, Longitud 3 = 2,7cm y el GAP = 2,6mm. Obteniendo una eficiencia (figura 4.32) entorno los 960MHz de un 84%.

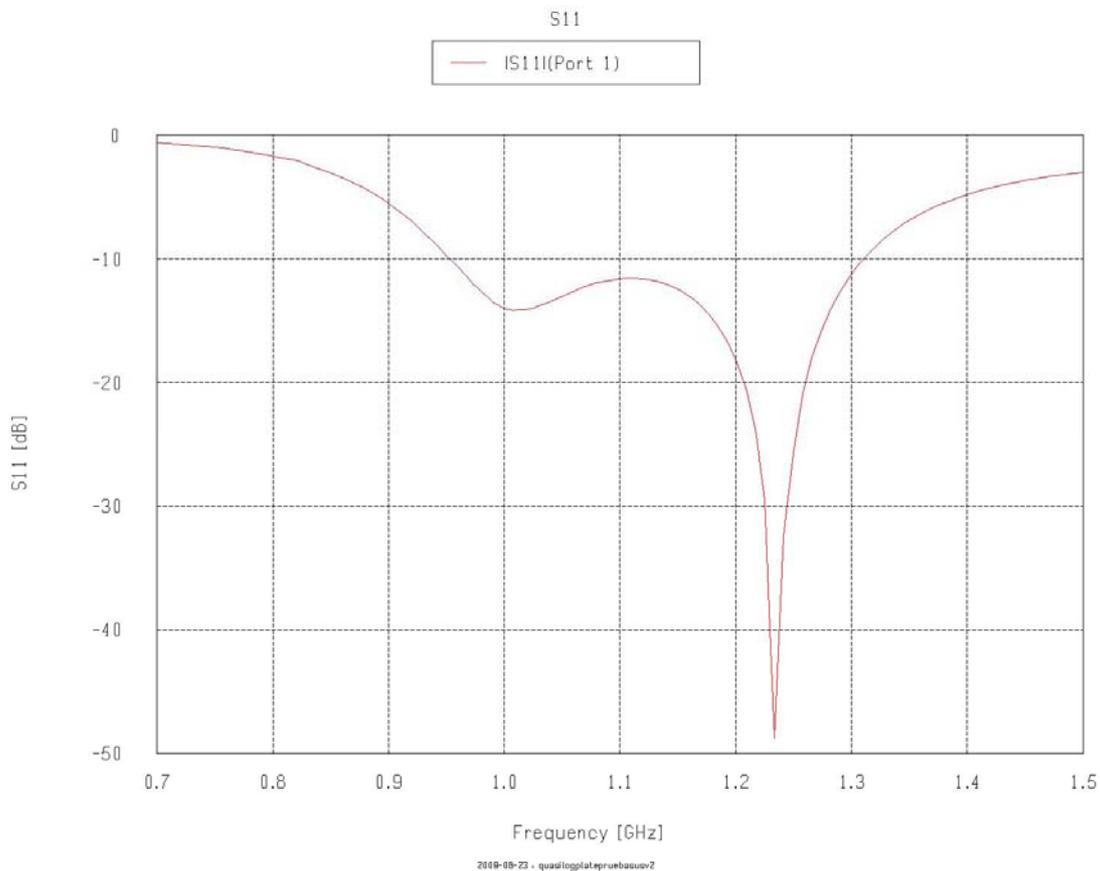


**Figura 4.31 Medidas antenna Quasi-Log sobre sustrato FR4**



**Figura 4.32 Eficiencia antenna Quasi-Log sobre sustrato FR4**

El resultado obtenido de la magnitud del S11, podemos verlo en la figura 4.33, obteniendo un ancho de banda entorno los 365Mhz, ligeramente inferior a los 380Mhz que conseguíamos en el estudio realizado en espacio libre.



**Figura 4.33 |S11| de la antena Quasi-Log sobre FR4**

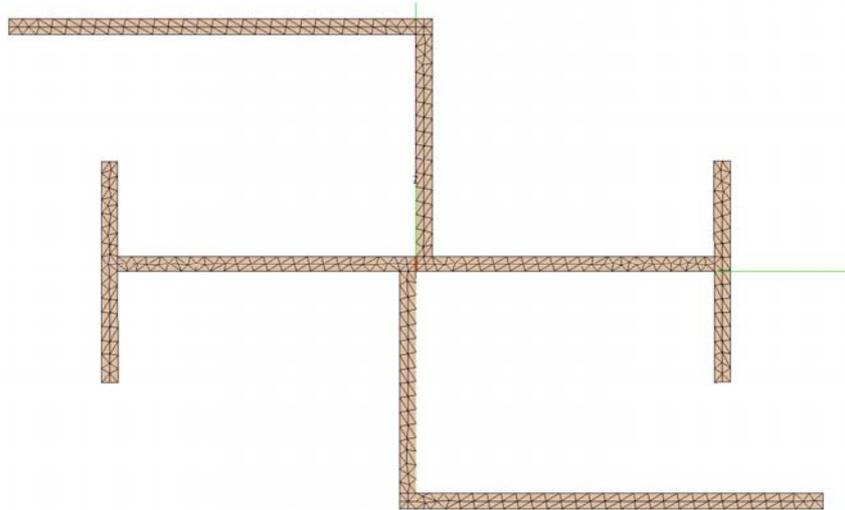
Dicho de otro modo, obtenemos un ancho relativo de 37,864%.

$$\left( BW = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \times 100\% = \frac{1,314 - 0,9505}{0,96} \times 100\% = 37,864\% \right) \quad (4.5)$$

#### 4.4 Antena Quasi-Log optimizada monocapa

Una vez que tenemos el diseño de la antena Quasi-Log, nuestro objetivo es realizar una optimización de la misma. Tanto si es a nivel de ancho de banda, como a nivel de dimensiones.

En el estudio realizado por la empresa “Sonnet Software, Inc” [3], podemos ver como han realizado una optimización de una antena Quasi-Log para aplicaciones RFID. Este estudio lo han basado en el rango de frecuencias UHF utilizado en Japón, básicamente la respuesta de la antena ha de ser óptima entorno los 960MHz. La optimización que han llevado a cabo en este estudio lo he querido llevar a cabo con nuestro diseño Quasi-Log (figura 4.34), y se basa en acortar longitudinalmente una de las estructuras.

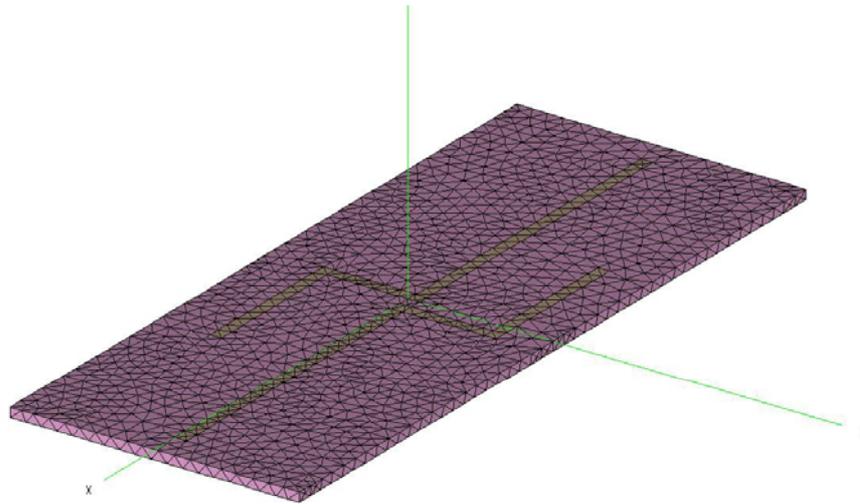


**Figura 4.34 Optimización antena Quasi-Log [3]**

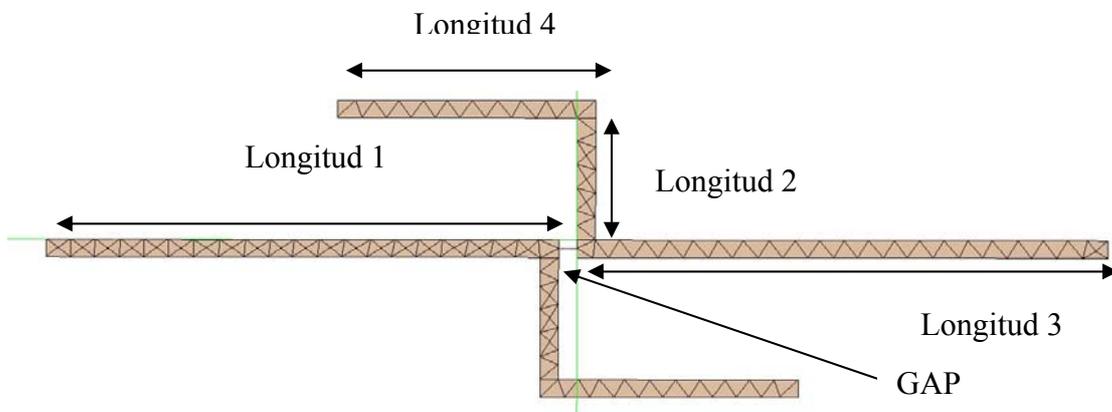
El resultado que hemos obtenido en espacio libre, no ha mejorado nuestro diseño Quasi-Log inicial, ya que en este diseño hemos conseguido un área total de  $62cm^2$  y un ancho de banda de aproximadamente 280MHz. Mientras que en nuestro diseño inicial ya habíamos mejorado estos valores obteniendo un área de  $42,84cm^2$  y un ancho de banda de 380Mhz aproximadamente. De este estudio la idea que nos han dado la utilizaremos en el próximo apartado para realizar una Quasi-Log mejorada.

Para realizar una optimización a nuestra antena Quasi-Log, en primer lugar, sería reducir el tamaño, y eso se consigue acercando los dos brazos de la misma, teniendo en cuenta que esa longitud que hemos reducido se la tendremos que incorporar de forma longitudinalmente, pero conseguiremos una optimización a nivel del área de la antena. Por lo tanto, nos basamos en acercar los brazos de la antena de nuestro diseño en sustrato finito y una vez ajustada, obtenemos el diseño de la figura 4.35.

El sustrato tiene un área de  $45,2\text{cm}^2$ .



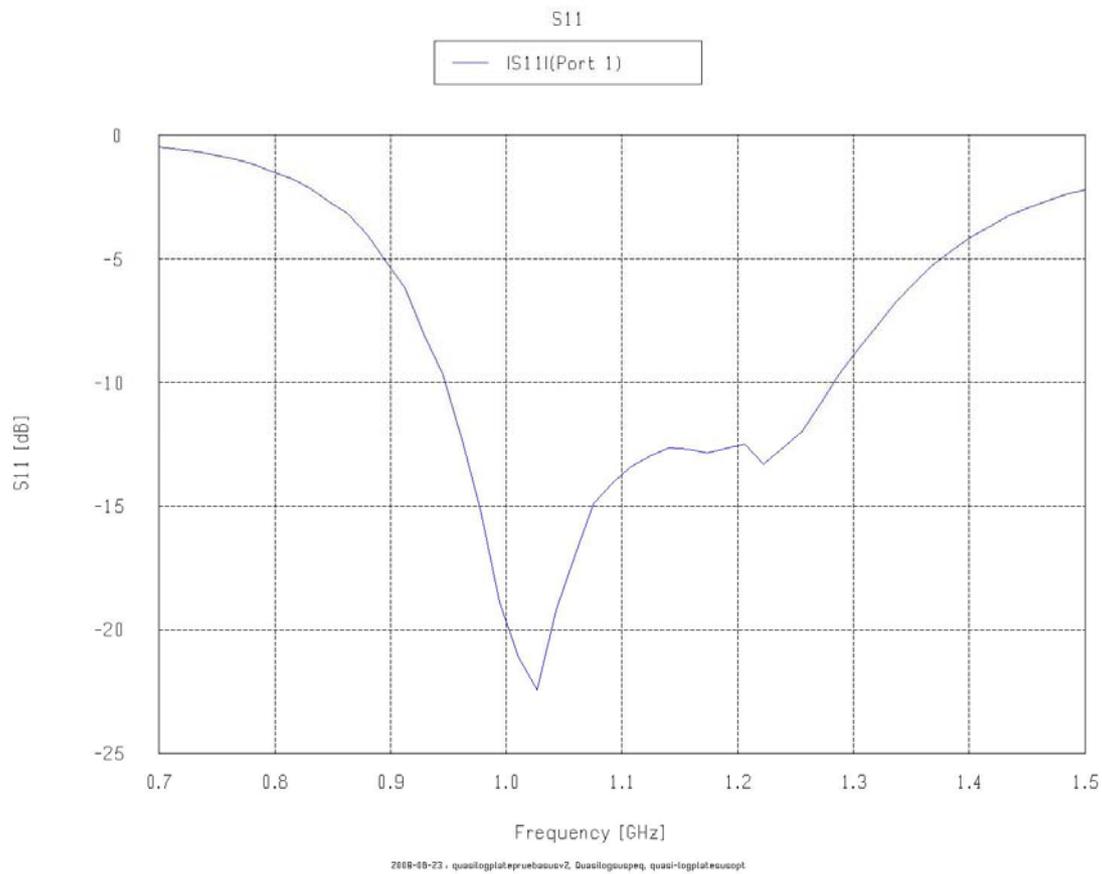
**Figura 4.35 Antena Quasi-Log optimizada sobre sustrato FR4**



**Figura 4.36 Medidas antena Quasi-Log optimizada sobre sustrato FR4**

Las dimensiones de este diseño (figura 4.36) son: Longitud 1 =  $5,55\text{cm}$ , Longitud 2 =  $1,4\text{cm}$ , Longitud 3 =  $5,75\text{cm}$ , Longitud 4 =  $2,8\text{cm}$  y el GAP =  $2\text{mm}$ . Obteniendo una eficiencia (figura 4.38) entorno los  $960\text{MHz}$  superior al diseño Quasi-Log que era un  $84\%$ , y en este diseño conseguimos un  $96\%$ .

Respecto el ancho de banda conseguido, podemos ver en la figura 4.37 que conseguimos aproximadamente unos 343MHz.

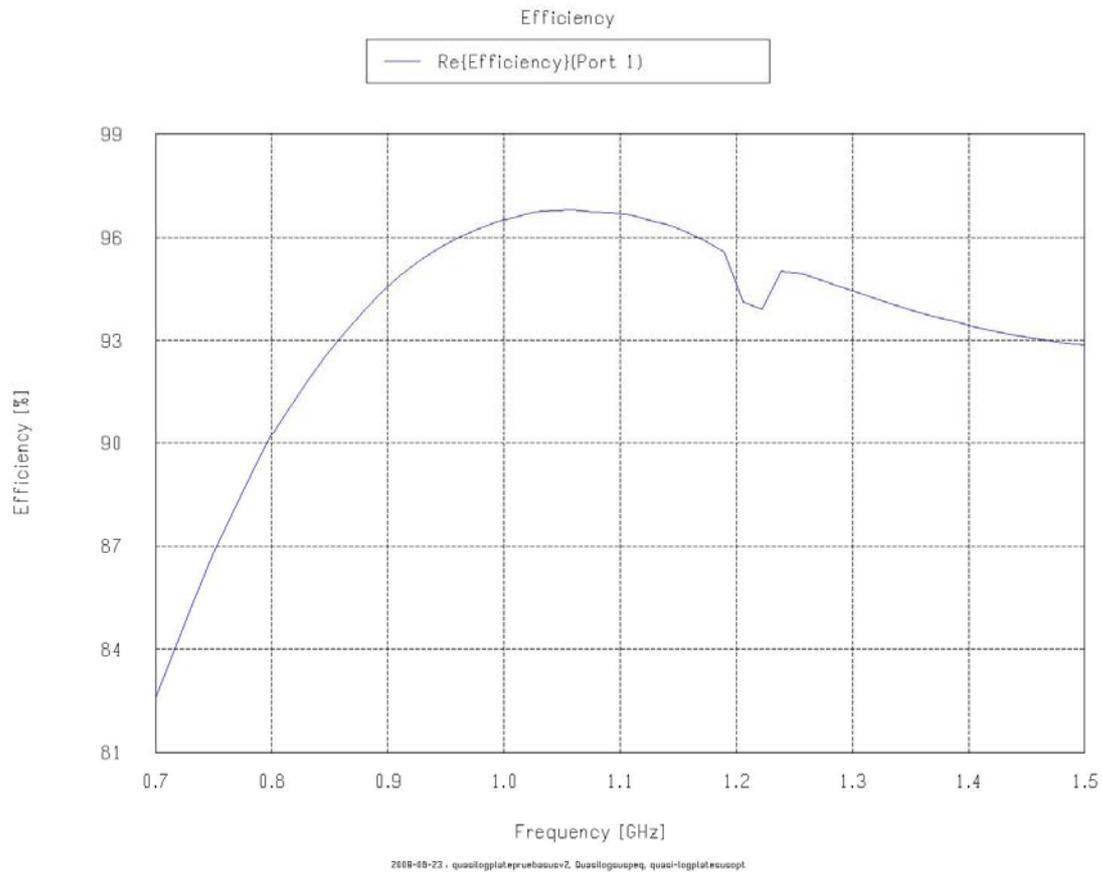


**Figura 4.37 |S11| de la antena Quasi-Log optimizada sobre sustrato FR4**

Por lo tanto, obtenemos un ancho relativo de 35,7%.

$$\left( BW = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \times 100\% = \frac{1,288 - 0,945}{0,96} \times 100\% = 35,7\% \right) \quad (4.6)$$

Podemos ver como conseguimos el objetivo a nivel de dimensiones ya que pasamos de tener un área en la antena Quasi-Log de  $75,3\text{cm}^2$  a tener un área en nuestra Quasi-Log optimizada de  $45,2\text{cm}^2$ . A nivel de ancho de banda no conseguimos mejorar, ya que con la antena Quasi-Log conseguimos 365Mhz, y con este diseño conseguimos unos 343MHz. Pero viendo como se han mejorado los resultados a nivel de dimensiones, los 22Mhz de diferencia a nivel de ancho de banda no los tengo en cuenta, ya que la optimización del tamaño final ha sido bastante buena.

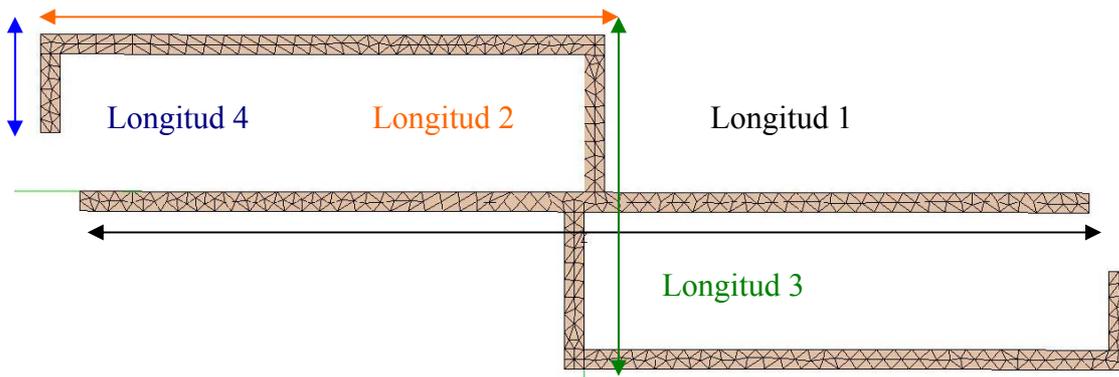


**Figura 4.38 Eficiencia de la antena Quasi-Log optimizada sobre sustrato FR4**

#### 4.5 Antena Quasi-Log mejorada monocapa

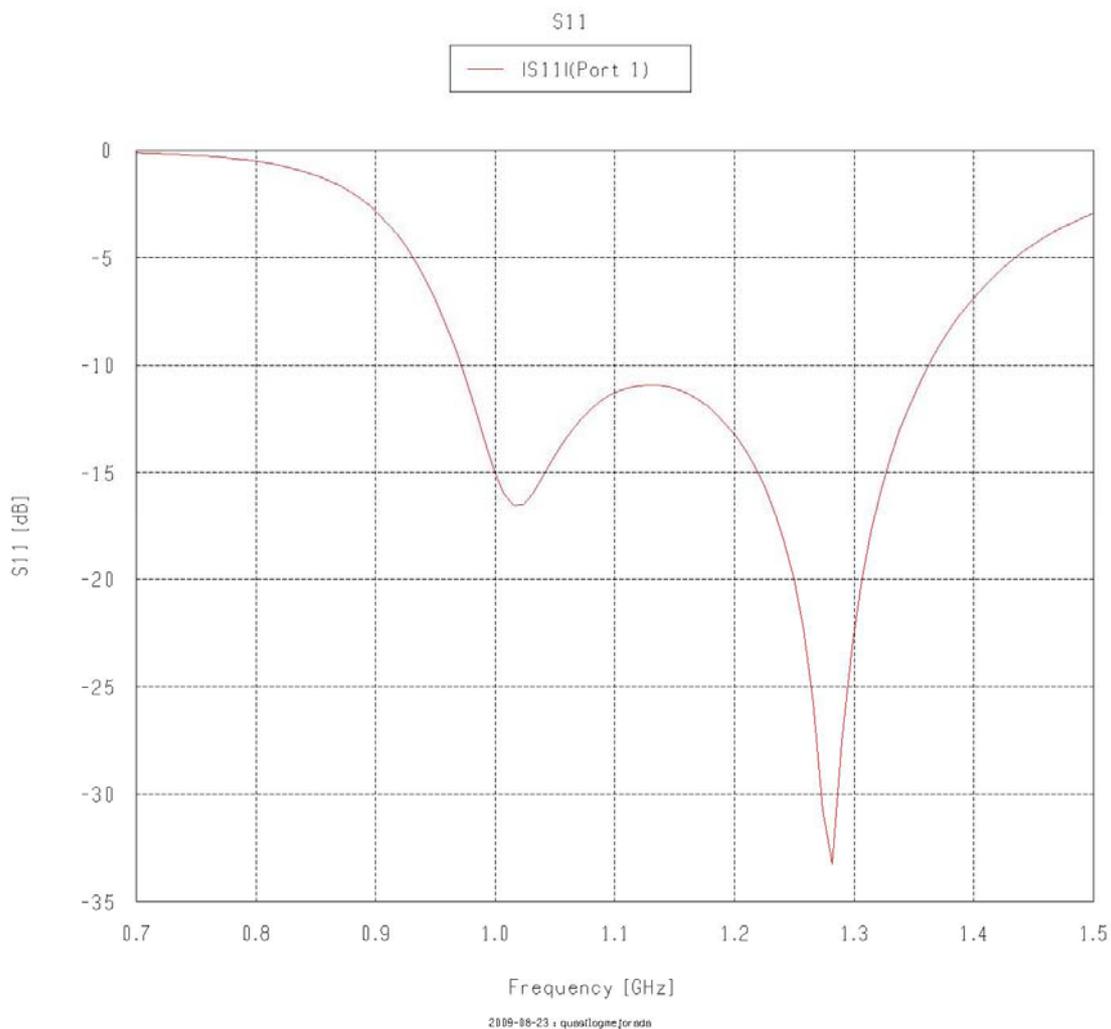
Como se ha comentado anteriormente, en el estudio realizado por la empresa “Sonnet Software, Inc” [3], han realizado una optimización de una antena Quasi-Log que se basa en acortar longitudinalmente una de las estructuras, y por otro lado en el estudio [33] realizan un dipolo con forma de meandro para optimizar el tamaño del tag. Hemos querido realizar una mejora de la antena anterior optimizada, a partir de haber visto el tratamiento que hacen a las antenas en estos dos artículos.

El objetivo que hemos indicado lo podemos conseguir con el siguiente diseño en espacio libre. Las dimensiones de nuestra antena Quasi-Log mejorada estando adaptada a  $50\Omega$  en espacio libre se pueden ver a continuación (figura 4.39).



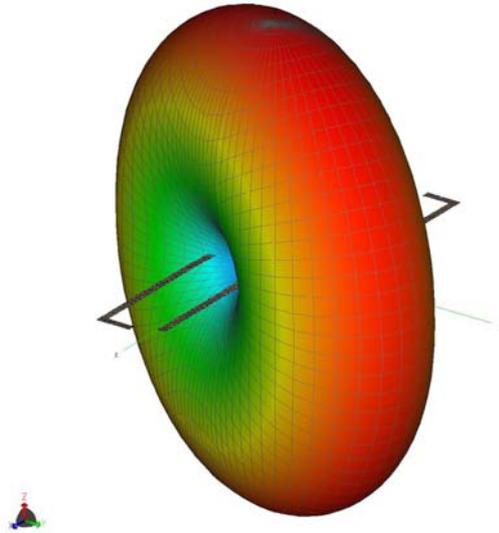
**Figura 4.39 Medidas antenna Quasi-Log mejorada en espacio libre**

La Longitud 1 = 10,2cm, Longitud 2 = 5,7cm, Longitud 3 = 3,4cm, Longitud 4 = 1cm, y se ha utilizado un ancho de pista de 2mm. Por lo tanto el área total de nuestra antenna =  $37,4cm^2$ .



**Figura 4.40  $|S_{11}|$  antenna Quasi-Log mejorada en espacio libre**

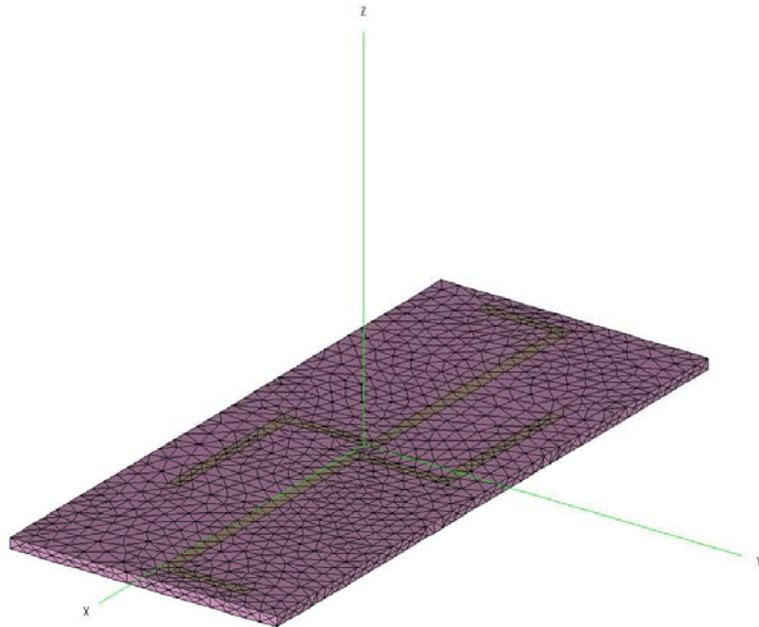
Con este diseño podemos ver en la figura 4.40 que conseguimos un ancho de banda de aproximadamente unos 380MHz entorno los -10dB's (figura 4.40). La directividad máxima entorno la frecuencia de 958,586MHz, es 1,6 en lineal. El diagrama de radiación a la frecuencia de 958,586MHz podemos verlo en la figura 4.41.



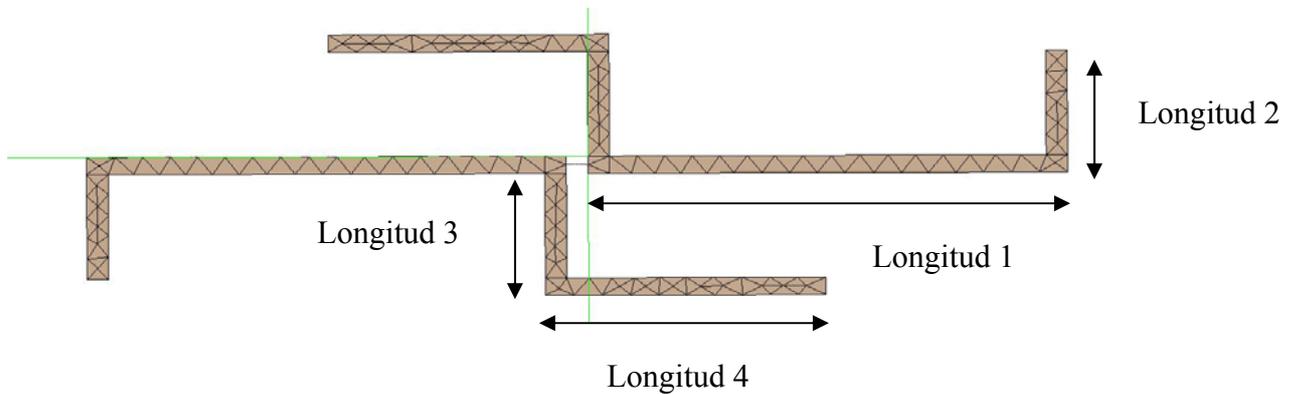
**Figura 4.41 Diagrama de radiación antena Quasi-Log mejorada en espacio libre**

Este diseño en espacio libre es realmente una mejora respecto los anteriores diseños, pero a la hora de realizarlo físicamente nos volvemos a encontrar con el problema indicado anteriormente. Teniendo que rediseñar el modelo, y consiguiendo una antena diferente a la pensada inicialmente.

La antena rediseñada la podemos ver en la figura 4.42. El sustrato tiene un área de  $37,8cm^2$ , de este modo hemos vuelto a optimizar el diseño de la antena Quasi-Log optimizada, y hemos pasado de un área de  $45,2cm^2$  a  $37,8cm^2$ .



**Figura 4.42 Antena Quasi-Log mejorada sobre sustrato FR4**

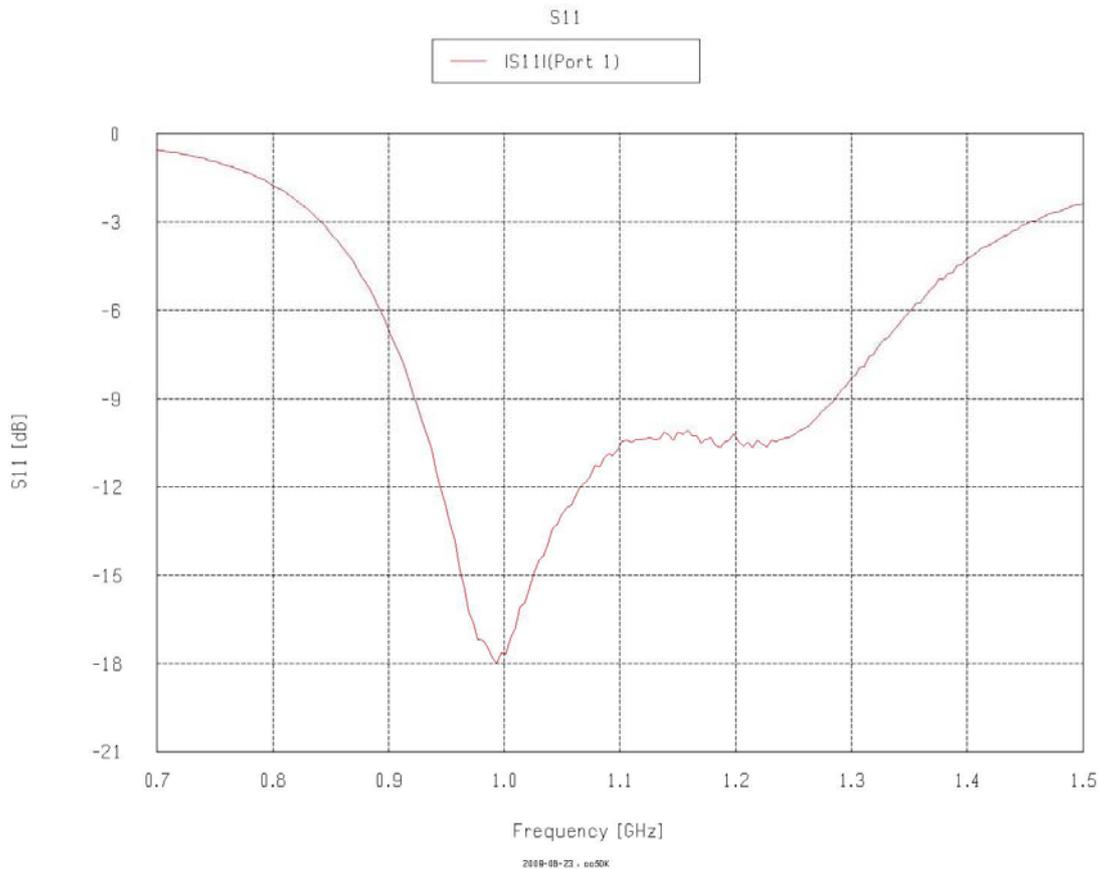


**Figura 4.43 Medidas antena Quasi-Log mejorada sobre sustrato FR4**

Las dimensiones de este diseño son simétricas (figura 4.43): Longitud 1 = 4,8505cm, Longitud 2 = 1,308cm, Longitud 3 = 1,308cm, Longitud 4 = 2,834cm y el GAP = 2,18mm. Obteniendo una eficiencia entorno los 960MHz de 97% (figura 4.45).

Para conseguir las prestaciones en ancho de banda que podremos ver a continuación, hemos utilizado un ancho de pista superior a 2mm, exactamente un ancho de pista de 2,18mm.

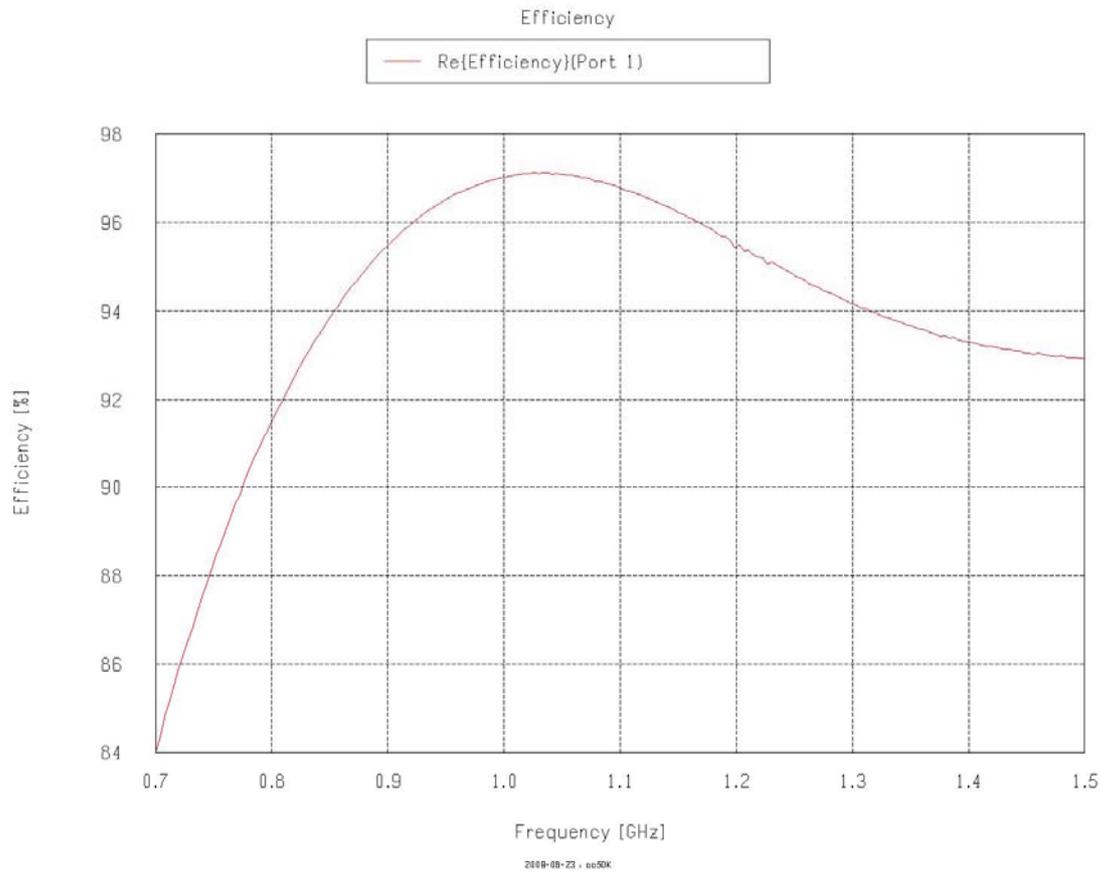
En la figura 4.44 podemos ver el resultado obtenido de la magnitud de S11, y ahí podremos ver el ancho de banda conseguido en esta ocasión.



**Figura 4.44 |S11| antena Quasi-Log mejorada sobre sustrato FR4**

Respecto el ancho de banda, se ha conseguido aproximadamente unos 334MHz. Tal y como nos ha pasado antes, mejoramos considerablemente el tamaño, en detrimento de un poco de ancho de banda. En la Quasi-Log optimizada conseguíamos aproximadamente unos 343MHz, y en este caso unos 334MHz. Por lo tanto, obtenemos en este caso un ancho relativo de 34,79%.

$$\left( BW = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \times 100\% = \frac{1,263 - 0,929}{0,96} \times 100\% = 34,79\% \right) \quad (4.7)$$



**Figura 4.45 Eficiencia de la antena Quasi-Log mejorada sobre sustrato FR4**

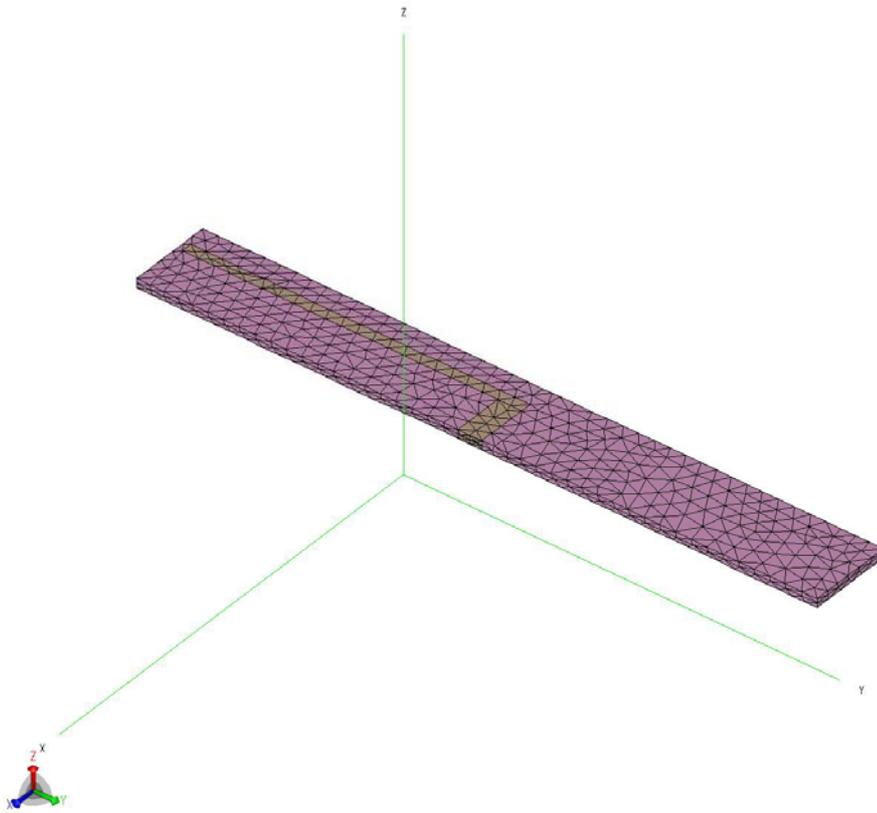
#### 4.6 Antena dipolo bicapa

En los anteriores diseños no se ha incorporado un balun. El balun [5], además de su función de simetrización de la corriente también puede tener un efecto de adaptación de impedancias. Al no utilizar balun podremos observar cuando hagamos la realización física, y midamos la antena con un conector SMA, como las fugas de corriente nos están variando la impedancia de entrada de nuestros diseños.

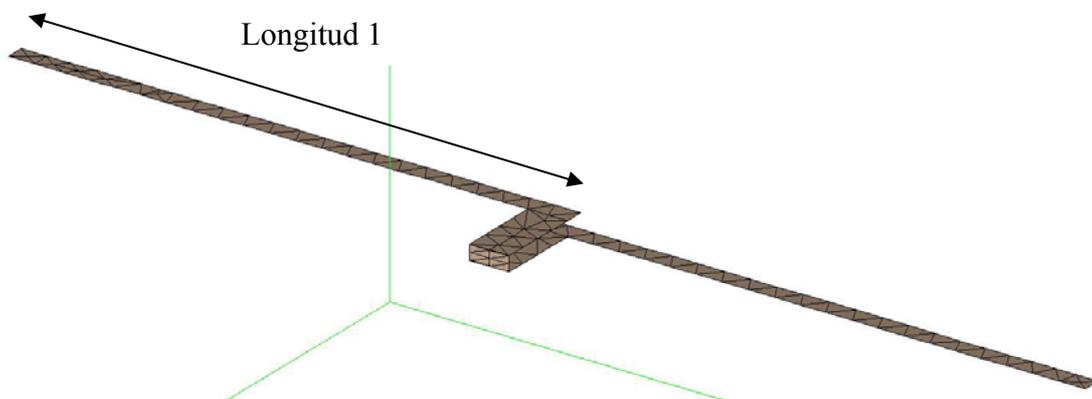
De este modo, y viendo que en [34] se indica que el uso de dos capas, nos proporciona balanceo de la corriente, hemos decidido hacer algún diseño de los anteriores realizados en una capa en modo bicapa. Aún así, debemos indicar que las antenas RFID no van con balun porque los chips suelen ser diferenciales.

La primera opción, ha sido diseñar en modo bicapa una antena de tipo dipolo.

El diseño en sustrato finito sería tal y como muestra la figura 4.46.



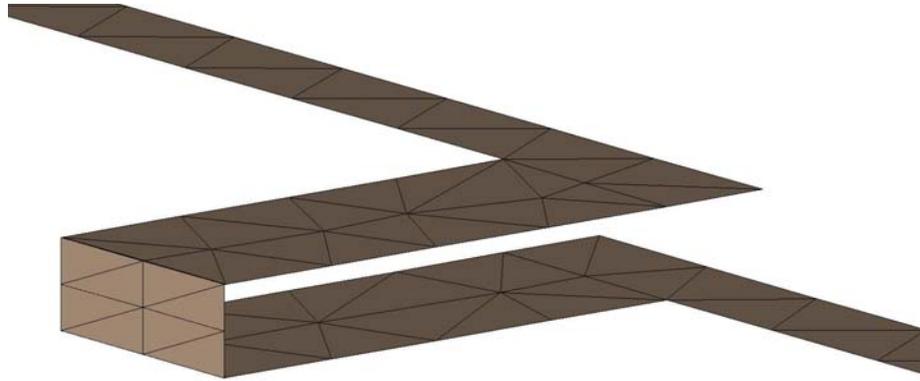
**Figura 4.46 Antena dipolo simple bicapa sobre sustrato FR4**



**Figura 4.47 Estructura Antena dipolo simple bicapa**

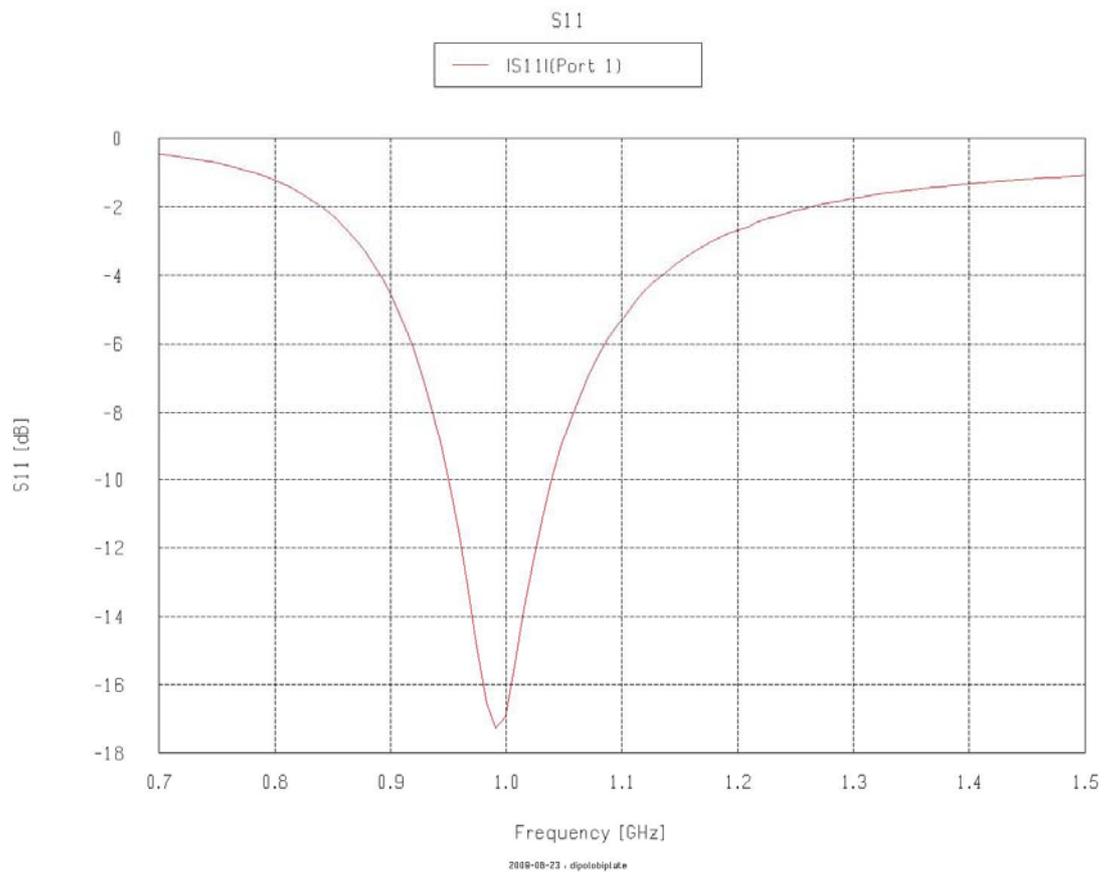
El sustrato tiene un área de  $51,3\text{cm}^2$ . Cada brazo del dipolo (figura 4.47) mide Longitud 1=  $6,145\text{cm}$ , y el ancho de la línea de transmisión mide  $= 4,35\text{mm}$ , pudiendo ser esta más larga o menos dependiendo de la aplicación donde se vaya a utilizar, sin alterarnos la respuesta. Y Obteniendo una eficiencia entorno los  $960\text{MHz}$  de  $97\%$  (figura 4.50).

Se puede observar como alimentamos a nuestra antena dipolo con una línea de transmisión. Esta línea está adaptada a  $50 \Omega$ . En el extremo de la línea pondríamos la fuente de alimentación. Podemos ver la figura 4.48 como se detalla la forma de conectar la línea de transmisión al dipolo.



**Figura 4.48 Conexión línea de transmisión a la antena dipolo simple bicapa**

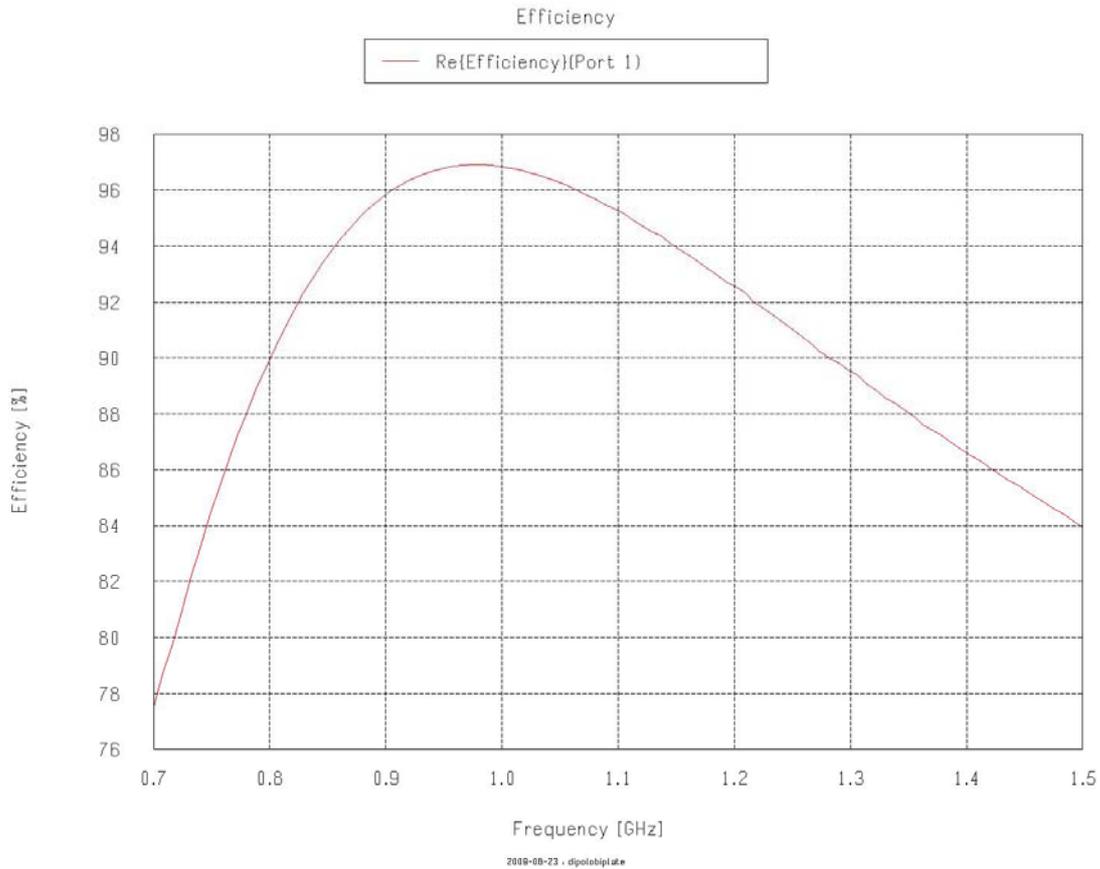
La respuesta obtenida del parámetro S11 la podemos ver en la figura 4.49:



**Figura 4.49 |S11| antena dipolo simple bicapa sobre sustrato FR4**

Respecto el ancho de banda conseguido en este diseño, podemos indicar que aproximadamente son unos 88,5MHz. Por lo tanto, obtenemos en este caso un ancho relativo de 9,218%.

$$\left( BW = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \cdot 100\% = \frac{1,039 - 0,9505}{0,96} \cdot 100\% = 9,218\% \right) \quad (4.8)$$



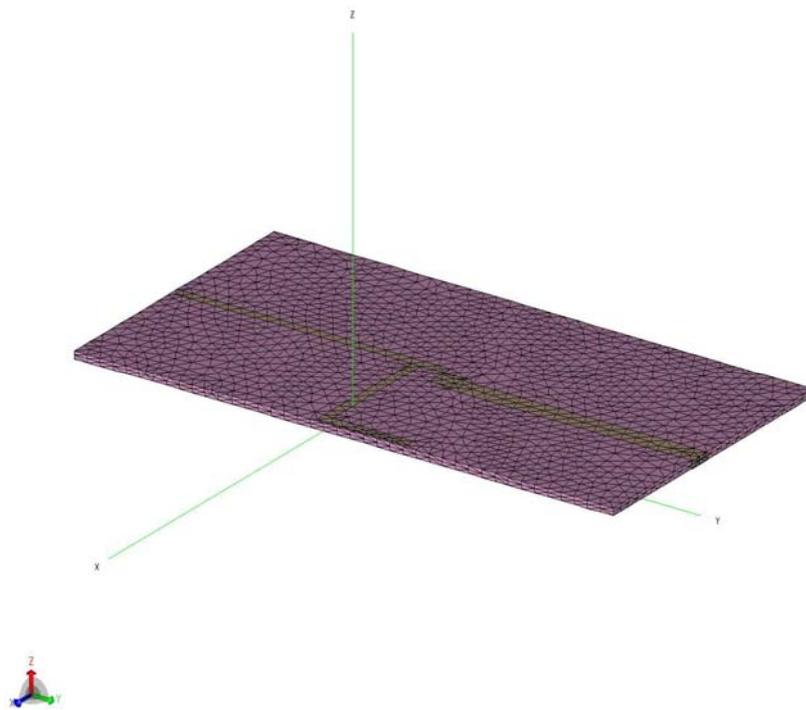
**Figura 4.50 Eficiencia de la antena dipolo simple bicapa sobre sustrato FR4**

Con el modelo bicapa según el estudio comentado anteriormente, [34], nos indica que se simetrizan corrientes. Hemos podido comprobar en la medición de la antena realizada en la parte práctica, tal y como podremos ver en capítulos siguientes, que no se balancean totalmente. Veremos que realmente utilizando dos capas mejoramos el efecto de no incluir un balun respecto los diseños monocapa, pero no logramos un equilibrado total de las corrientes.

El siguiente apartado hemos diseñado la antena Quasi-Log en dos capas, aunque la respuesta en ancho de banda ha sido mejor que en otros diseños, el tamaño de la antena se equivale a la antena Quasi-log monocapa, y como hemos comprobado que este tipo de diseño no acaba de equilibrar bien las corrientes, no realizaremos físicamente la antena Quasi-Log bicapa.

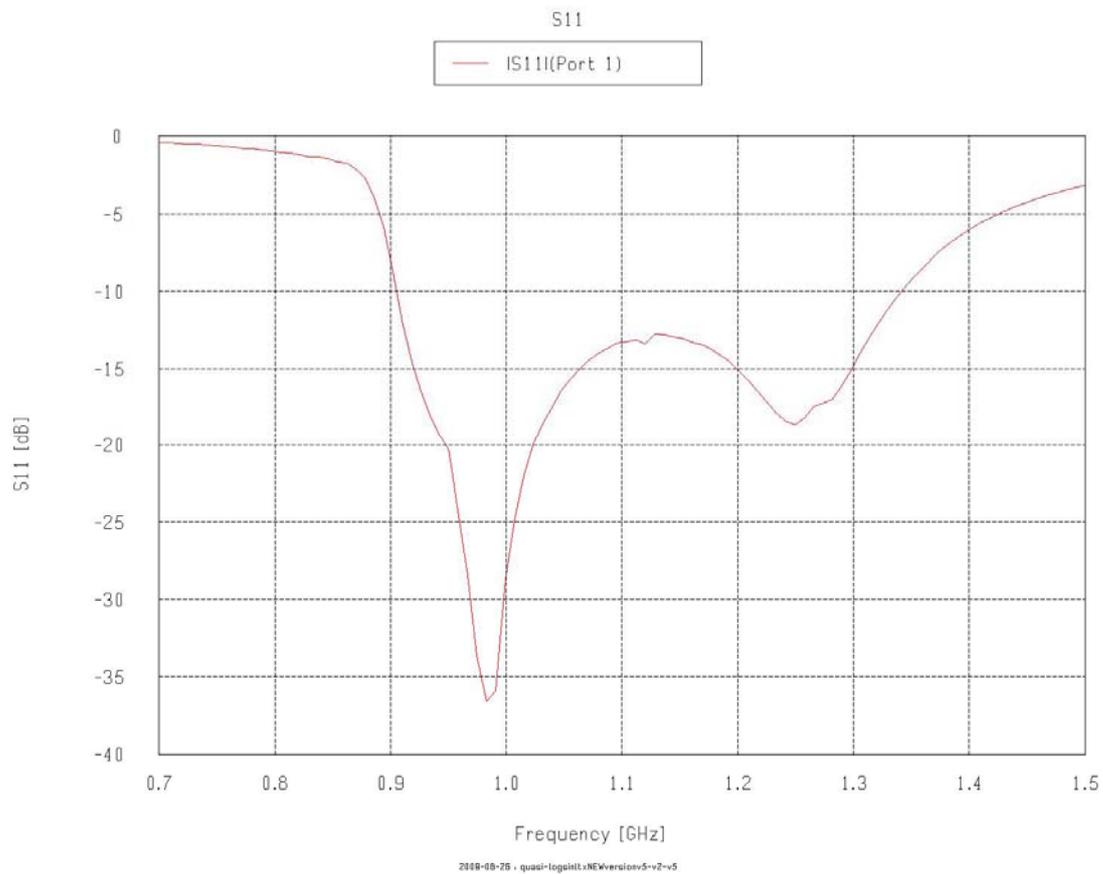
#### 4.7 Antena Quasi-Log bicapa

La antena diseñada en sustrato finito se puede ver en la figura 4.51:



**Figura 4.51 Antena Quasi-Log bicapa sobre sustrato FR4**

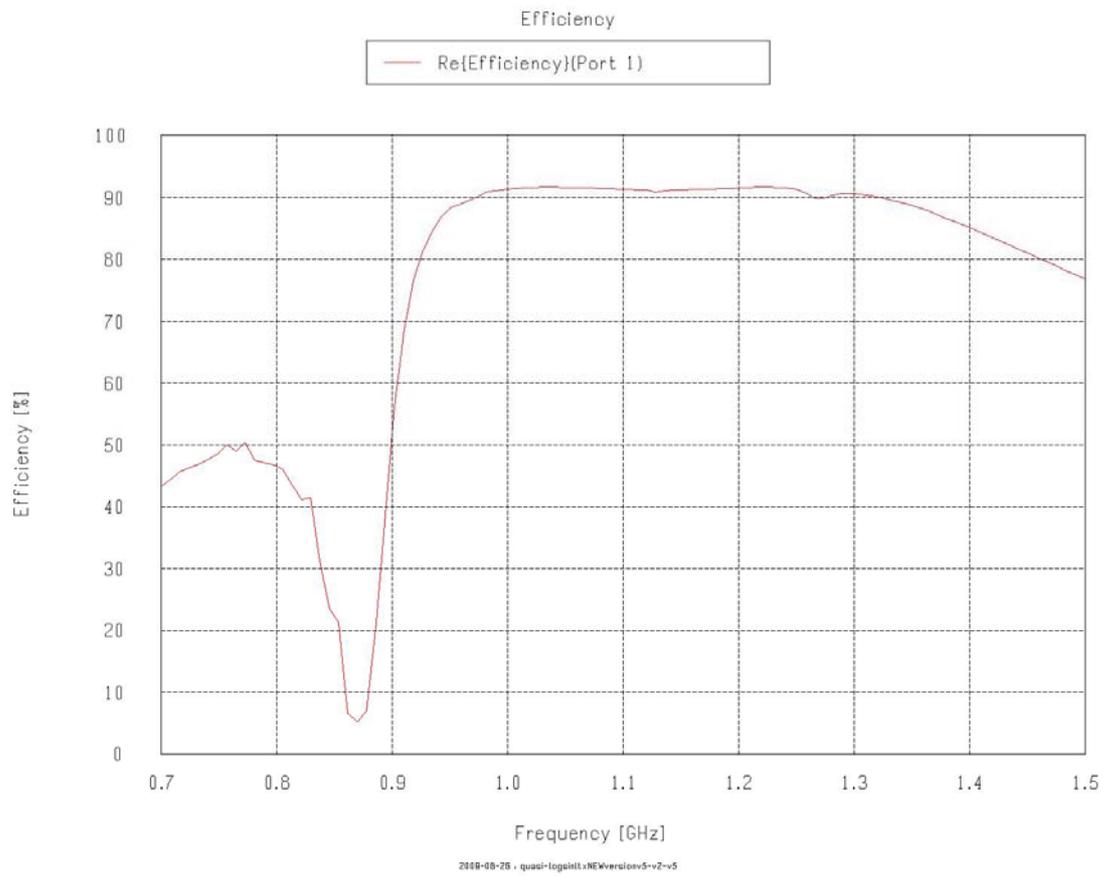
Este diseño mantiene prácticamente las dimensiones de la antena Quasi-Log monocapa. Tal y como hemos hecho con el diseño del dipolo bicapa, en este diseño alimentamos la estructura con una línea de transmisión. Y conseguimos una eficiencia entorno los 960MHz de 90% (figura 4.53).



**Figura 4.52 |S11| Antena Quasi-Log bicapa sobre sustrato FR4**

Podemos ver en la figura 4.52 como hemos conseguido aumentar el ancho de banda conseguido entorno los 450MHz, esto puede ser debido probablemente a que nuestra antena interactúa con la línea de alimentación de la misma, y en este caso en lugar de interactuar la estructura de la antena y la línea de alimentación y provocar un acoplamiento (similar a un efecto de crosstalk) y conseguir una pérdida en la adaptación en la impedancia de entrada de la misma, el efecto ha sido el contrario. Se tendría que analizar el efecto que nos ocurre con más precisión para ver exactamente como ocurre este efecto, pero debido a que el tamaño de la antena es como la antena Quasi-Log monocapa, y el uso de dos capas no acaba de equilibrar las corrientes correctamente se decide no realizar la antena físicamente, ya que a nivel de dimensiones hemos realizado diseños más pequeños en una sola capa con una respuesta en ancho de banda entorno los 330MHz-350MHz, que cumplen con nuestras expectativas, y entre los dos objetivos principales (disminuir las dimensiones de la antena, y aumentar ancho de banda), preferimos escoger diseños que optimicen las dimensiones.

Pero en el caso de necesitar una antena para una aplicación RFID con un ancho de banda como el que nos ofrece este diseño, y pudiendo utilizar un modelo bicapa de estas dimensiones en alguna aplicación determinada, es un diseño válido a utilizar, siendo interesante profundizar el estudio del mismo.



**Figura 4.53** Eficiencia de la antena Quasi-Log bicapa sobre sustrato FR4

# 5. Antenas para poder integrar el chip XRAG2 UHF de STMicroelectronics

## 5.1 Introducción

En este capítulo vamos a diseñar diferentes antenas para poder adaptar el chip de STMicroelectronics, XRAG2. La frecuencia central de trabajo de este chip es a 915MHz y su impedancia de entrada es  $Z_{chip} = 10 - j245 \Omega$ .

En una etiqueta RFID tendremos que diseñar la antena de manera que tengamos máxima transferencia de potencia al chip integrado en la misma.

La impedancia de la antena se puede expresar como  $Z_A = R_A + jX_A$ , y la impedancia del Chip como  $Z_L = R_L + jX_L$ . Para conseguir máxima transferencia de potencia debemos utilizar la técnica de adaptación conjugada,  $Z_A = Z_L^*$ . Por lo tanto, idealmente para conseguir máxima transferencia en nuestro caso, tendremos que diseñar una antena que tenga una impedancia  $Z_A = 10 + j245$  entorno los 915 MHz.

Sabiendo que la impedancia del chip es  $Z_{chip} = 10 - j245$  a la frecuencia de 915MHz, y

que  $1 - C_a = \frac{|Z_A - Z_L^*|^2}{|Z_A + Z_L|^2} = |S|^2$ , debemos cumplir  $20 \log|S| < -10dB$ . Siendo  $C_a$  el

coeficiente de desadaptación, como hemos visto en el capítulo 2.

Resumiendo, para realizar el diseño de nuestra antena, tendremos dos objetivos, el primero será conseguir un diseño que cumpla que  $20 \log|S| < -10dB$ , y el segundo será hacer un proceso de miniaturización, que basará en pasar de antenas CLL (Capacitively Loaded Loop) [35], a antenas SRR (Split Ring Resonator) [4].

Para evaluar los resultados podremos tratar la información simulada, a partir de que elaboremos una macro en Excel [36], o bien a través de Matlab [37] debido a que FEKO no calcula directamente el  $C_a$ .

## 5.2 Antenas CLL simétricas

En este capítulo veremos diferentes diseños de antenas CLL, y podremos ver como nos interesa que sea la estructura definida para conseguir una antena directiva u omnidireccional.

Sabiendo que la impedancia del chip es  $Z_{Chip} = 10 - j245 \Omega$  a la frecuencia de 915MHz, necesitamos conseguir una estructura que nos proporcione un comportamiento inductivo entorno los 915MHz, de tal manera que consigamos adaptación conjugada.

La estructura básica de una antena CLL es muy similar a la de la antena Loop [5] pero sin ser cerrada completamente. Realizando el diseño de la figura 5.1 conseguimos un comportamiento inductivo entorno la frecuencia deseada.

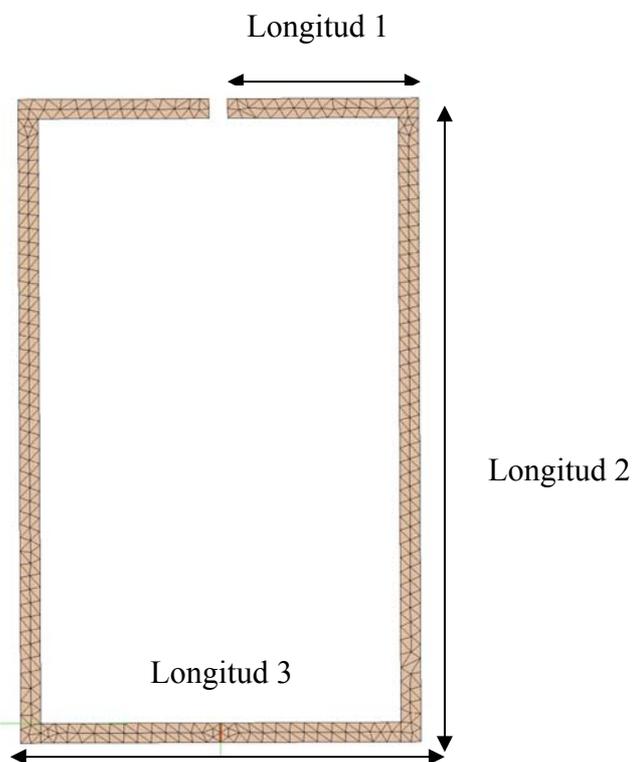
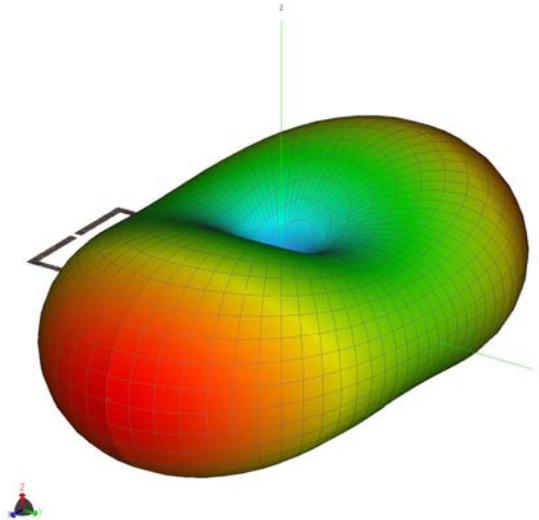


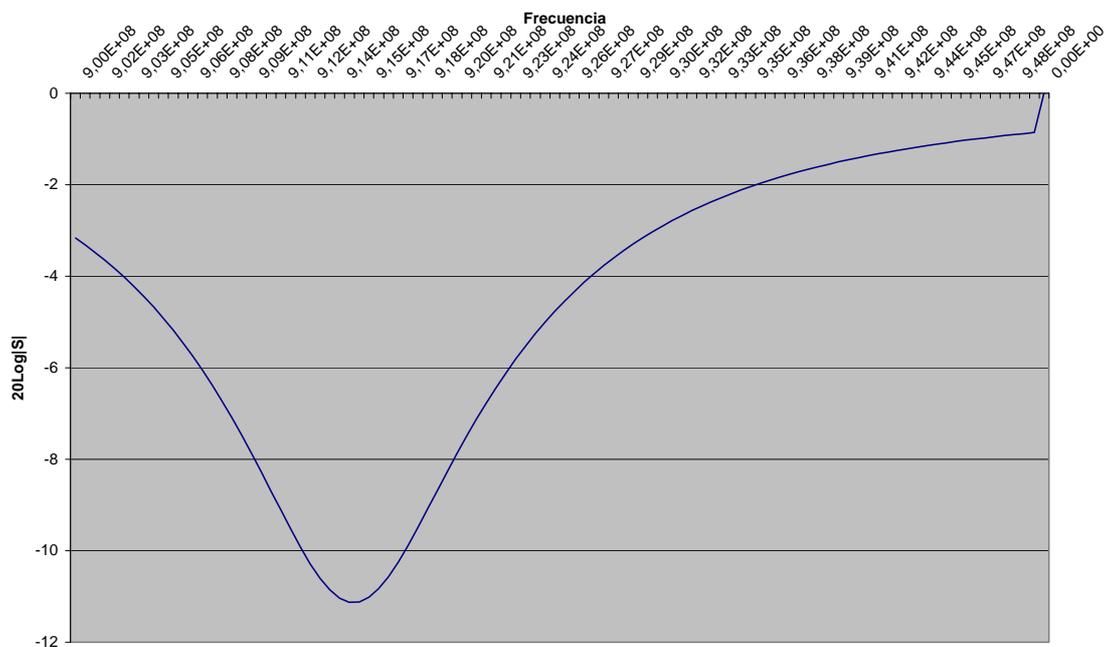
Figura 5.1 CLL básica en espacio libre

Las dimensiones de la antena de la figura 5.1 son Longitud 1 = 1,91cm, Longitud 2 = 6,6cm y Longitud 3 = 4cm. Y hemos utilizado un ancho de pista de 2mm. Por lo tanto el área total de nuestra antena =  $26,4\text{cm}^2$ .

La directividad máxima es 1,3 en lineal a la frecuencia de 915,152MHz. El diagrama de radiación a esta frecuencia se puede ver en la figura 5.2.



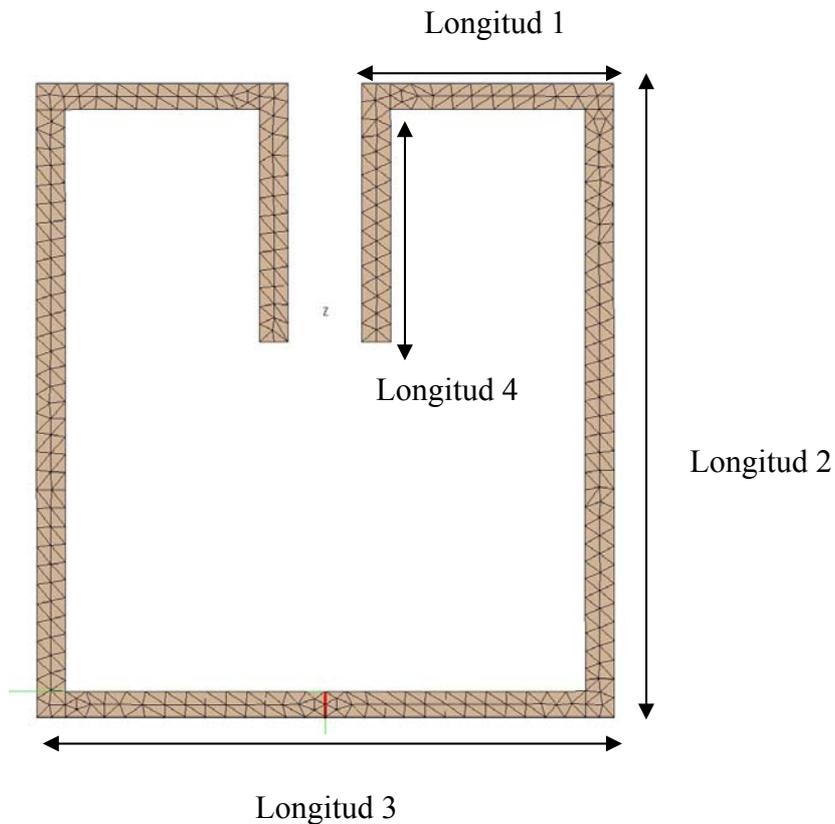
**Figura 5.2 Diagrama radiación CLL básico**



**Figura 5.3 Representación 20Log|S| antena CLL básico**

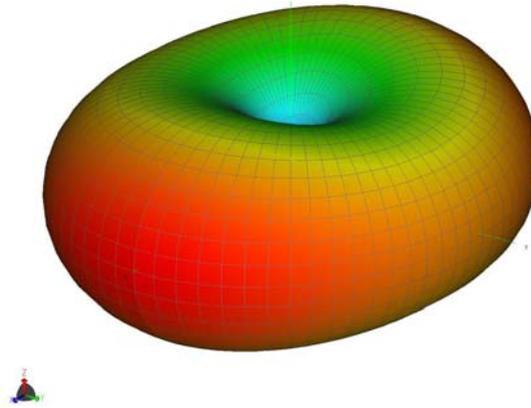
En la figura 5.3 podemos ver que con nuestro diseño conseguimos a  $-10\text{dB's}$  un ancho de banda aproximado de unos  $4,5\text{MHz}$ . Es decir, un ancho de banda relativo de  $0,5\%$ . Es un ancho de bastante pequeño, y podemos ver como no es un diagrama de radiación omnidireccional como el de la antena dipolo, esto es debido a la forma de la estructura de nuestra antena. Como se verá más adelante, nos interesa tener una estructura más cuadrada.

Como proceso de optimización, y para un mayor control de la parte reactiva en torno los  $915\text{MHz}$ , la evolución del diseño tiende al que podemos ver en la figura 5.4. Si tan solo tenemos un dipolo básico, de dimensión igual a la Longitud 3, obtenemos un comportamiento capacitivo, para conseguir un comportamiento inductivo, debemos introducir dos prolongaciones de la antena como las de la Longitud 2. Por lo tanto, si al aumentar la Longitud 2, aumentamos el comportamiento inductivo de nuestra antena, en este caso, tendremos que disminuir la Longitud 2 para conseguir reducir la parte reactiva de la impedancia de entrada. Por lo tanto, ajustando las medidas de nuestra antena obtenemos:

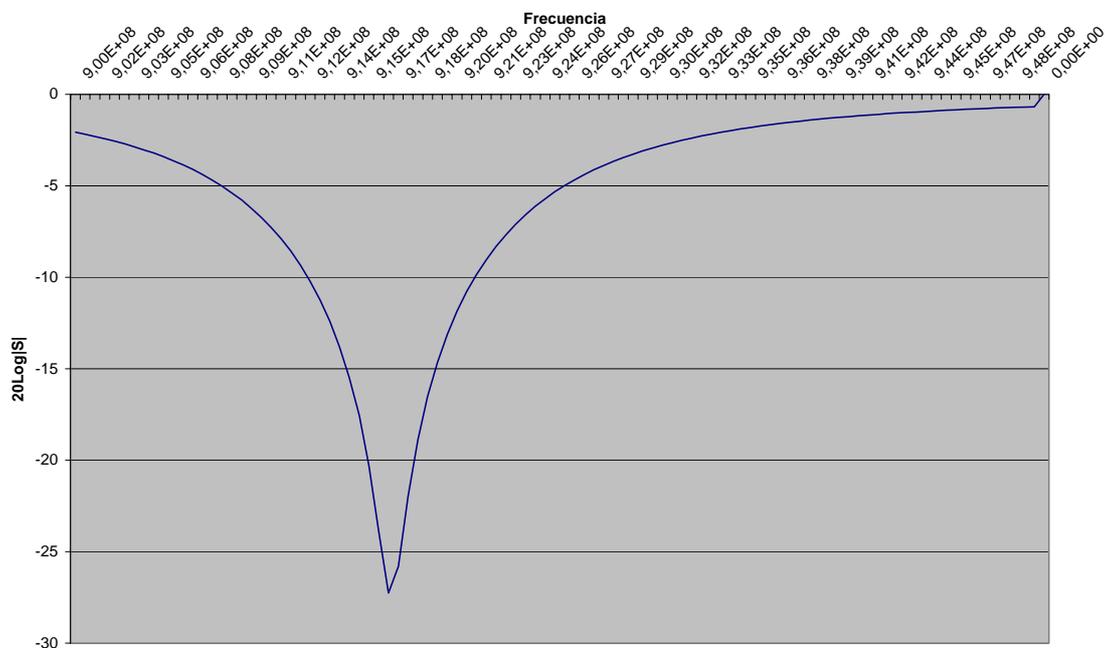


**Figura 5.4 CLL básico optimizado**

Las dimensiones de nuestra antena (figura 5.4) son Longitud 1 = 1,75cm, Longitud 2 = 4,9cm, Longitud 3 = 4cm, y la Longitud 4 = 1,8cm. Y hemos utilizado un ancho de pista de 2mm. El área total de nuestra antena =  $19,6\text{cm}^2$ , mejorando el diseño anterior. Tanto a nivel de dimensiones, como en ancho de banda, ya que en este diseño conseguimos un ancho de banda aproximado de unos 8,1MHz (figura 5.6). Es decir, un ancho de banda relativo de 0,88%. Consiguiendo un diagrama tendiendo a omnidireccional, que es el tipo de diagrama que nos interesa en nuestro caso (figura 5.5).



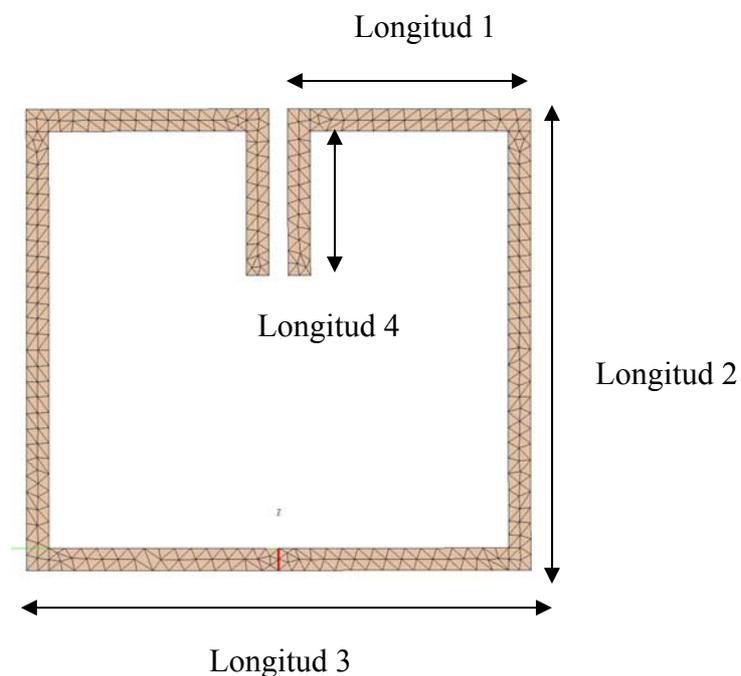
**Figura 5.5 Diagrama de radiación CLL básico optimizado**



**Figura 5.6 Representación 20Log|S| antena CLL básico optimizado**

Una vez que hemos evaluado la antena anterior, la siguiente fase de optimización de nuestras antenas CLL será hacer dos antenas, una con una forma cuadrada, y otra rectangular disminuyendo la Longitud 2 que podemos ver en la estructura anterior. Haciendo estos diseños podremos ver como conseguimos un diagrama de radiación omnidireccional, o direccional, pudiendo escoger el diseño más adecuado dependiendo la aplicación.

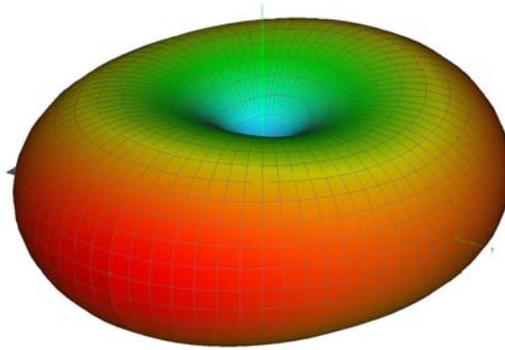
El CLL más cuadrado sería como el que vemos en la figura 5.7.



**Figura 5.7 CLL básico optimizado cuadrado**

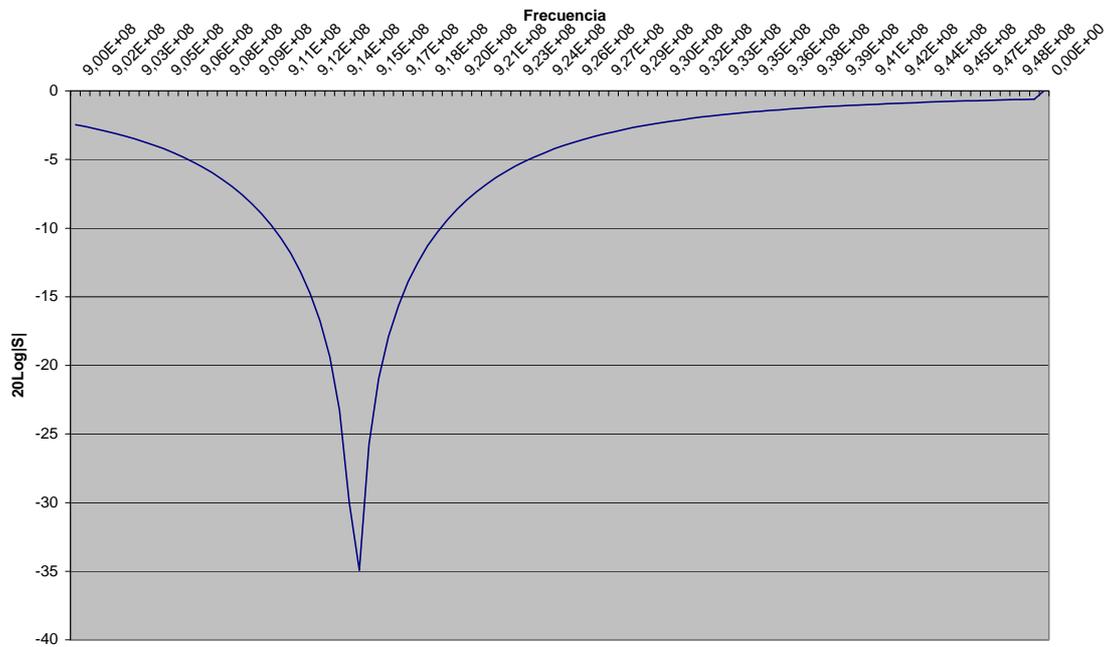
Las dimensiones serían (figura 5.7): Longitud 1 = 1,965cm, Longitud 2 = 4,15cm, Longitud 3 = 4,5cm, y la Longitud 4 = 1,3cm. Habiendo utilizado un ancho de pista de 2mm. Por lo tanto, el área total de nuestra antena =  $18,7\text{cm}^2$ , mejorando las dimensiones del diseño anterior.

La directividad máxima es 1,4 en lineal a la frecuencia de 915,152MHz. Y el diagrama de radiación que se obtiene es prácticamente omnidireccional (figura 5.8).



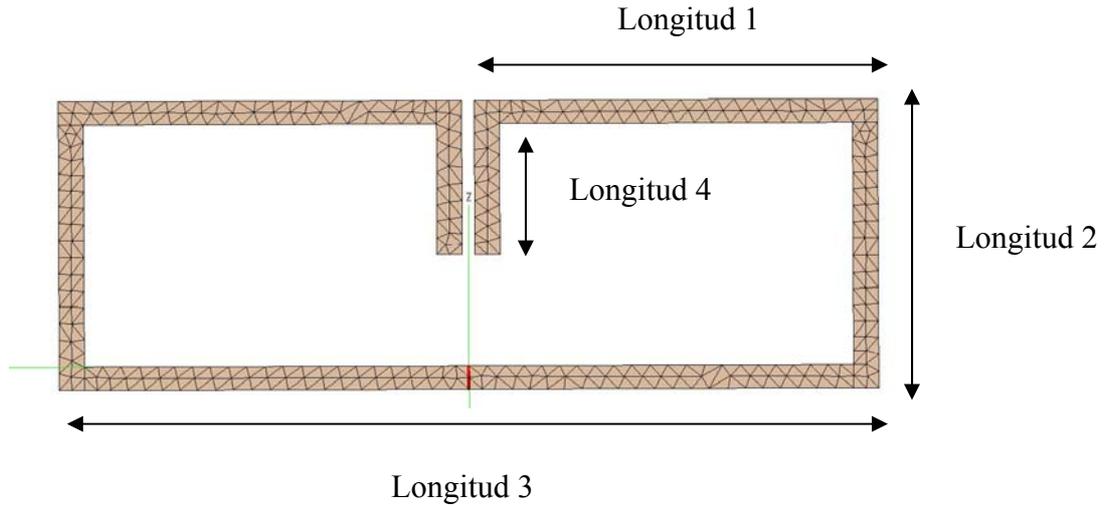
**Figura 5.8 Diagrama de radiación CLL básico optimizado cuadrado**

Con este diseño vemos que obtenemos un ancho de banda aproximado de unos 8,1MHz (figura 5.9). Es decir, un ancho de banda relativo de 0,88%.



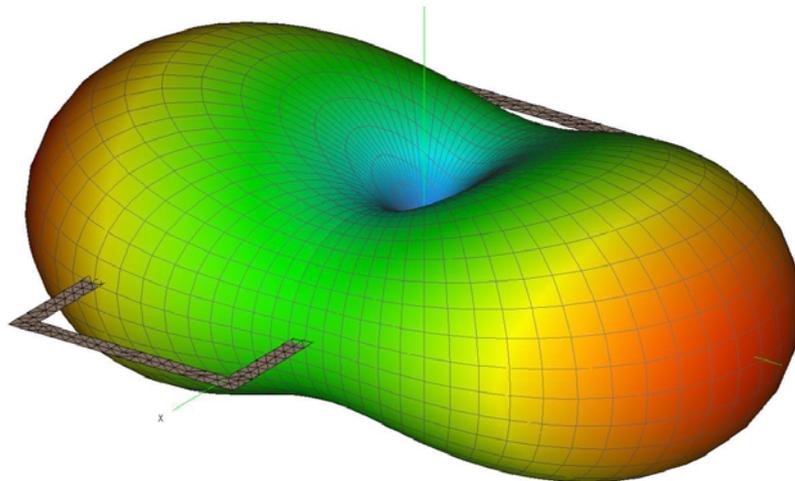
**Figura 5.9 Representación 20Log|S| antena CLL básico optimizado cuadrado**

El CLL más rectangular sería el que vemos en la figura 5.10.



**Figura 5.10 CLL básico optimizado rectangular**

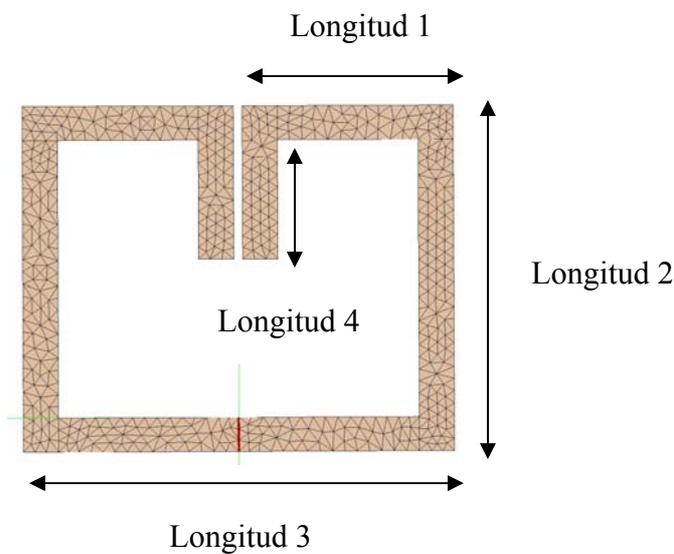
Las dimensiones de la figura 5.10 serían: Longitud 1 = 3,2cm, Longitud 2 = 2,45 cm, Longitud 3 = 6,1cm, y la Longitud 4 = 1,31cm. Habiendo utilizado un ancho de pista de 2mm. Y por lo tanto el área total de nuestra antena =  $14,95cm^2$ , mejorando el diseño anterior a éste, a nivel de dimensiones. Pero si vemos el diagrama de radiación (figura 5.11), podemos ver como para nuestro tipo de aplicación nos interesa más el diseño anterior, por ser más omnidireccional. Todo depende del tipo de aplicación donde se desee aplicar.



**Figura 5.11 Diagrama de radiación CLL básico optimizado rectangular**

Volvemos a obtener el mismo resultado en referencia al ancho de banda que en el diseño anterior, obteniendo un ancho de banda relativo de 0,88%. Es decir, un ancho de banda aproximado de unos 8,1MHz.

Si escogemos el diseño más cuadrado, por ser el que nos ofrece un diagrama de radiación más omnidireccional, podemos mirar de optimizar el ancho de banda que conseguimos aumentando el ancho de pista, de 2mm a 4mm (figura 5.12).

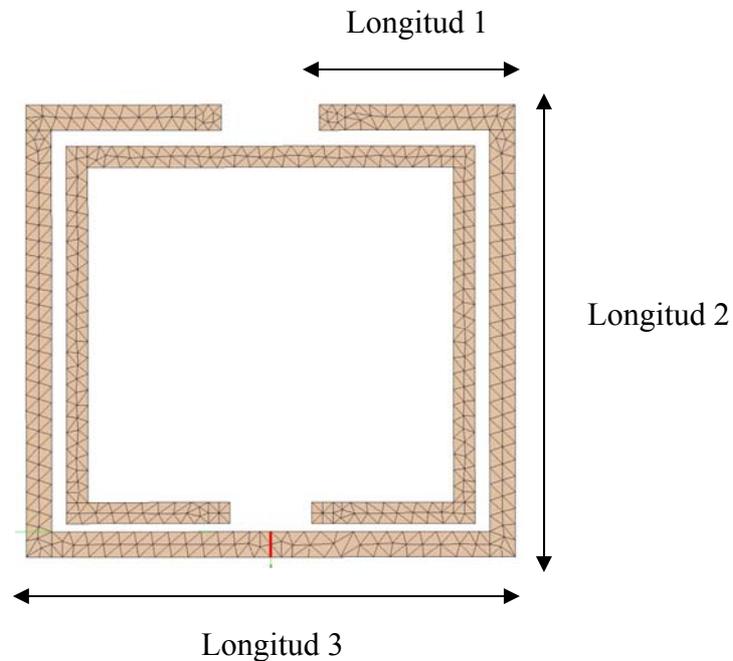


**Figura 5.12 CLL básico optimizado cuadrado utilizando una pista de 4mm**

Las dimensiones de la figura 5.12 son: Longitud 1 = 2,4cm, Longitud 2 = 4,05cm, Longitud 3 = 4,9cm, y la Longitud 4 = 1,4cm. Y habiendo usado un ancho de pista de 4mm. En este caso, el área total de nuestra antena =  $19,85cm^2$ , Y conseguimos un ancho de banda aproximado de unos 8,6MHz. Es decir, un ancho de banda relativo de 0,93%. Por lo tanto en este caso escogeríamos el modelo de CLL simétrico más cuadrado de pista de 2mm, ya que hemos aumentado muy poco el ancho de banda resultante en detrimento del tamaño de nuestra antena.

### 5.3 Antenas SRR

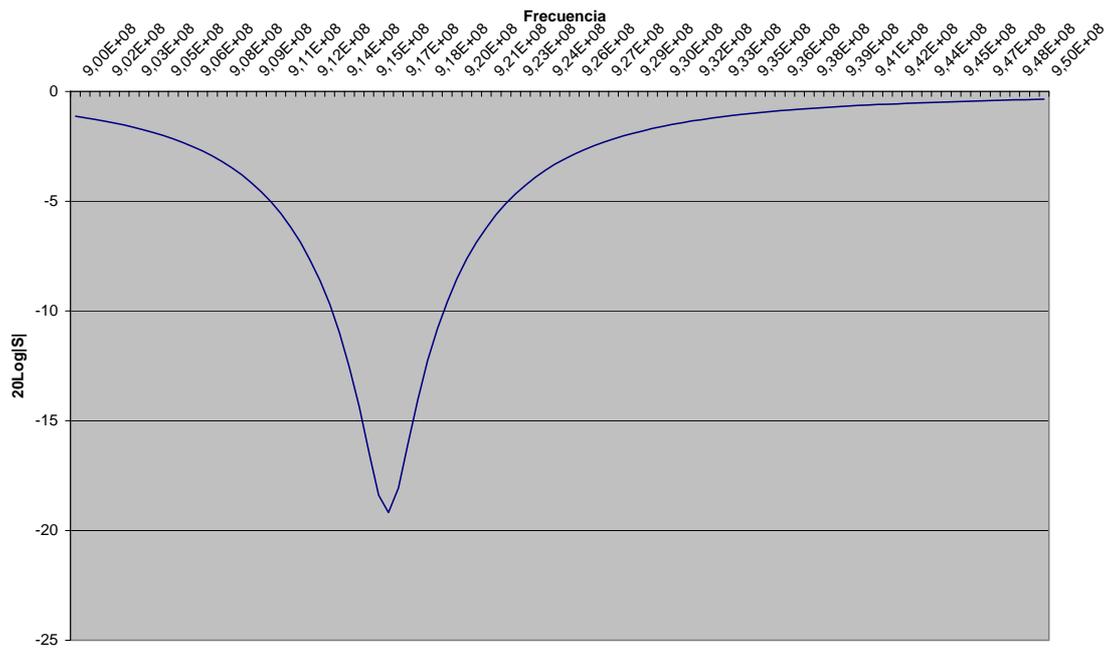
El hecho de haber querido escoger este tipo de estructura es debido a que nos ofrece una capacidad de miniaturización [38] bastante importante respecto la antena CLL. La antena SRR diseñada tiene la estructura de la figura 5.13



**Figura 5.13 Dimensiones antena SRR**

Las dimensiones de la figura 5.13 son: Longitud 1 = 1,55cm, Longitud 2 = 4,15cm, y la Longitud 3 = 4,5cm. Y utilizando un ancho de pista de 2mm. A estas medidas se le debe aplicar un factor de escala de 0,93. Por lo tanto, el área de nuestra antena será  $(4,15 \cdot 0,93) \cdot (4,5 \cdot 0,93) = 16,15 \text{ cm}^2$ .

Podemos ver en la figura 5.14 que se cumple  $20 \log |S| < -10 \text{ dB}$  a partir de la frecuencia 913,64MHz hasta la frecuencia 918,69MHz. Con nuestro diseño de SRR tenemos un ancho de banda aproximado de unos 5,05MHz. Es decir, un ancho de banda relativo de 0,55%.



**Figura 5.14 Representación 20Log|S| antena SRR en espacio libre**

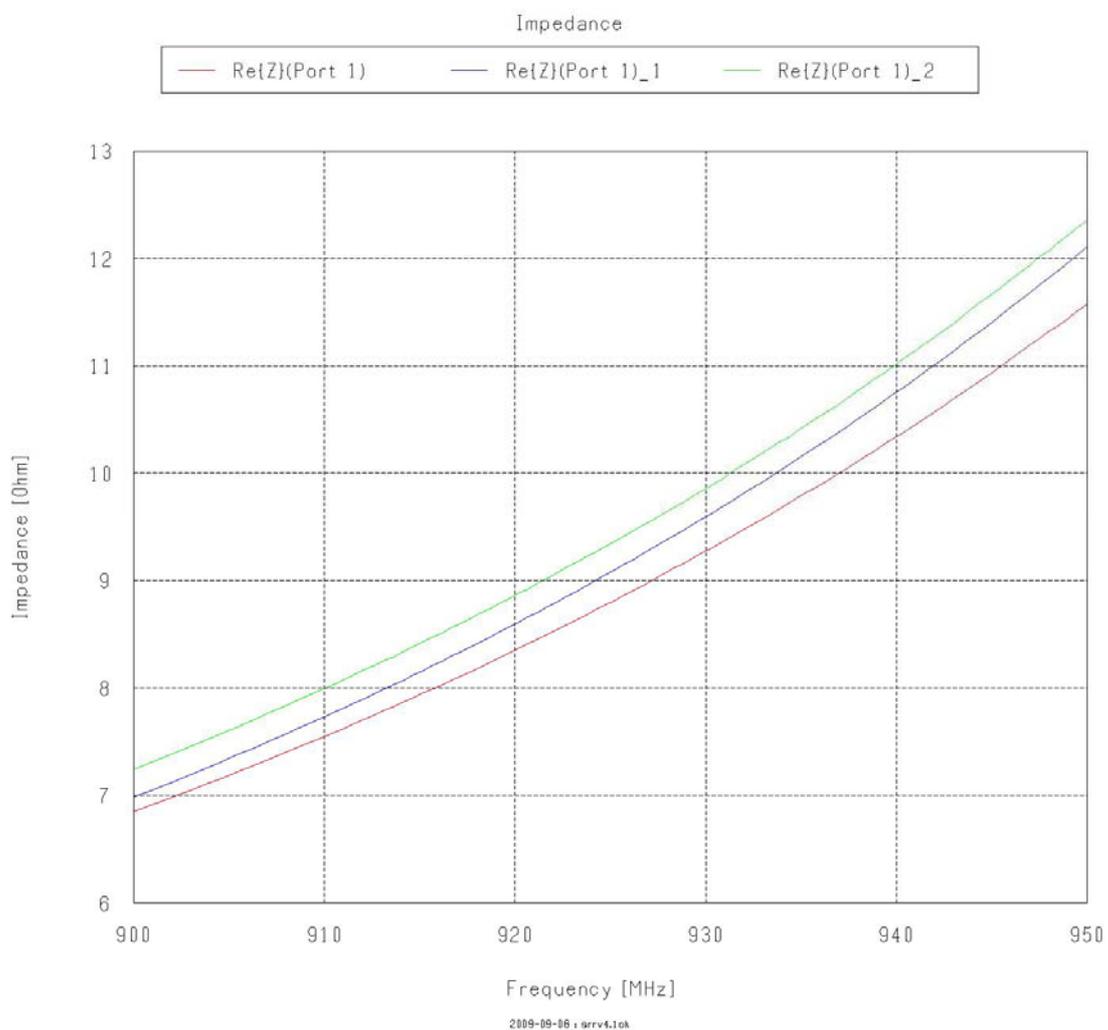
Si comparamos el CLL simétrico cuadrado, y nuestro SRR, podemos indicar que hemos pasado de tener un diseño con un área de  $18,7\text{cm}^2$  a tener un área de  $16,15\text{cm}^2$ . Pero esta reducción, tiene un inconveniente, reducimos el área, pero también el ancho de banda. En este caso hemos pasado de tener un ancho de banda aproximado de unos 8,1MHz. Es decir, un ancho de banda relativo de 0,88%, a tener un ancho de banda de unos 5,05MHz. Es decir, un ancho de banda relativo de 0,55%. A su vez, el ancho de pista utilizado si aplicamos el factor de escala, 0,93, nos quedaría en 1,86mm.

Para realizar físicamente seleccionaremos la antena SRR frente a la CLL debido a que buscamos optimizar en esta parte del proyecto sobretodo las dimensiones de las antenas.

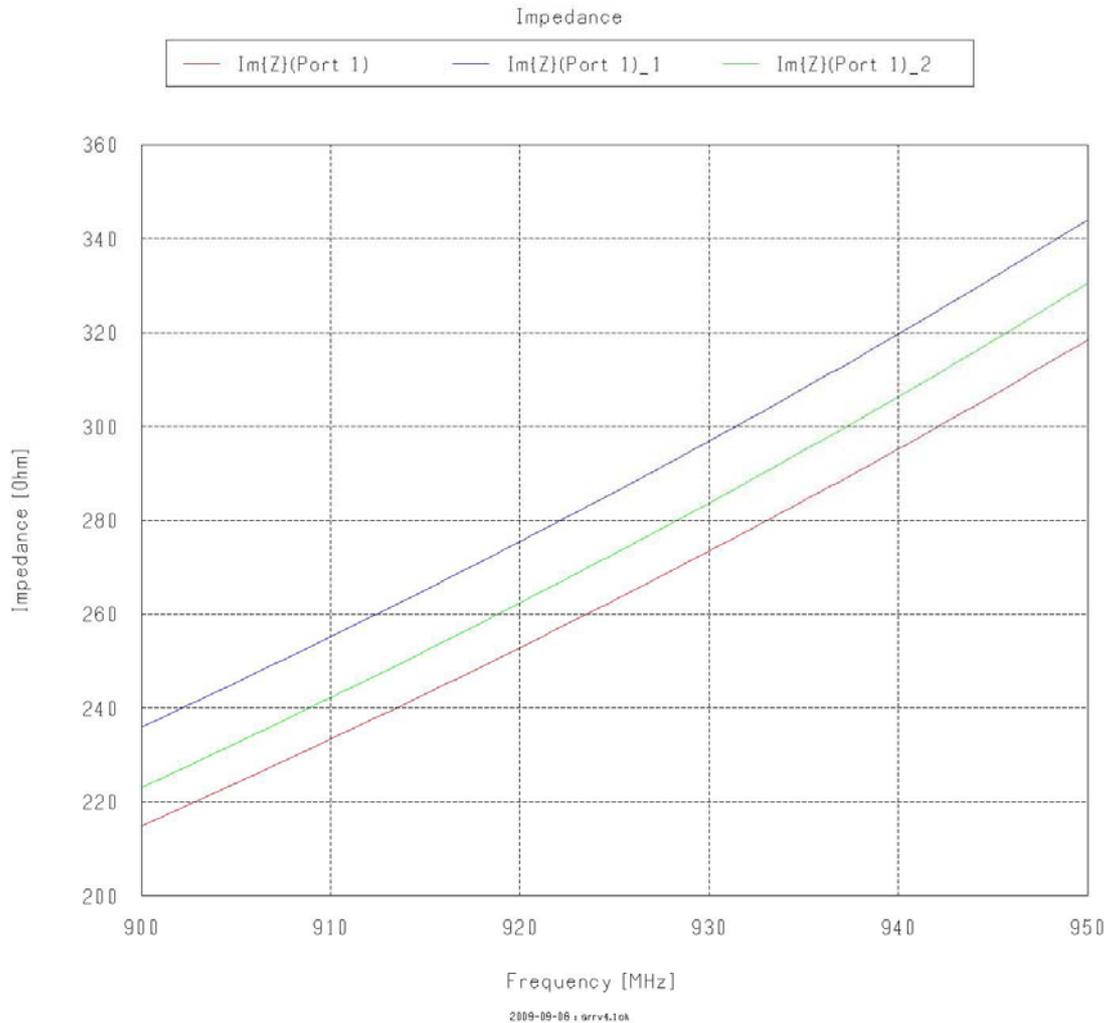
La antena SRR está formada por dos anillos metálicos concéntricos con unas aberturas en posiciones opuestas una respecto la otra. Los conductores introducirán un comportamiento inductivo, que combinado con la distancia entre ellos generarán una capacidad, lo que nos permite ajustar la impedancia de entrada de nuestra antena.

Del diseño de la figura 5.13 podemos estudiar el efecto que tiene hacer un desplazamiento del anillo interior hacia la fuente, y en sentido contrario.

En la figura 5.15 podemos ver la parte real de la impedancia, y en la figura 5.16 vemos la parte imaginaria de la impedancia de la antena SRR. Los resultados obtenidos en color rojo hacen referencia a los resultados obtenidos del diseño de la figura 5.13. En color azul, si realizamos un desplazamiento de  $+0.0005\text{m}$  del anillo interior hacia la fuente de alimentación. Y en verde, si colocamos el anillo interior a una distancia de  $-0.0005\text{m}$  respecto la posición inicial, es decir, alejándonos de la fuente de alimentación.



**Figura 5.15 Parte real de la impedancia de la antena SRR. En rojo, el anillo interior sin desplazamiento, en azul con un desplazamiento hacia la fuente  $+0.0005\text{m}$ , y en verde con un desplazamiento de  $-0.0005\text{m}$**



**Figura 5.16 Parte imaginaria de la impedancia de la antena SRR. En rojo, el anillo interior sin desplazamiento, en azul con un desplazamiento hacia la fuente +0.0005m, y en verde con un desplazamiento de -0.0005m**

Si desplazamos la segunda estructura, es decir el anillo interior, 0,0005m hacia la fuente de alimentación, vemos como pasamos de una impedancia de entrada a la frecuencia de 915,152MHz de  $7,95+j243,22 \Omega$ , a  $8,16+265,40 \Omega$ . Y si volvemos a la posición inicial, y hacemos el mismo desplazamiento pero en sentido contrario, obtenemos  $8,43+252,39 \Omega$ . Si volvemos a desplazar la segunda estructura en el mismo sentido la misma distancia, obtenemos  $9,65+291,36 \Omega$ .

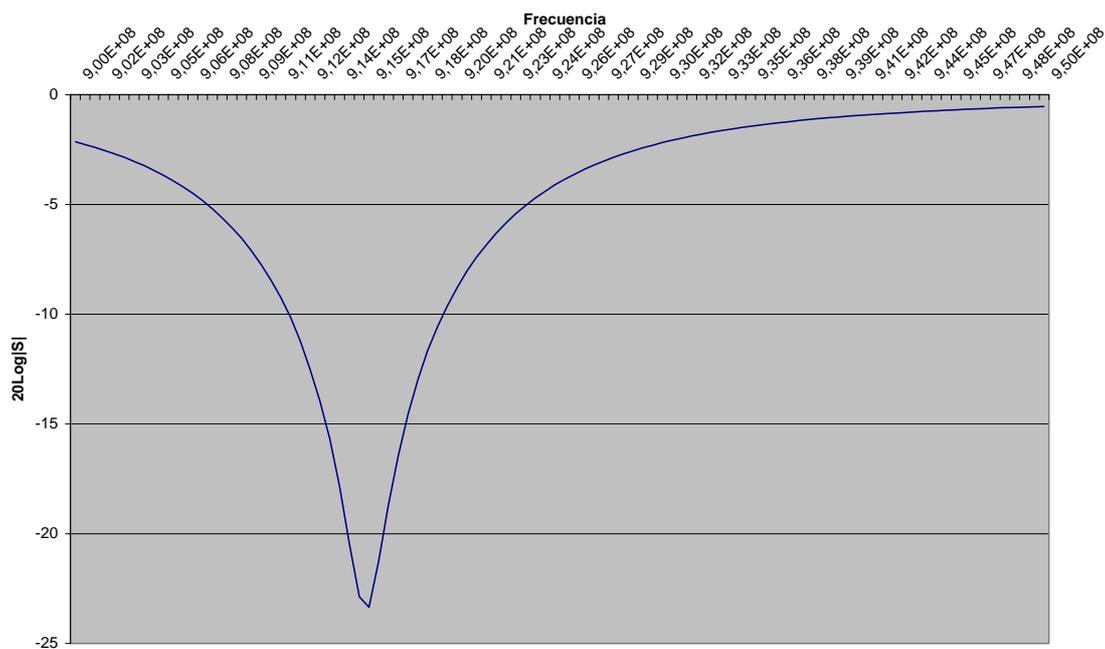
En ambos desplazamientos incrementamos los valores de la impedancia que obtenemos con la antena de la figura 5.13.

Podemos ver en la figura 5.15, y 5.16 que si nos alejamos de la fuente de alimentación aumentamos más la parte real que la parte imaginaria, y viceversa, es decir, si nos acercamos a la fuente de alimentación con la estructura interna obtenemos una variación más grande en la parte imaginaria de la impedancia que en la parte real.

Por otro lado, partiendo de la posición original, si desplazamos 0.0005m la segunda estructura hacia la izquierda obtenemos  $8,14+252,25 \Omega$ . Si hacemos el mismo desplazamiento pero hacia la derecha obtenemos  $8,14+252,28 \Omega$ , Vemos que el efecto es prácticamente el mismo.

El siguiente paso ha sido evaluar esta antena en un plano infinito de sustrato FR4. Los primeros resultados obtenidos han sido como era de esperar negativos desde el punto de vista de adaptación. Al introducir el sustrato nos ha variado la impedancia de entrada.

Una de las características de introducir el sustrato es que nos permite miniaturizar nuestra estructura y por consiguiente, hemos tenido que reducir nuestra estructura para poder conseguir una buena adaptación. Concretamente hemos tenido que aplicar un factor 0.694 a nuestra medida inicial. Podemos ver los resultados obtenidos en la figura 5.17.



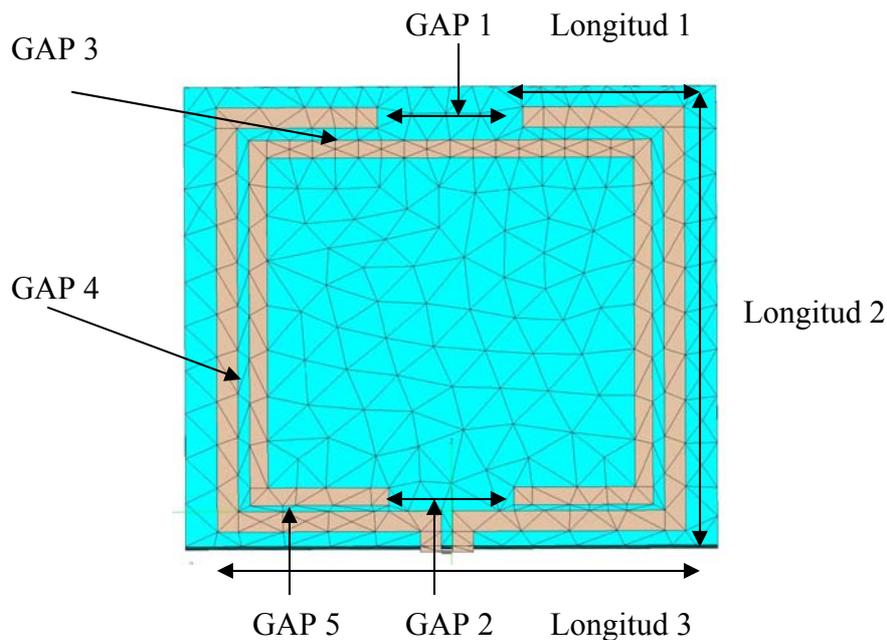
**Figura 5.17 Representación  $20\text{Log}|S|$  antena SRR en un plano dieléctrico infinito**

En este caso, podemos ver en la gráfica anterior que se cumple  $20 \log|S| < -10dB$  a partir de la frecuencia 911,11MHz hasta la frecuencia 918,69MHz. Es decir, tenemos un ancho de banda aproximado de unos 7,58MHz. Y habiendo aplicado el factor de escala comentado antes, el área de nuestra antena será  $(4,15*0,93*0,694)*(4,5*0,93*0,694) = 7,78cm^2$

Podemos observar que el uso del plano infinito simulando el sustrato FR4, nos ha proporcionado un aumento en el ancho de banda. Hemos pasado de 5,05MHz a 7,58MHz. Pero sobretodo hemos ganado a nivel de miniaturización. Hemos pasado de tener una antena en espacio libre de  $16,15cm^2$  a tener utilizando el plano infinito FR4 un tamaño de  $7,78cm^2$ .

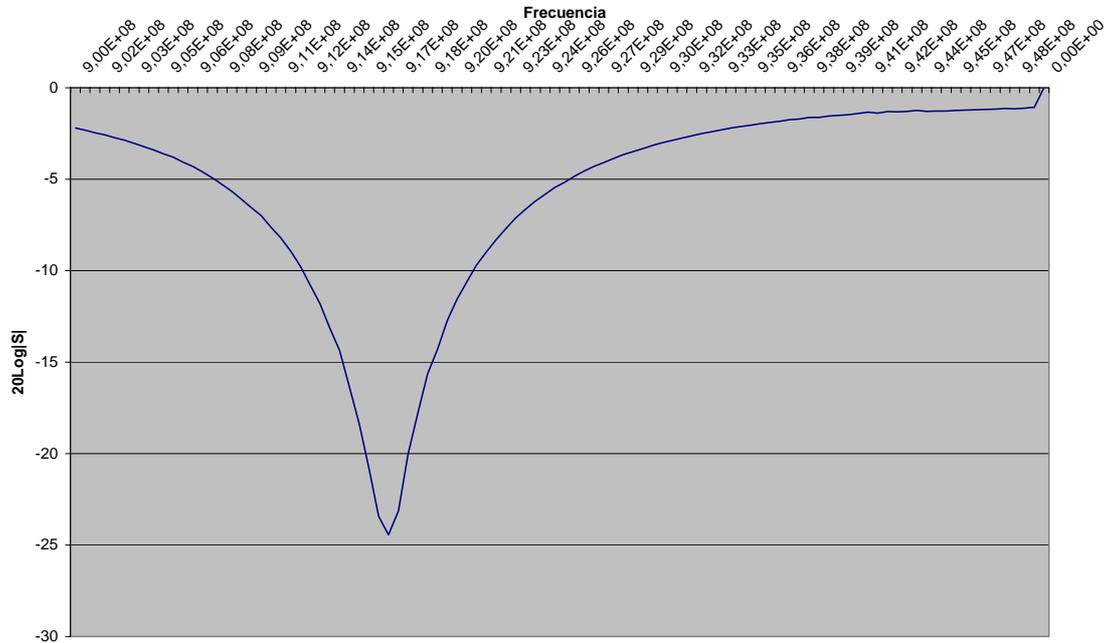
Una vez que tenemos ajustado nuestro diseño en un plano infinito, pasamos a la última fase de diseño, realizando el mismo diseño pero en sustrato finito, y teniendo que hacer una pequeña modificación en la estructura que nos variará ligeramente nuestro último diseño. Esta modificación es debido a que tenemos que alimentar nuestra antena de alguna manera, y tendremos que colocar un conector para su posterior medida.

El diseño en sustrato finito puede verse en la figura 5.18.



**Figura 5.18 Antena SRR en sustrato finito FR4**

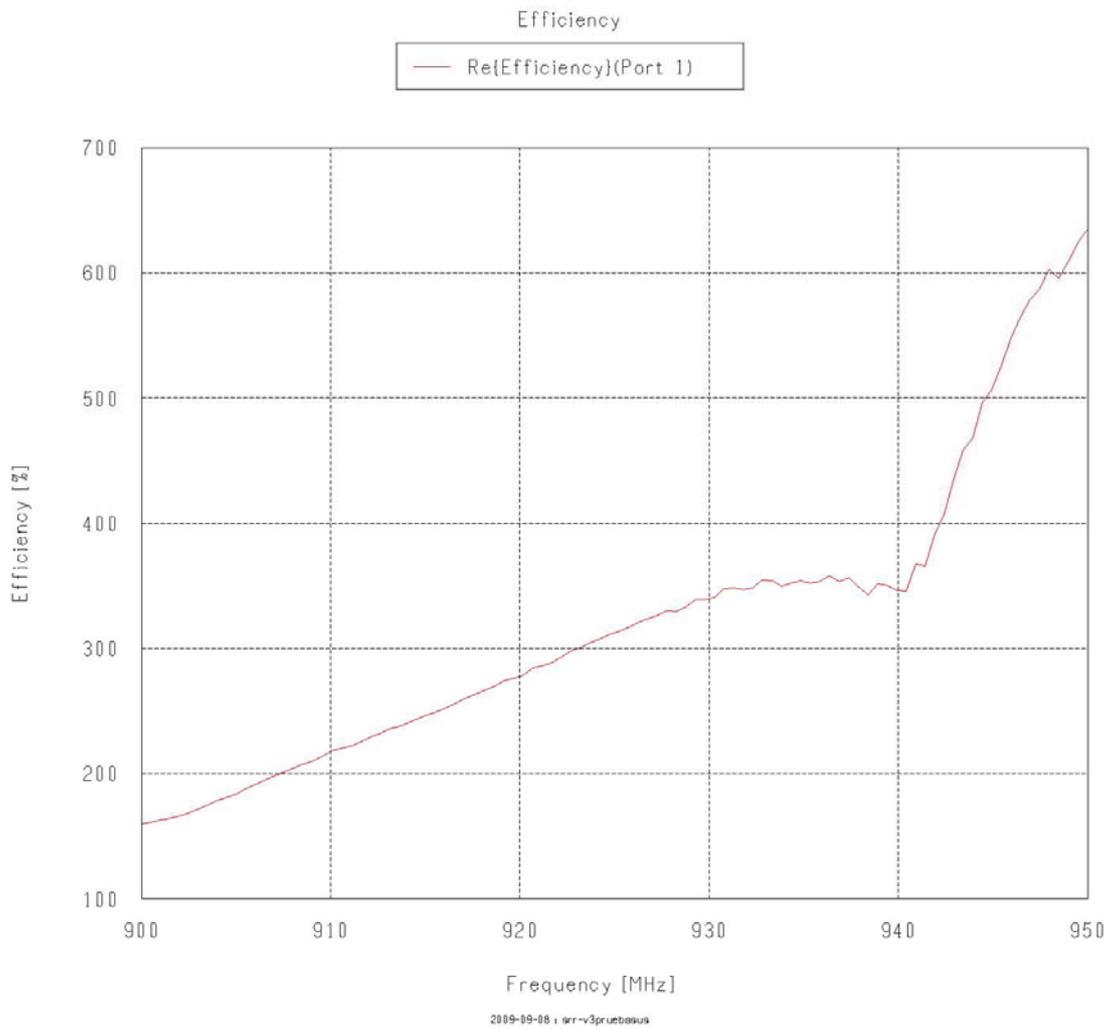
De esta manera en la figura 5.18 vemos donde conectaremos el conector una vez esté realizada físicamente. El ancho de banda obtenido ha sido aproximadamente unos 8,08MHz (figura 5.19).



**Figura 5.19 Representación 20Log|S| antena SRR en sustrato finito FR4**

Una vez aplicados diversos factores de escala, para poder ajustar correctamente el valor de impedancia de entrada de nuestra antena, y obtenemos que las dimensiones de la antena SRR son: Longitud 1 = 1,005cm, Longitud 2 = 2,54cm, y la Longitud 3 = 2,91cm. El ancho de pista utilizado en el anillo exterior ha sido de 1,29mm. Y en el anillo interior de 1,11mm. El GAP utilizado donde conectaremos el conector mide 0,71mm. El GAP 1 = 0,90cm, el GAP 2 = 0,77cm, el GAP 3 = 0,78mm, el GAP 4 = 0,74mm, y el GAP 5 = 0,37mm. Habiendo utilizado un área de sustrato de  $9,738\text{cm}^2$ .

La eficiencia obtenida es aproximadamente de 250% (figura 5.20). No tiene sentido que la eficiencia sea superior del 100%, esto es debido probablemente a que al hacer la simulación el mallado utilizado no es el adecuado. No he tenido tiempo de acabar de analizar este tipo de respuesta, y es algo a evaluar en las líneas futuras.



**Figura 5.20 Eficiencia antena SRR en sustrato finito FR4**

Finalmente, podemos concluir este capítulo indicando que con este diseño hemos podido estudiar diversos aspectos como son:

- El diseño de una antena SRR.
- Comprobar el efecto de miniaturización respecto las antenas simuladas CLL.
- La manera de adaptar un chip RFID en una antena SRR.

# 6. Fabricación y medidas de las antenas

## 6.1 Proceso de la fabricación de las antenas

El proceso de fabricación ha sido el mismo en las cinco antenas fabricadas, a continuación indicaremos los pasos que se han realizado para hacer cada diseño.

### 6.1.1 Transferencia del diseño en CADFEKO a AutoCAD

Una vez que hemos realizado el diseño a través del CADFEKO en sustrato finito, debemos exportar nuestro diseño para poder posteriormente abrirlo en AutoCAD. En este proceso se ha utilizado el programa de diseño gráfico AutoCAD 2006.

El primer paso es exportar nuestro diseño de CADFEKO a un fichero de formato "Parasolid". Seleccionamos File→Export→Geometry→Parasolid(General, 15). Una vez que hemos exportado nuestro fichero, utilizaremos el programa GID, para exportar nuestro diseño "Parasolid" en un formato "DXF", y así poderlo abrir en AutoCAD.

### 6.1.2 Transferencia del diseño en AutoCAD a la fresadora

Una vez que hemos exportado nuestro diseño en formato "DXF", ya podemos abrirlo en Autocad. Se comprueban que las medidas obtenidas en la conversión sean las mismas que las diseñadas en CADFEKO, y una vez que se ha comprobado que todo es correcto ya podemos realizar físicamente nuestro diseño, enviando nuestro diseño de AutoCAD a la fresadora. La fresadora utilizada es el modelo LPKF S62 (figura 6.1) [45].



**Figura 6.1 Fresadora LPKF S62 [45]**

### **6.1.3 Ataque del cobre**

Teniendo el diseño realizado por la fresadora, el siguiente paso será cubrir nuestra antena con cinta adhesiva para poder tratar el resto de la placa, y eliminar el cobre restante.

La solución atacante está compuesta por dos partes de agua oxigenada y una parte de sulfamán. Se sumerge la placa en la solución hasta que el cobre no protegido por la cinta adhesiva se ha disuelto.

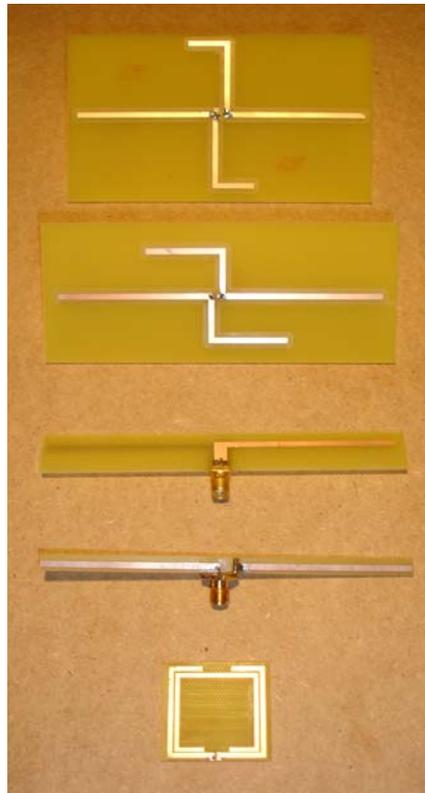
La manipulación de estos componentes químicos debe realizarse según las normas del laboratorio ya que podría resultar peligrosa una imprudente manipulación.

### **6.1.4 Soldadura de componentes**

El último paso sería el de soldar los conectores para poder realizar la medida con el analizador.

## 6.2 Diseños realizados en sustrato FR4

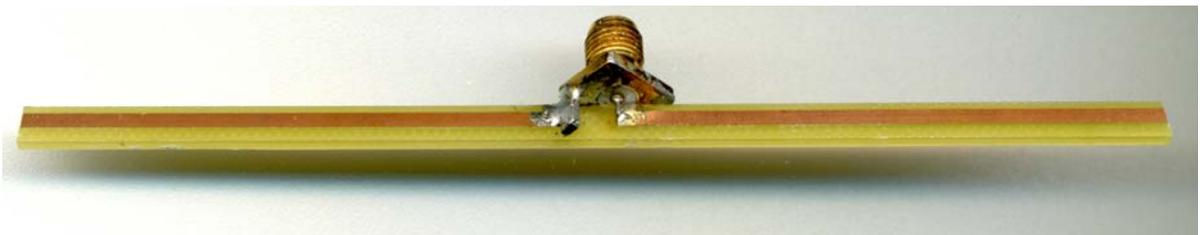
A continuación presentaremos los diferentes diseños realizados en FR4. Podemos ver las cinco antenas fabricadas en la figura 6.2.



**Figura 6.2 Antenas fabricadas en FR4**

### 6.2.1 Dipolo básico monocapa

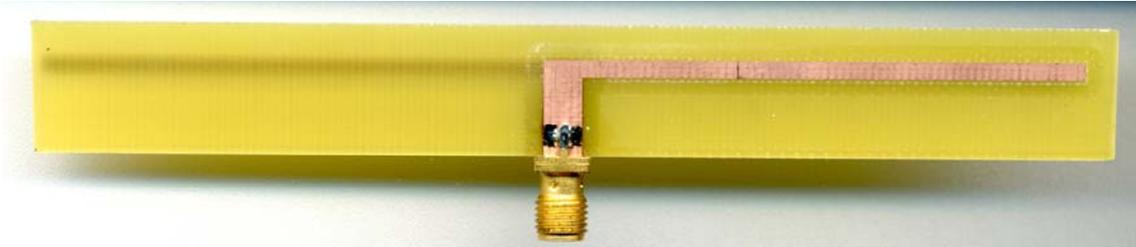
El primer diseño realizado es el dipolo básico en una sola capa (figura 6.3).



**Figura 6.3 Antena dipolo monocapa en sustrato FR4**

### 6.2.2 Dipolo básico bicapa

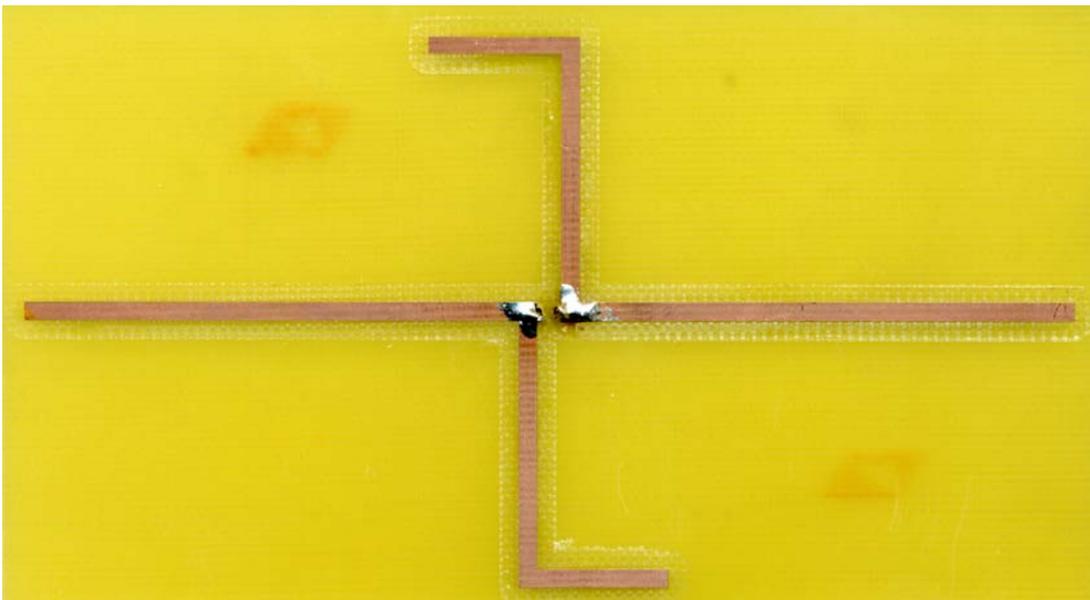
Esta antena es el dipolo básico pero realizado en dos capas (figura 6.4).



**Figura 6.4 Antena dipolo bicapa en sustrato FR4**

### 6.2.3 Quasi-Log monocapa

La antena Quasi-Log se puede ver en la figura 6.5.



**Figura 6.5 Antena Quasi-Log monocapa en sustrato FR4**

Para soldar el conector en este diseño se ha procedido a taladrar la placa, para colocar el conector por la parte inferior.

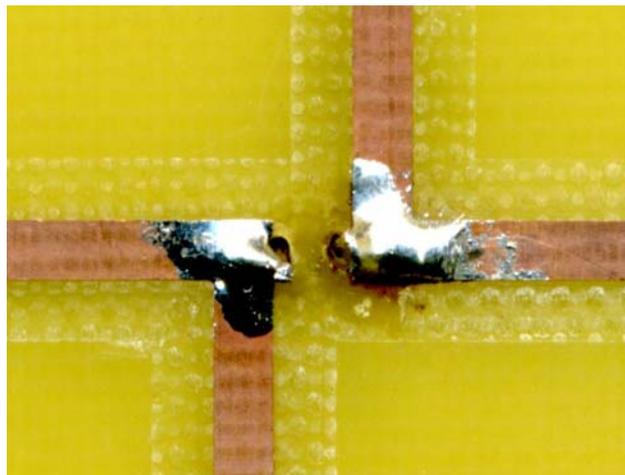
Podemos ver como se ha soldado el conector en las figuras 6.6, y 6.7.

En la figura 6.6 podemos ver la parte inferior de la placa:



**Figura 6.6 Conector soldado en la parte trasera de la antena Quasi-Log**

Y en la figura 6.7 la parte superior de la placa:

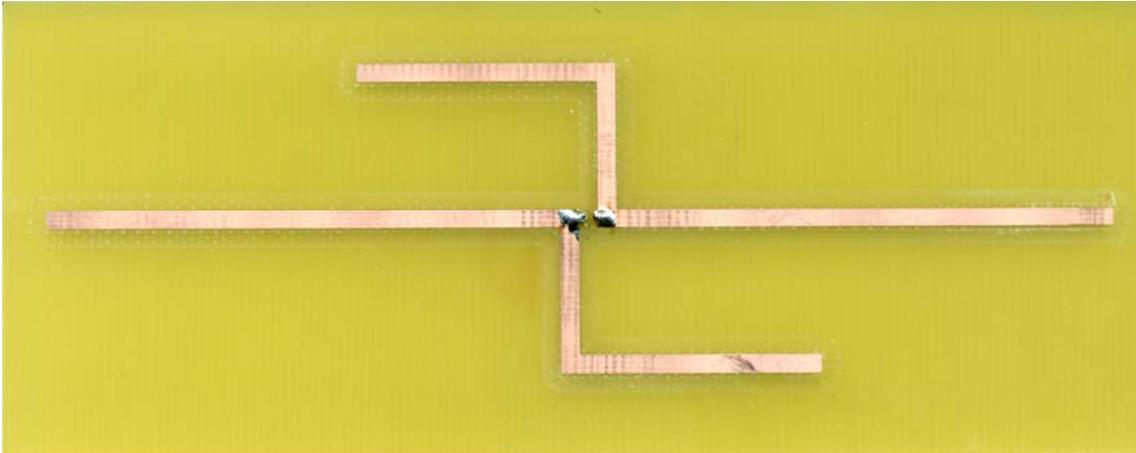


**Figura 6.7 Conector soldado en la parte frontal de la antena Quasi-Log**

En la antena Quasi-Log optimizada, la soldadura del conector ha sido como la mostrada en las dos figuras anteriores, la figura 6.6, y la figura 6.7.

### 6.2.4 Quasi-Log Optimizada monocapa

La antena Quasi-Log mejorada se puede ver en la figura 6.8.

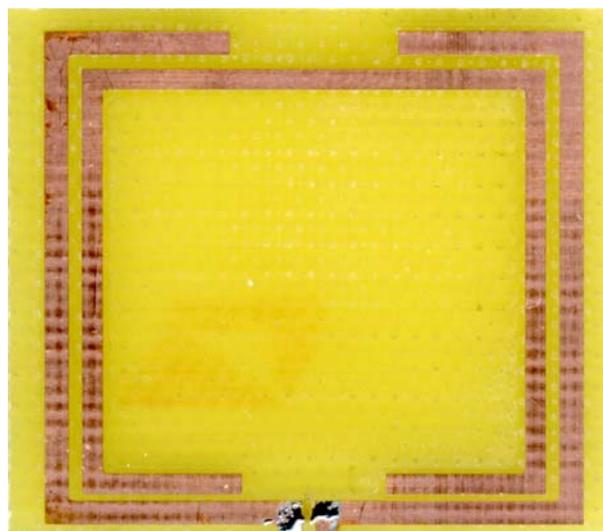


**Figura 6.8 Antena Quasi-Log optimizada monocapa en sustrato FR4**

Tal como se ha comentado el conector se ha soldado como en la antena Quasi-log, figura 6.6, y figura 6.7.

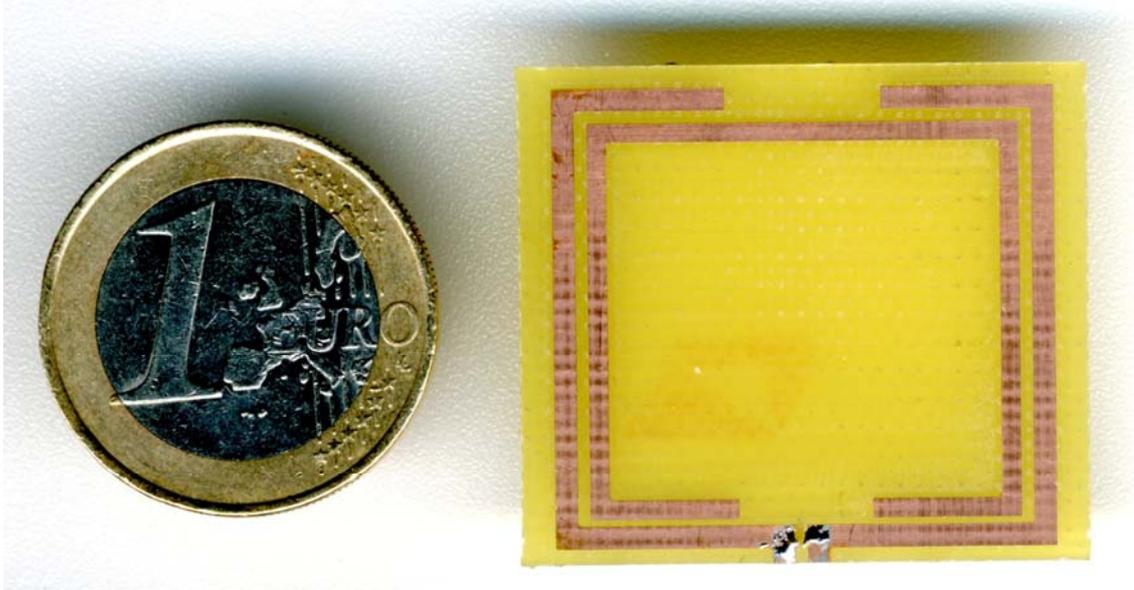
### 6.2.5 SRR

En la figura 6.9 se puede ver la antena de tipo SRR en FR4.



**Figura 6.9 Antena SRR en sustrato FR4**

Aunque ya hemos visto las medidas de nuestras antenas en capítulos anteriores, esta es la más pequeña realizada en este proyecto, nos podemos hacer una idea más visual de su tamaño según la figura 6.10.

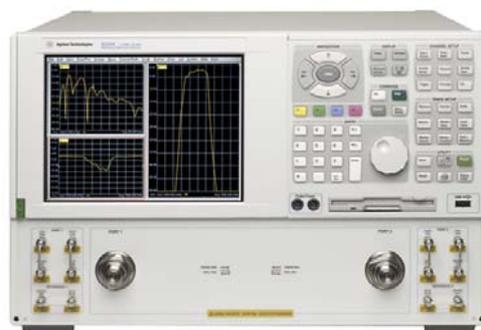


**Figura 6.10 Antena SRR comparada con el tamaño de un euro.**

### **6.3 Comparativa resultados simulación-medida**

#### **6.3.1 Introducción**

Hemos utilizado uno o dos conectores SMA para realizar las medidas de nuestras antenas. Y el analizador de redes utilizado es el modelo N5230A de Agilent Technologies (figura 6.11) [46].



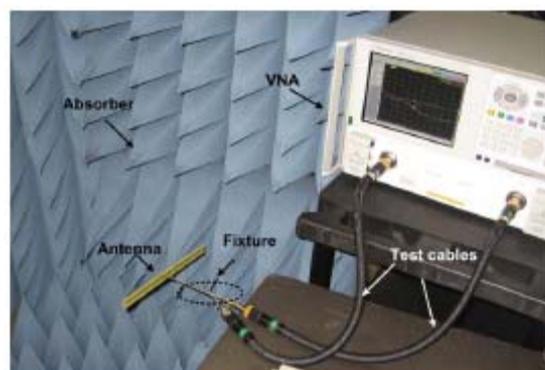
**Figura 6.11 Analizador de redes N5230A de Agilent Technologies [46]**

Las gráficas han sido realizadas con Matlab, procesando los datos obtenidos con el analizador. Se han realizado dos tipos de medidas, en donde podremos ver la importancia de tener balanceo de corrientes. En las primeras se ha utilizado un conector (medidas single-ended), y las segundas se han usado dos conectores (medidas diferenciales).

Al no utilizar balun (balanced-unbalanced lines transformer) [39] en las medidas single-ended podremos observar cómo las fugas de corriente que aparecen nos variarán de forma significativa la impedancia de entrada de nuestros diseños, y en consecuencia, la respuesta de nuestros diseños, tal y como se indica en [41].

En [34] se indica que el uso de dos capas en los dipolos, nos proporciona balanceo de la corriente, sin embargo podremos ver que no se produce una simetrización completa de corrientes aunque quizás el efecto es menor que en el caso de tener solo una capa.

Este problema que encontraremos al no utilizar balun se puede mejorar realizando la medida con dos conectores (medidas diferenciales), tal y como se indica en la figura 6.12 [40].



**Figura 6.12 Medidas diferenciales [40]**

En caso de las medidas diferenciales podremos ver que realmente el resultado es muy similar al simulado, aunque desplazado ligeramente en frecuencia debido a la incertidumbre en la permitividad del sustrato.

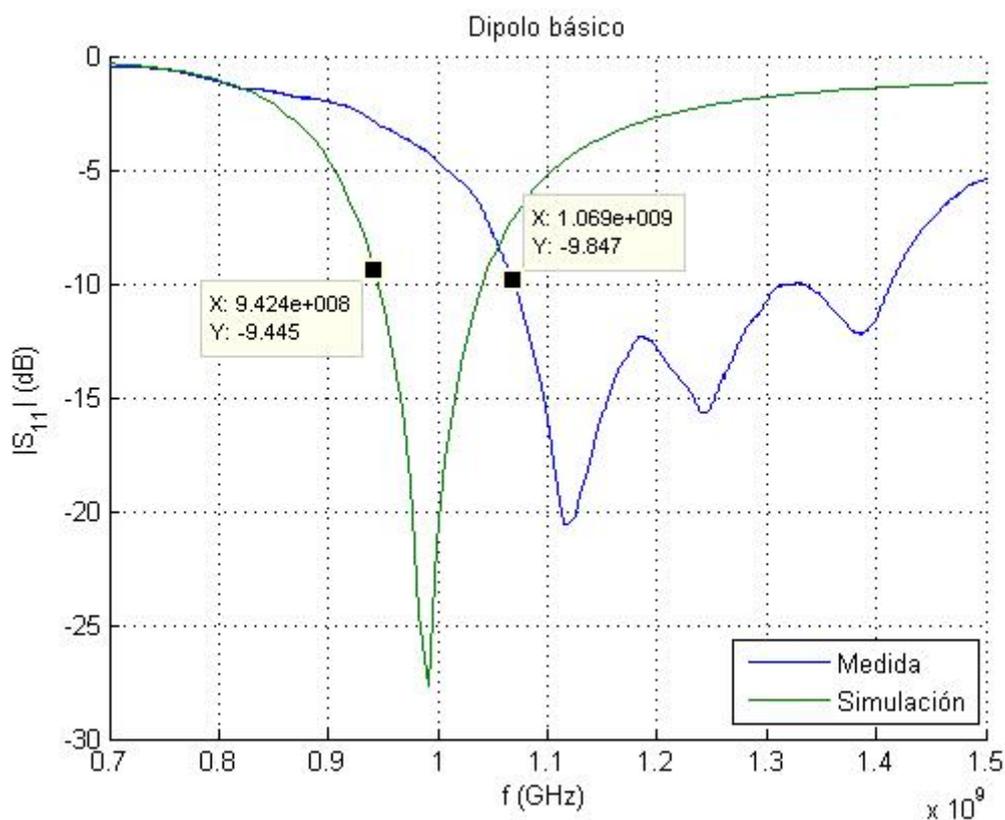
## 6.3.2 Medidas single-ended

### 6.3.2.1 Dipolo monocapa

Antes de hacer cualquier medida se debe calibrar el analizador a  $50 \Omega$ .

En las primeras medidas en lugar de incorporar un conector a la antena utilizamos un cable que se conectaba al analizador por un extremo, y por el otro estaba soldado a la antena. Pero vimos que nos introducía un rizado en los resultados y se desestimó hacer las medidas de esta forma optando por hacer la medición de la antena utilizando un conector SMA.

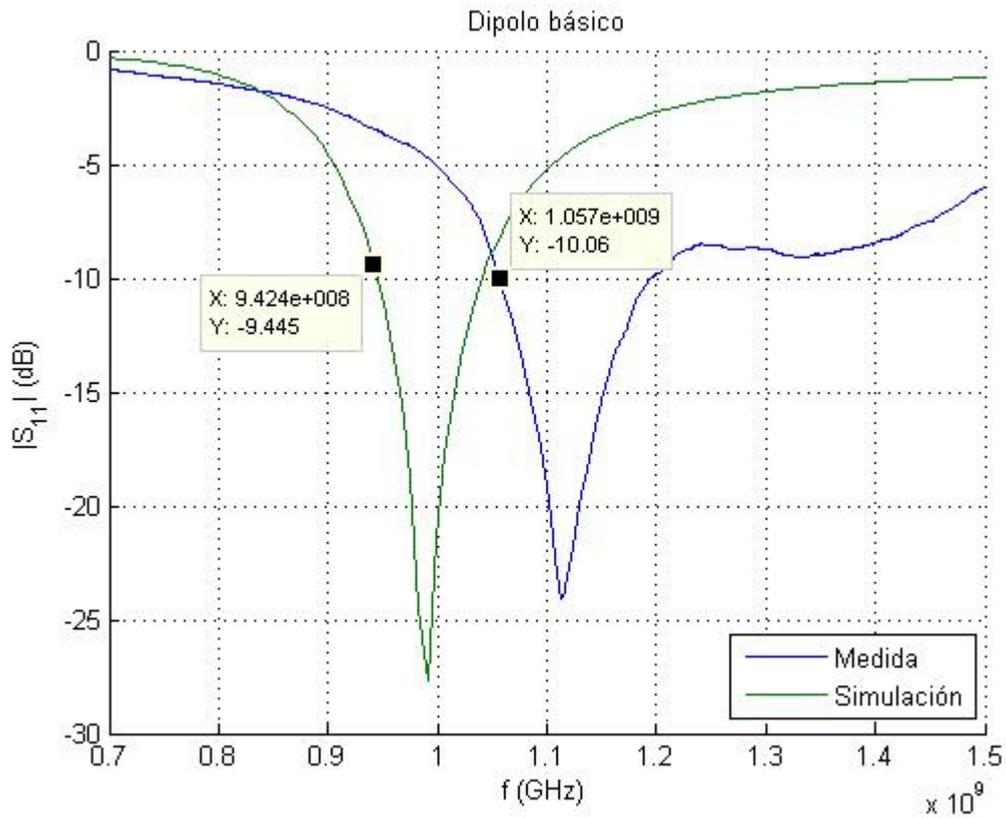
El resultado obtenido en la simulación en sustrato finito a nivel de ancho de banda entorno los  $-10\text{dB}$ 's ha sido aproximadamente de  $95\text{MHz}$ . En la figura 6.13 vemos el resultado de la simulación, y el medido.



**Figura 6.13 Comparativa  $|S_{11}|$  de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena dipolo monocapa**

A nivel de ancho de banda, podemos ver que nuestra antena dipolo monocapa, ha desplazado su respuesta a frecuencias superiores, esto es debido al tipo de sustrato utilizado, en nuestro caso FR4. Este sustrato, es un sustrato bastante económico, y su permitividad no está muy controlada en especial a altas frecuencias.

La medida ha salido bastante diferente a lo esperado, el ancho de banda conseguido, es aproximadamente de 345MHz frente a los 95MHz de la simulación, este efecto nos lo produce no haber utilizado balun. Este resultado no es fiable, ya que como vemos en la figura 6.14 si tocamos el cable que conecta la antena con el analizador mientras hacemos la medida la respuesta se nos modifica y por tanto vemos como tenemos un problema de fugas de corriente por el cable.



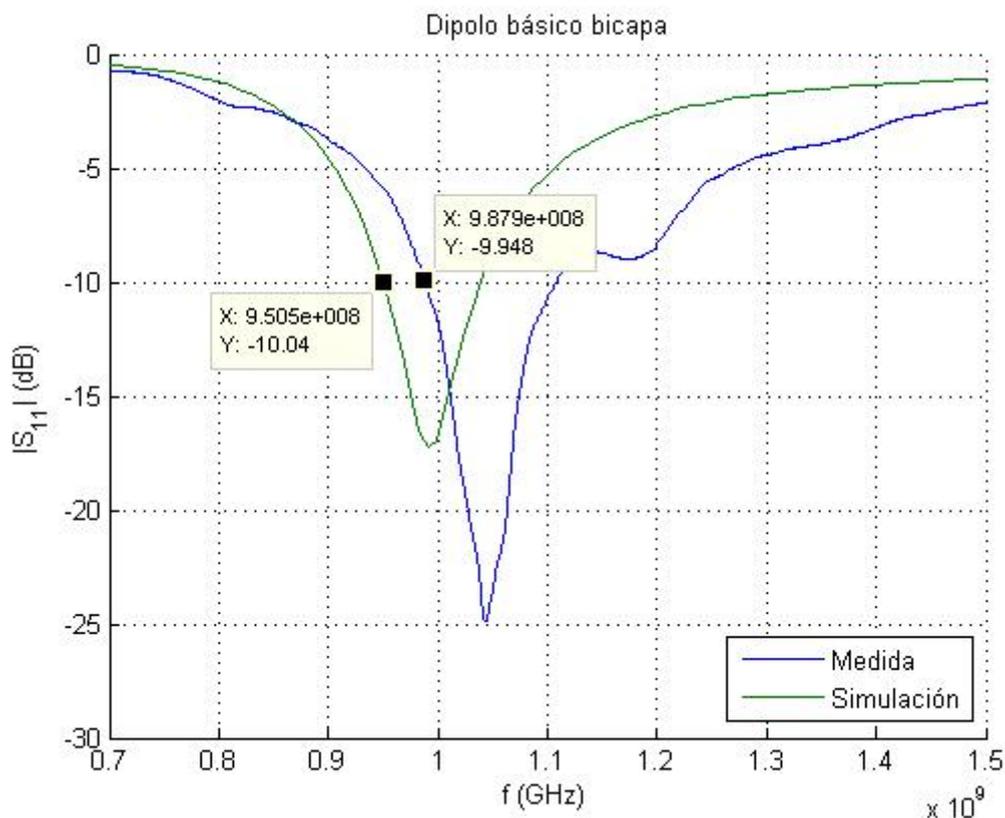
**Figura 6.14 Comparativa |S<sub>11</sub>| de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena dipolo monocapa mientras tocamos el cable que conecta el analizador y la antena**

Si tocamos el cable que conecta el analizador con la antena (figura 6.14), la respuesta nos varía y se puede llegar a conseguir una respuesta más similar a la simulada. El ancho de banda conseguido ha sido de aproximadamente unos 142MHz, y el desplazamiento en frecuencia se ha reducido, pero evidentemente es un resultado no válido ya que varía fácilmente con las condiciones de medida.

### 6.3.2.2 Dipolo bicapa

Tal como hemos comentado, en [34] se indica que al utilizar un modelo bicapa, se produce un balanceo de corrientes. Podremos ver a continuación en la figura 6.15 que no se produce un balanceo completo.

El resultado obtenido en la simulación en sustrato finito a nivel de ancho de banda entorno los -10dB's ha sido aproximadamente de 88,5MHz.

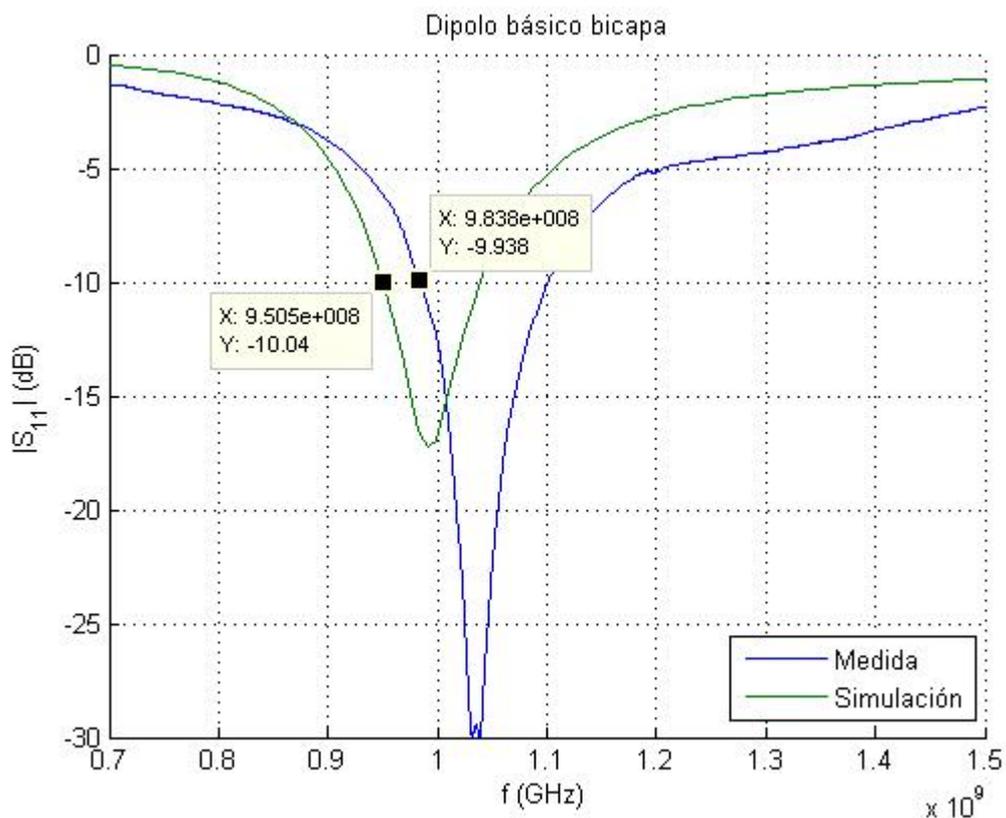


**Figura 6.15 Comparativa |S<sub>11</sub>| de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena dipolo bicapa**

El ancho de banda conseguido en la medida, es aproximadamente de 121,3MHz respecto los 88,5MHz de la simulación, pero de nuevo, veremos (figura 6.16) que en este caso, el balanceo de corrientes no es completo y tendremos una variación en la respuesta obtenida en función de si tocamos o no el cable.

En la figura 6.15 también podemos ver que al usar FR4, de nuevo la respuesta se ha desplazado ligeramente a frecuencias superiores.

Hemos comentado que, en teoría, al hacer nuestro diseño en dos capas se balanceaban las corrientes, y no era necesario utilizar un balun. Pero podemos ver en la figura 6.16 que realmente no tenemos un balanceo completo, ya que al tocar el cable que conecta la antena con el analizador, tenemos una ligera modificación en la respuesta.

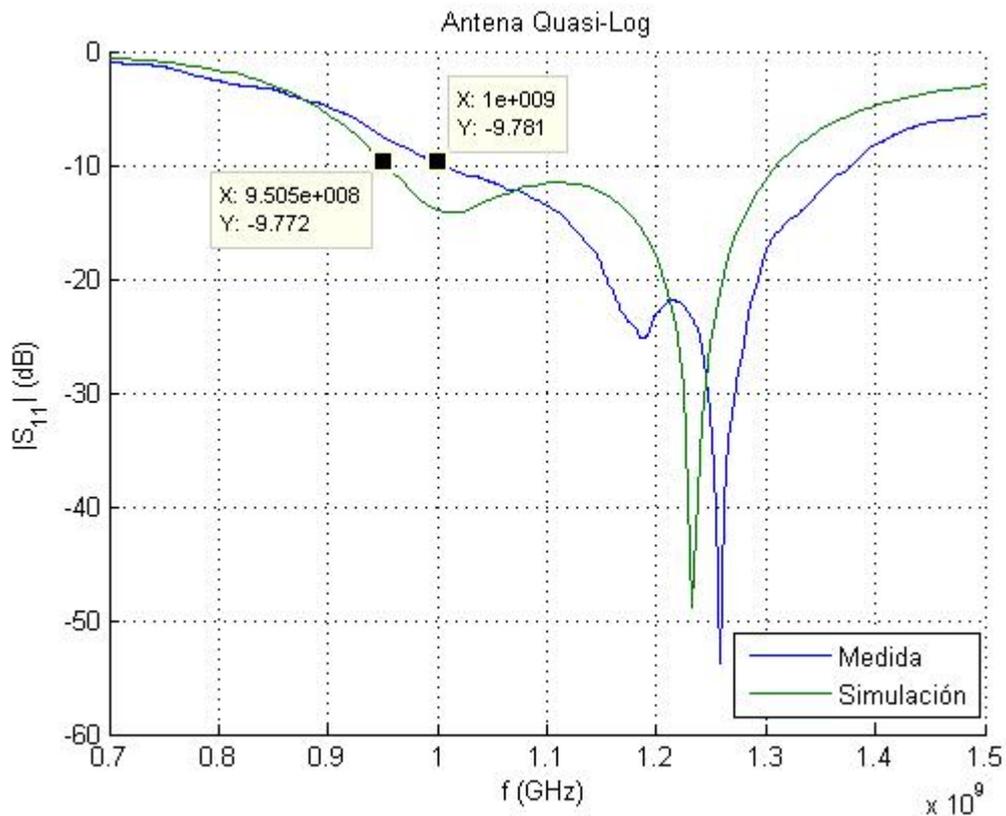


**Figura 6.16 Comparativa  $|S_{11}|$  de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena dipolo bicapa mientras tocamos el cable que conecta el analizador y la antena**

### 6.3.2.3 Quasi-Log monocapa

El resultado obtenido en la simulación en sustrato finito a nivel de ancho de banda entorno los -10dB's ha sido aproximadamente de 363,5Mhz.

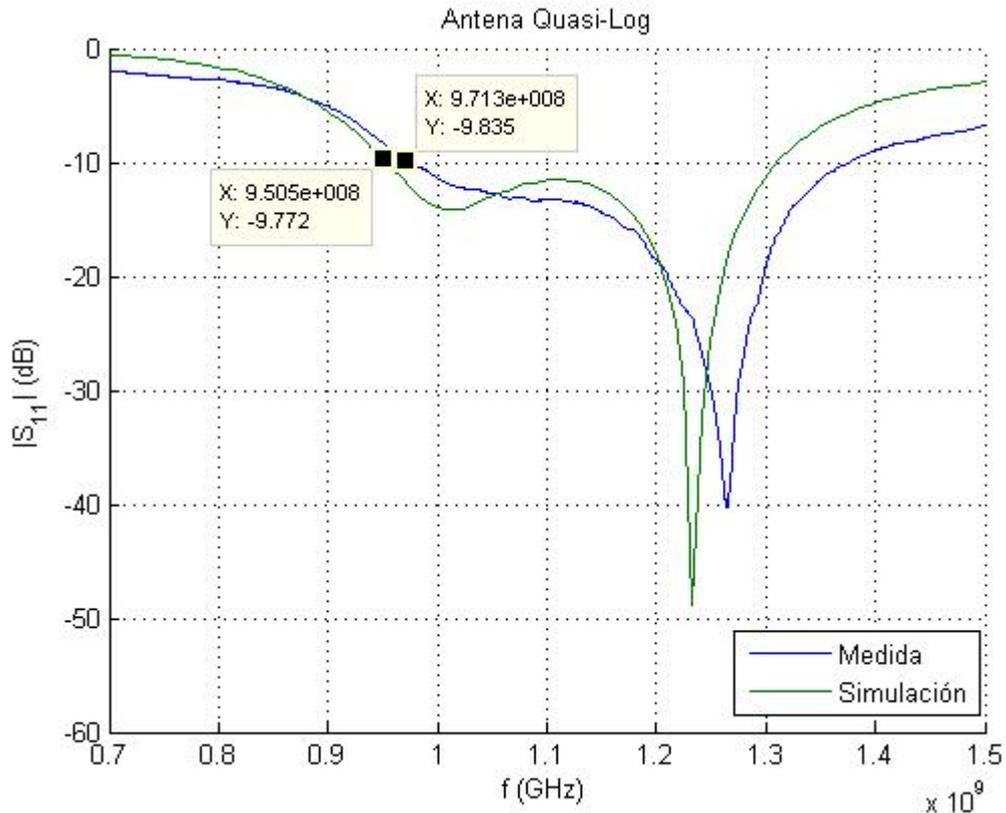
Podemos comparar los resultados simulados y medidos en la figura 6.17.



**Figura 6.17 Comparativa |S<sub>11</sub>| de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena Quasi-Log monocapa**

A nivel de ancho de banda, podemos ver que nuestra antena Quasi-Log monocapa, ha desplazado ligeramente su respuesta a frecuencias superiores, al igual que nos ha pasado en diseños anteriores, seguimos manteniendo el mismo efecto comentado antes, al usar sustrato FR4.

La respuesta de la antena y el ancho de banda conseguido al tocar el cable se pueden ver en la figura 6.18. Aproximadamente conseguimos a -10dB's unos 399,7MHz.



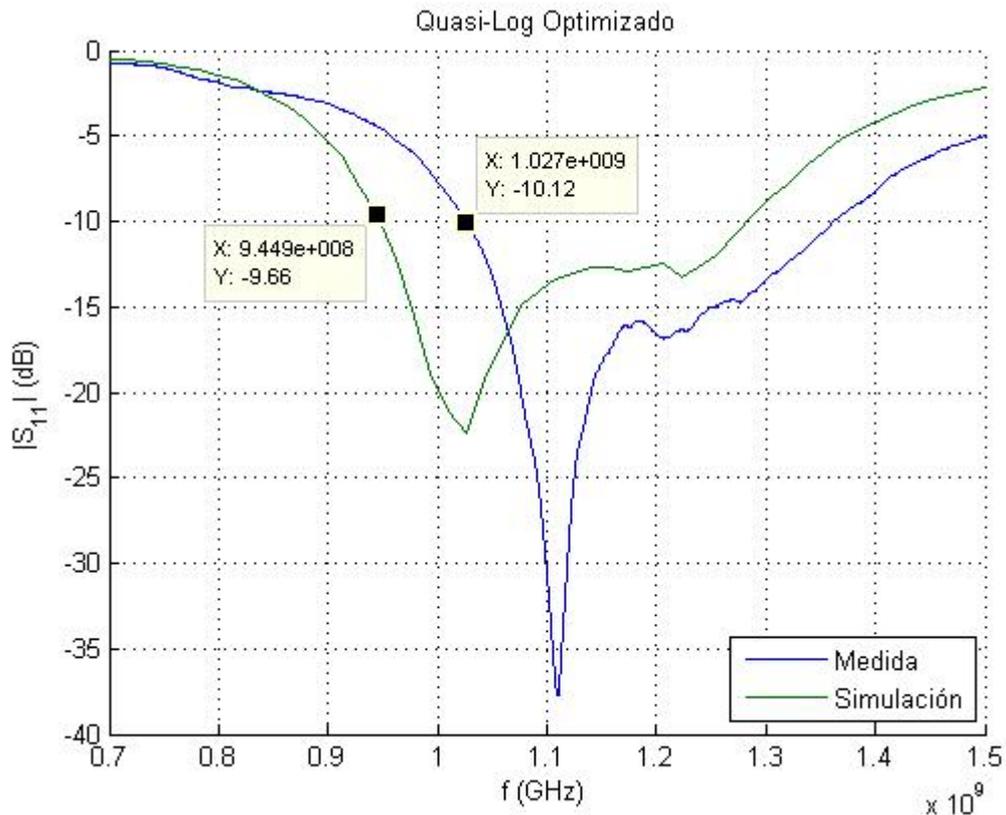
**Figura 6.18 Comparativa  $|S_{11}|$  de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena Quasi-Log monocapa mientras tocamos el cable que conecta el analizador y la antena**

En la figura 6.18 se puede apreciar como al tocar el cable el desplazamiento en frecuencia de la respuesta ha disminuido, estando muy cerca de los valores a  $-10\text{dB}$ 's entorno los  $960\text{MHz}$ . Aproximadamente, se ha producido un desplazamiento de unos  $20,8\text{MHz}$ .

#### 6.3.2.4 Quasi-Log optimizada monocapa

El resultado obtenido en la simulación en sustrato finito a nivel de ancho de banda entorno los  $-10\text{dB}$ 's ha sido aproximadamente de  $343\text{MHz}$ .

Realizamos la medida y conseguimos un ancho de banda de aproximadamente unos  $340\text{MHz}$ , como podemos ver prácticamente el mismo valor que el conseguido en la simulación, con una deriva de unos  $3\text{MHz}$ .



**Figura 6.19 Comparativa |S<sub>11</sub>| de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena Quasi-Log optimizada monocapa**

Podemos ver en la figura 6.19 el desplazamiento en frecuencia a -10dB's, en este caso ha sido de unos 82,1MHz, siendo esta antena mejor a nivel de dimensiones, pero más sensible al efecto de no tener balun que la antena Quasi-Log monocapa.

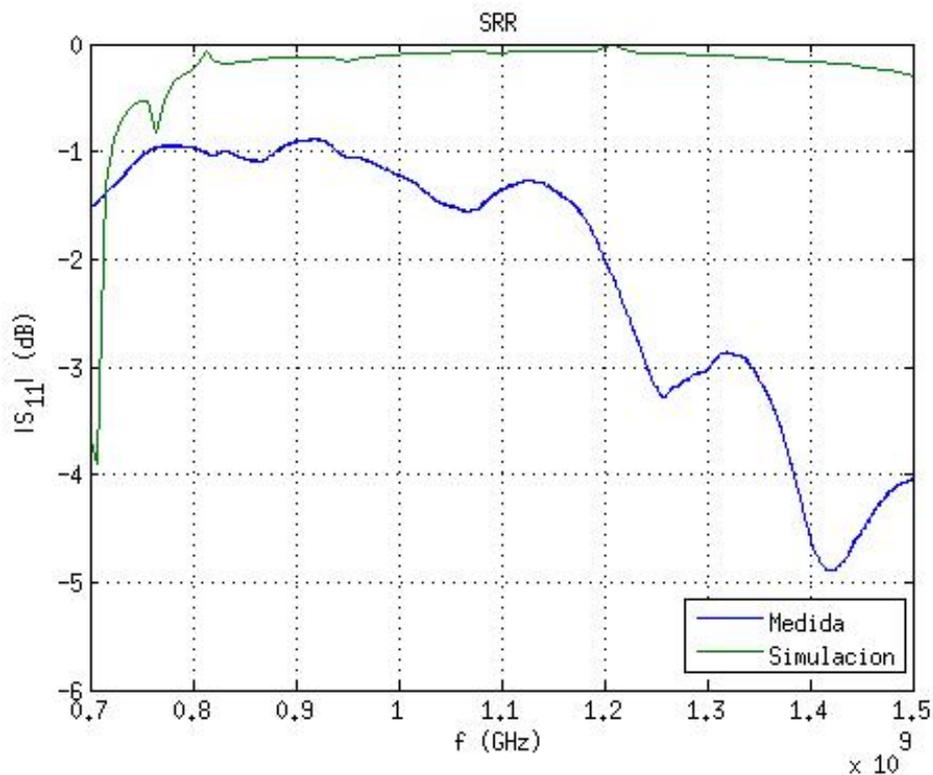
Pero como hemos comentado antes, las antenas RFID no van con balun porque los chips suelen ser diferenciales, y por lo tanto, con la antena Quasi-Log optimizada monocapa, aunque es más sensible a las fugas de corriente, con este diseño optimizamos las dimensiones de la antena respecto el diseño de la Quasi-Log, y al integrar el chip, no nos afectarían las fugas de corriente, siendo mejor este último diseño respecto la antena Quasi-Log.

Tan solo tendríamos que ajustar ligeramente las dimensiones para que los mejores valores de la magnitud del S<sub>11</sub> se encontrasen entorno los 960MHz.

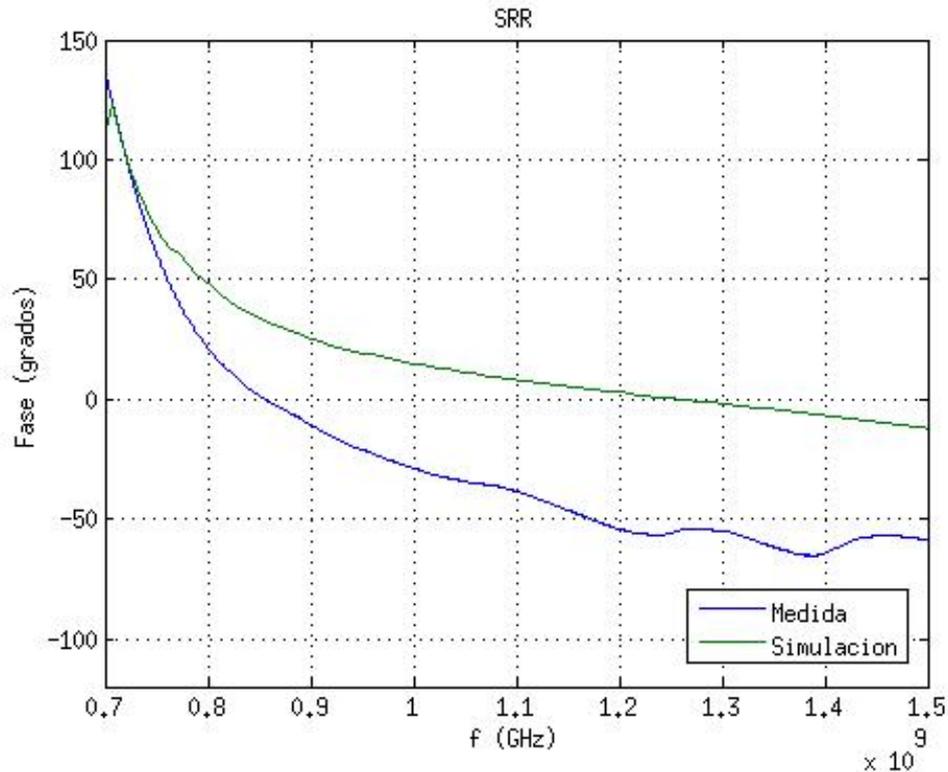
### 6.3.2.5 SRR

La antena SRR será mucho más sensible, al tener una parte imaginaria bastante grande, a las fugas de corrientes ocasionadas al no incorporar balun respecto las antenas medidas anteriormente, debido a que se ha diseñado para adaptar el chip XRAG2 de STMicroelectronics, éste no tiene una impedancia de entrada de  $50 \Omega$ , sino que su impedancia de entrada es  $Z_{Chip} = 10 - j245 \Omega$ .

Esto hace que cualquier fuga de corriente nos pueda afectar la impedancia de entrada y nos varíe la adaptación de nuestra antena, ya que en este diseño debemos procurar conseguir una impedancia de entrada de  $Z_{SRR} = 10 + j245 \Omega$  entorno los 915 MHz.



**Figura 6.20 Comparativa  $|S_{11}|$  de los resultados simulados y los resultados medidos de la antena SRR**



**Figura 6.21 Comparativa de la fase de la antena SRR de los resultados simulados y los resultados medidos**

De este modo podemos ver como en la medida del SRR con un solo conector y habiendo utilizado FR4, el resultado ha empeorado mucho y se aleja del objetivo inicial. Pudiendo indicar que este diseño es uno de los más sensibles al efecto de no tener balanceadas las corrientes, tal y como podemos ver en el módulo del S11 del SRR diseñado (figura 6.20). Al igual que la fase (figura 6.21), podemos ver que varía bastante entorno los 915MHz.

### 6.3.3 Medidas diferenciales

#### 6.3.3.1 Introducción

Como hemos podido ver en los diseños monocapa, y sobretodo en el diseño SRR, el hecho de no incorporar el balun nos impide realizar medidas fiables. Tal y como hemos comentado al inicio del capítulo, este problema se puede superar realizando la medida con dos conectores, como se indica en [40], y así conseguir un balanceado de corrientes.

Este procedimiento consistiría en conectar la antena con dos conectores a través del analizador, y capturar los parámetros S de cada puerto.

La impedancia diferencial de una antena se puede expresar como en la expresión 6.1:

$$Z_d = \frac{V_d}{I} = \frac{V_1 - V_2}{I} \quad (6.1)$$

En donde basándonos en los parámetros Z, los voltajes de los puertos se pueden expresar como en la expresión 6.2:

$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \\ V_2 &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \end{aligned} \quad (6.2)$$

La impedancia diferencial se puede expresar como en la expresión 6.3:

$$Z_d = \frac{V_d}{I} = \frac{V_1 - V_2}{I} = (Z_{11} - Z_{21} - Z_{12} + Z_{22}) \quad (6.3)$$

Y transformando los parámetros Z a parámetros S, podemos indicar de nuevo la impedancia diferencial como en la expresión 6.4:

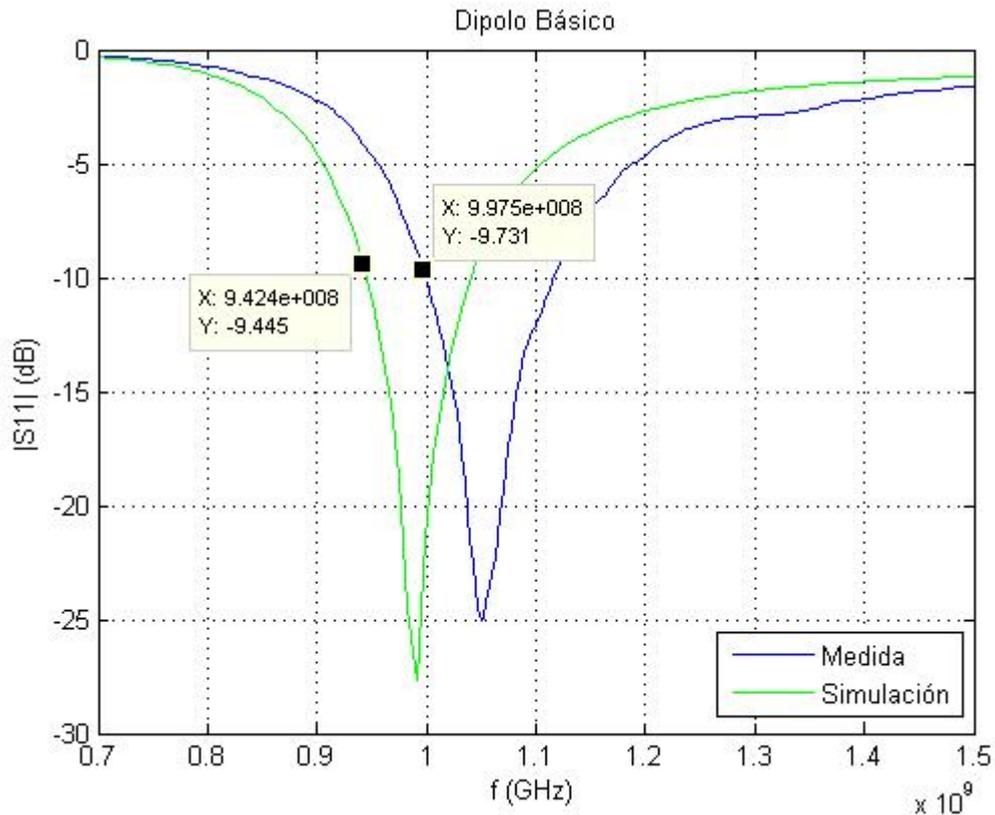
$$Z_d = \frac{2Z_0(1 - S_{11}S_{22} + S_{12}S_{21} - S_{12} - S_{21})}{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{21}S_{12}} \quad (6.4)$$

Si la estructura es simétrica  $S_{11} = S_{22}$ , y  $S_{12} = S_{21}$  se puede simplificar como en la expresión 6.5:

$$Z_d = \frac{2Z_0(1 - S_{11}^2 + S_{21}^2 - 2S_{12})}{(1 - S_{11})^2 - S_{21}^2} \quad (6.5)$$

### 6.3.3.2 Dipolo monocapa

Realizamos la medida tal y como hemos comentado, y podemos ver el resultado obtenido en la figura 6.22.



**Figura 6.22 Comparativa  $|S_{11}|$  de los resultados simulados y los resultados medidos (mediante medidas diferenciales) de la antena dipolo monocapa**

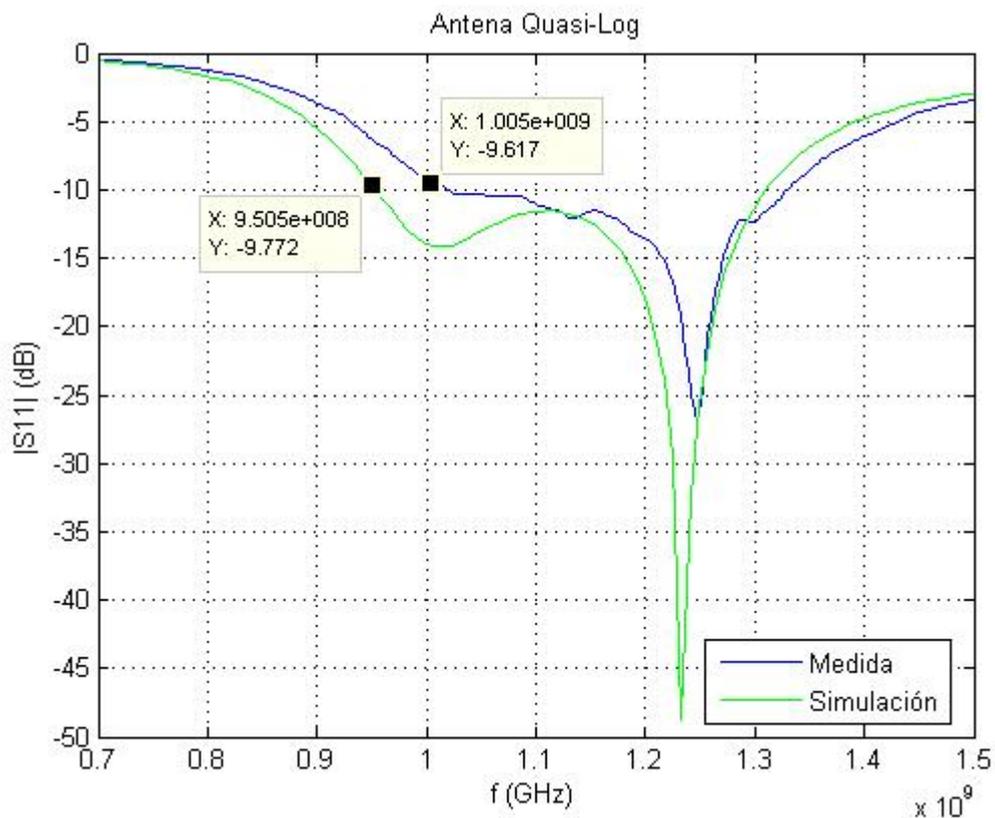
En este caso podemos ver en la figura 6.22 que al haber balanceado las corrientes, la forma de la respuesta obtenida es muy similar a la conseguida en la simulación.

El ancho de banda a  $-10\text{dB}$ 's ha sido aproximadamente unos  $117\text{MHz}$  superando el ancho de banda de la simulación en sustrato finito, que había sido de unos  $95\text{MHz}$ .

Podemos ver que nos produce un desplazamiento en frecuencia, aproximadamente unos  $55,1\text{MHz}$ . Se puede asumir este desplazamiento probablemente ocasionado por el uso de sustrato FR4.

Volvemos a ver que se han alejado de las frecuencias entorno los 960MHz los mejores valores de adaptación a frecuencias superiores. Y en ese caso tendríamos dos opciones para ajustar nuestro diseño. O bien utilizar un sustrato de más calidad, para evitar este desplazamiento en frecuencia, o bien aumentar ligeramente las dimensiones de nuestra antena usando FR4 para volver a desplazar los mejores valores de adaptación a frecuencias entorno los 960MHz.

### 6.3.3.3 Quasi-Log monocapa



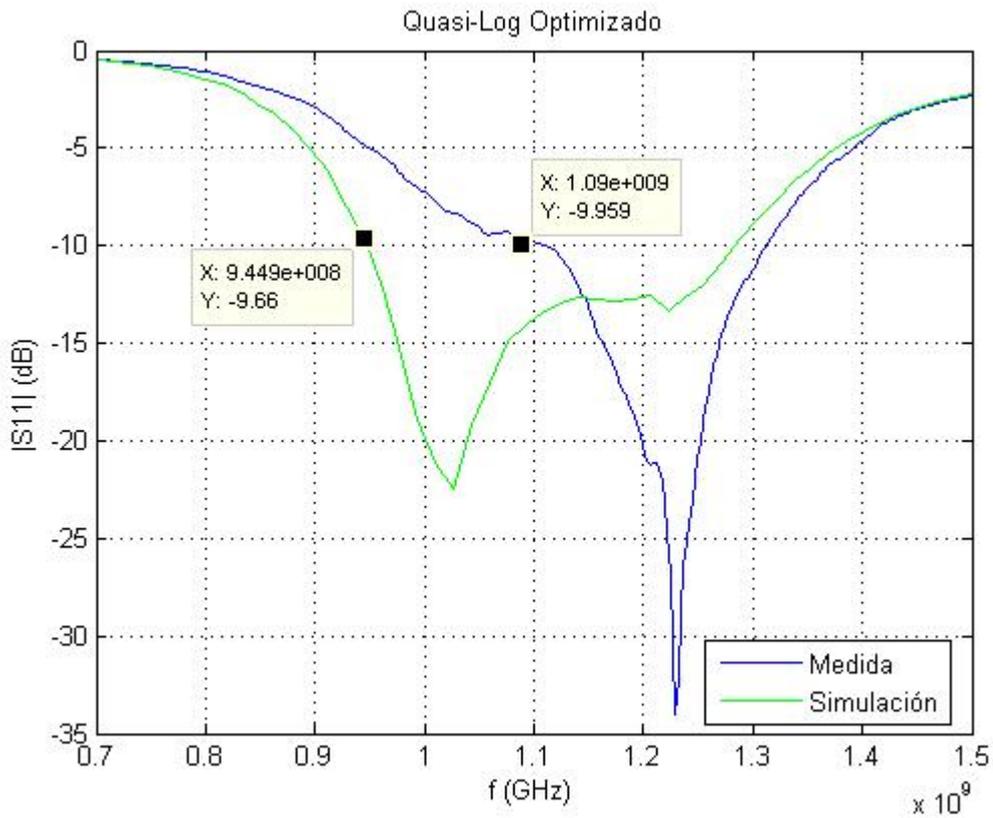
**Figura 6.23 Comparativa |S11| de los resultados simulados y los resultados medidos (mediante medidas diferenciales) de la antena Quasi-Log monocapa**

En este diseño podemos ver (figura 6.23) como hemos conseguido un ancho de banda a -10dB's de 314MHz. Podemos ver que respecto el diseño teórico en sustrato finito hemos reducido el ancho de banda conseguido. Hemos pasado de 363,5MHz a 314MHz. Aún así, mantenemos un ancho de banda entorno los 300MHz.

En este caso, volvemos a ver el efecto que nos causa haber utilizado sustrato FR4, viendo como nos mantiene el desplazamiento de su respuesta a frecuencias superiores a 960MHz, para corregir estos valores y desplazarlos a frecuencias entorno los 960MHz tendríamos que aumentar ligeramente las dimensiones de nuestra antena.

Podemos ver que en esta medida el desplazamiento en frecuencia a -10dB's ha sido aproximadamente de 54,5MHz. Aproximadamente un desplazamiento de un 5,7% siendo un desplazamiento admisible al usar sustrato FR4, que suele tener un desplazamiento del orden del 3%-6%.

#### 6.3.3.4 Quasi-Log optimizada monocapa

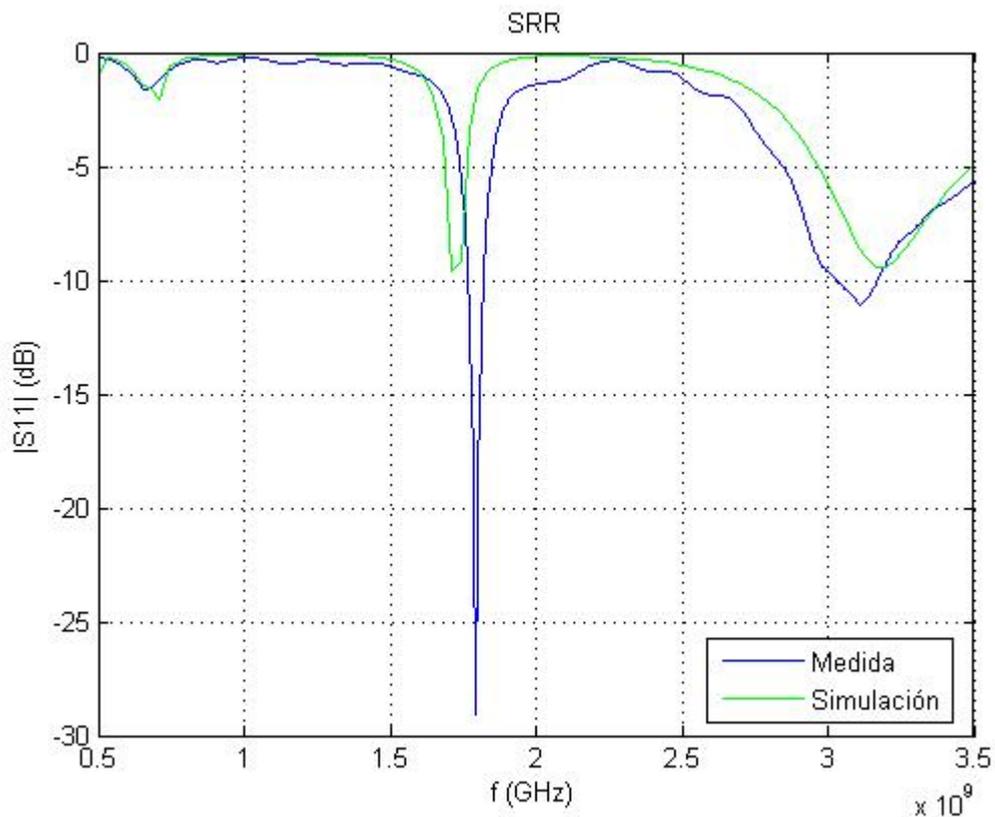


**Figura 6.24** Comparativa |S11| de los resultados simulados y los resultados medidos (mediante medidas diferenciales) de la antena Quasi-Log optimizada monocapa

En esta medida podemos ver en la figura 6.24 que el ancho de banda conseguido es aproximadamente de 222MHz, reduciendo considerablemente el resultado obtenido en el estudio teórico, que habíamos conseguido 343MHz.

También, en este caso la forma de la respuesta no se corresponde a la conseguida en el estudio teórico, y podemos indicar que probablemente al estar los dos conectores muy juntos haya habido algún error en la captura de datos, siendo el único caso que usando dos conectores no se haya conseguido una respuesta más limpia que la conseguida con un conector.

### 6.3.3.5 SRR

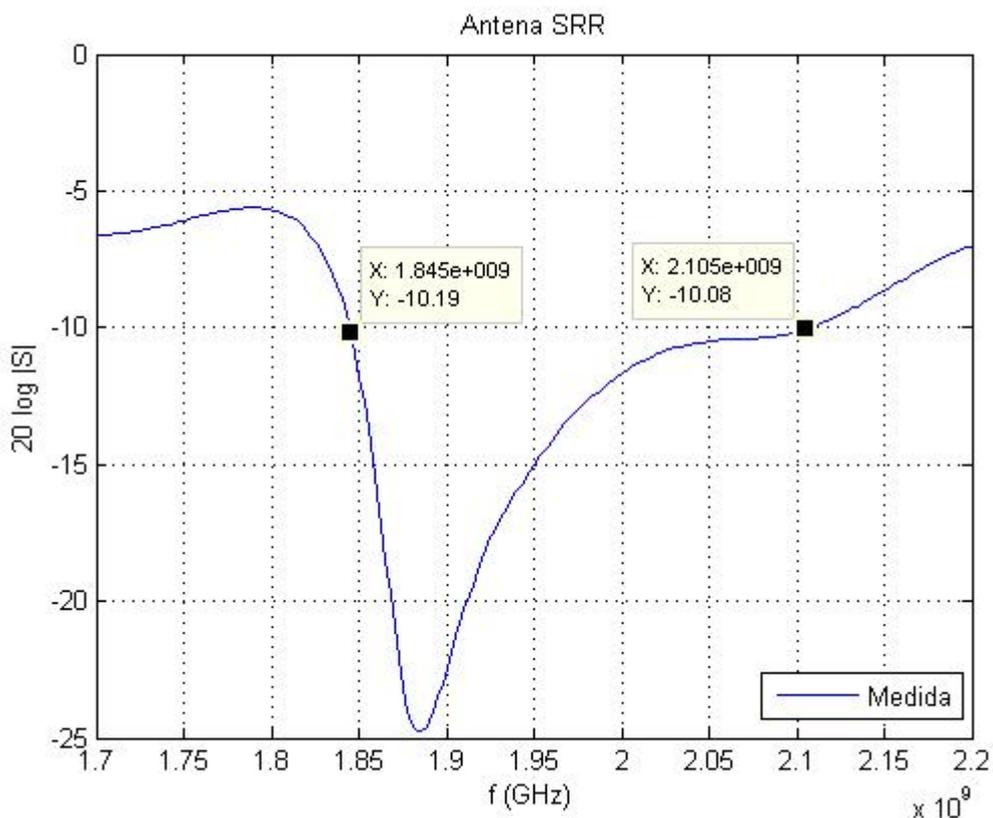


**Figura 6.25 Comparativa  $|S_{11}|$  de los resultados simulados y los resultados medidos (mediante medidas diferenciales) de la antena SRR**

Realizando esta medida con dos conectores podemos ver en la figura 6.25 el módulo del  $S_{11}$  en el rango de frecuencia de 500MHz-3,5GHz. Viendo como en este caso las dos medidas son muy parecidas.

Respecto el ancho de banda obtenido (figura 6.26) podemos indicar que al igual que pasaba con los anteriores diseños, se nos ha vuelto a trasladar los mejores valores de adaptación a frecuencias superiores. Pero en este caso, no se nos ha desplazado un 8%, sino que ha habido un desplazamiento de 1 GHz aproximadamente. Como se ha comentado en el capítulo 5, no he tenido tiempo de acabar de analizar este tipo de respuesta, y es algo a evaluar en las líneas futuras.

Este resultado nos lo puede haber ocasionado a parte de el uso de sustrato FR4 que sabemos que nos puede introducir un desplazamiento entorno un 8%, el haber seleccionado un mallado que no era el adecuado, y probablemente se tendría que haber incrementado el mallado en las zonas donde los dos anillos están más próximos entre sí, y en donde situamos la fuente de alimentación. También, podría haber sido posible que la fresadora nos haya afectado ligeramente nuestra estructura en las zonas que presentan una distancia muy pequeña.



**Figura 6.26 Representación 20Log|S| antena SRR habiendo utilizado medidas diferenciales**

# 7. Conclusiones y líneas futuras

## 7.1 Conclusiones

Tras la fabricación de los diseños podemos indicar que se han alcanzado los objetivos propuestos en el capítulo 1.

En lo que refiere a las especificaciones, se ha conseguido diseñar las diferentes antenas para adaptar chips con impedancia de entrada  $50 \Omega$  con una adaptación menor a  $-10$  dB, y con un ancho de banda similar al que habíamos obtenido en el estudio teórico pero con un cierto desplazamiento en frecuencia ocasionado por el sustrato utilizado, FR4. Utilizando un sustrato más bueno, este desplazamiento en frecuencia lo reduciríamos considerablemente, obteniendo probablemente unos resultados muy similares a los obtenidos en la simulación.

En este proyecto hemos evaluado dos formas para medir las antenas. Una ha sido utilizando un conector (single-ended), y la otra usando con dos conectores (medidas diferenciales).

Las antenas RFID no van con balun porque los chips suelen ser diferenciales. Al hacer las medidas single-ended hemos podido ver el efecto que nos produce haber diseñado las antenas sin balun viendo como teníamos fugas de corriente. Estas fugas de corriente nos alteran el ancho de banda resultante, y el valor de la impedancia, no pudiendo considerar la medida como válida.

De los diseños fabricados, las antenas que hemos visto que eran más sensibles a las fugas de corriente ocasionadas por hacer una medida tipo single-ended eran las de tipo dipolo, y tipo SRR. En la antena Quasi-Log, también nos aparece este efecto al hacer la medida con un solo conector pero a  $-10$ dB se ha mantenido la respuesta mucho más uniforme que en la antena dipolo.

Respecto a los diseños Quasi-Log monocapa, y Quasi-Log optimizada monocapa, podemos indicar que la antena Quasi-Log optimizada es más sensible a las fugas de corriente que el diseño Quasi-Log. Pero como con la antena Quasi-Log optimizada reducimos las dimensiones de la antena respecto el diseño de la antena Quasi-Log, y al integrar el chip, no nos afectan las fugas de corriente, este diseño optimizado en medidas cumple con el objetivo que nos habíamos planteado. Tan solo tendríamos que ajustar ligeramente las dimensiones para que los mejores valores de la magnitud del S11 se encontrasen entorno los 960MHz.

En el diseño de la antena SRR, en donde teníamos como objetivo a parte de la miniaturización del dispositivo, conseguir una buena adaptación conjugada para poder integrar el chip XRAG 2, el resultado obtenido en la antena fabricada no ha sido el esperado. Ya que hemos obtenido los mejores valores de adaptación a una frecuencia bastante superior a la que había sido diseñada en el estudio teórico. Este resultado nos lo puede haber ocasionado a parte de el uso de sustrato FR4 que sabemos que nos puede introducir un desplazamiento entorno un 8%, el haber seleccionado un mallado que no era el adecuado, y probablemente se tendría que haber incrementado el mallado en las zonas donde los dos anillos están más próximos entre sí, y en donde situamos la fuente de alimentación. También, podría haber sido posible que la fresadora nos haya afectado ligeramente nuestra estructura en las zonas que presentan una distancia muy pequeña. No he tenido tiempo de acabar de analizar este tipo de respuesta, y es algo a evaluar en las líneas futuras.

De todas maneras, en el diseño de la antena SRR, nos ha servido para estudiar el proceso de diseño de una antena SRR para integrar un chip RFID, con una impedancia diferente a  $50 \Omega$ .

A nivel personal, la realización de este proyecto ha resultado muy satisfactoria y gratificante.

El hecho de desarrollar un proyecto desde el inicio, haciendo el diseño, el análisis, y la realización física me ha llevado a optimizar los diseños para conseguir los diferentes objetivos indicados en el capítulo 1, y me ha ayudado a la comprensión de conceptos de parámetros básicos de antenas, así como a la comprensión del funcionamiento de los diferentes diseños de antenas que hemos realizado.

## **7.2 Líneas futuras**

Las líneas futuras a partir de los diseños realizados podrían estar orientadas inicialmente a seguir optimizando los diseños a nivel de dimensiones, y a evaluar la respuesta obtenida en la antena SRR que no ha sido la esperada.

También sería interesante proseguir en el proceso de optimización de la antena Quasi-Log mejorada, y llegar a fabricarla.

Las antenas se han diseñado para trabajar entorno los 915MHz o los 960MHz, dependiendo del diseño seleccionado. También sería interesante escalar las dimensiones de los diseños evaluados para poder trabajar entorno los 2,4 GHz, y hacerlas físicamente.

Respecto la investigación en el campo de la tecnología RFID, podemos indicar que existen dos líneas de desarrollo donde podemos evaluar nuestras antenas para su posterior integración en futuras aplicaciones. Uno de los caminos se basa en seguir reduciendo las dimensiones de nuestras antenas, manteniendo, o reduciendo ligeramente el ancho de banda obtenido. Como ya se ha comentado en capítulos anteriores el ancho de banda en según que aplicaciones, no es tan importante como el poder integrar nuestras antenas cada vez más pequeñas en productos de consumo, o industriales, para que cada vez más, pase más inadvertida la etiqueta frente al usuario. Por lo tanto, tal y como se ha comentado el obtener un diseño optimizado a nivel de dimensiones, manteniendo prestaciones siempre será un objetivo a conseguir, mientras no tengamos limitaciones tecnológicas.

Por otro lado, el otro camino que pueden orientarse en un futuro próximo, es a conseguir antenas con más ancho de banda para proporcionar al usuario más información en tiempo real sobre el producto en cuestión, siendo ya no tan importante el tamaño en sí. De hecho, EPSON [42] está realizando diversos proyectos en el campo del RFID, y las tendencias futuras apuntan a tener unas etiquetas RFID que incorporen una pantalla que utilice tinta digital, incorporando la tecnología E-INK [43] que han desarrollado para otros productos.

Este tipo de tecnología nos permitirá mostrar información del producto, cuando se pase el producto por un escáner RFID. Tal y como podemos ver en la figura 7.1.



**Figura 7.1 Etiqueta RFID fabricada por EPSON [44], este tipo de etiqueta incorpora una pantalla de tecnología EPD que permitirá mostrar la información del producto cuando se pase por un escáner RFID**

Siendo una similitud con los escáneres actuales de códigos de barras de los supermercados, que al pasar el producto nos indican el precio. La gran diferencia, con estos escáneres, será que la información no residirá en el sistema del centro comercial, sino en la misma etiqueta, y que la pantalla que nos ofrecerá la información estará en el mismo producto, y no en el lector. Esta tecnología se utilizará para dar a los consumidores todo tipo de información de los productos al por menor.

Este tipo de etiquetas incorporan la tecnología RFID, la tecnología E-INK [43], y tecnología EPSON, en donde se podrían llegar a integrar nuestras antenas.

# Bibliografía y referencias

[1] [www.st.com](http://www.st.com)

[2] Heng-Tung Hsu, James C. Rautio, and San-Wen Chang, “Novel Planar Wideband Omni-directional QuasiLog-Periodic Antenna”, Microwave Conference Proceedings, 2005. APMC 2005. Asia-Pacific Conference Proceedings Volume 4, 4-7 Dec. 2005 Page(s):4 pp. Digital Object Identifier 10.1109/APMC.2005.1606894

[3] Sonnet Software, Inc - Sonnet Technologies, “Design Examples for 13.56MHz and 900 MHz RFID Antenna”, 2006

[4] Vitaliy Zhurbenko, Thomas Jensen, Viktor Krozer, and Peter Meincke, “Analytical Model of Planar Double Split Ring Resonator”, Microwave and Optoelectronics Conference, 2007. IMOC 2007. SBMO/IEEE MTT-S International, Oct. 29 2007-Nov. 1 2007 Page(s):753 – 756, Digital Object Identifier 10.1109/IMOC.2007.4404369

[5] Ángel Cardama, Lluís Jofre, José Manuel Rius, Sebastián Blanch, “Antenas”, Edicions UPC. 2ª ed. 2002

[6] Constantine A. Balanis, “Antenna Theory”, Wiley-Interscience. 3ª ed. 2005

[7] Pedro de Paco, “Apuntes Transporte por Soporte Físico”, UAB, 2007

[8] AIDA CENTRE RFID SOLUTIONS, Proyecto RFID (Biblioteca Tomás Navarro Tomás – CSIC) Identificación, etiquetado e integración del nuevo fondo bibliotecario del CSIC, “Introducción a la tecnología RFID”, 2008

[9] [www.rfid-magazine.com](http://www.rfid-magazine.com)

[10] Klaus Finkenzeller, “RFID HandBook 2<sup>nd</sup> Edition Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification” Wiley & Sons LTD, April 2003

- [11] Patrick J.Sweeney, “RFID For Dummies”, Wiley Publishing, 2005
- [12] [www.ferroxtag.com](http://www.ferroxtag.com)
- [13] Regulatory status for using RFID in the UHF spectrum 18 March 2009 en [www.epcglobalinc.org](http://www.epcglobalinc.org)
- [14] [www.iso.org](http://www.iso.org)
- [15] [www.epcglobalinc.org](http://www.epcglobalinc.org)
- [16] <http://w3.upm-kymmene.com>
- [17] [www.geodis.es](http://www.geodis.es)
- [18] [www.rfidjournal.com](http://www.rfidjournal.com)
- [19] [www.rfid-world.com](http://www.rfid-world.com)
- [20] Jin Mitsugi, “Features of UHF band RFID system”, Auto ID-Labs Japan, 2005 en [www.autoidlabs.org](http://www.autoidlabs.org)
- [21] [http://www.rfid-magazine.com/images/3164/08052009\\_Athelia.pdf](http://www.rfid-magazine.com/images/3164/08052009_Athelia.pdf)
- [22] <http://www.rfid-spain.com/articulo/69269/rfid/industria/rfid-para-la-planificacion-de-la-produccion-y-control-de-existencias-en-el-cultivo-del-mejillon>
- [23] <http://www.idnoticias.com/2009/06/08/espa%C3%B1a-utiliza-la-rfid-para-el-control-de-residuos-peligrosos>
- [24] [www.bundesdruckerei.de](http://www.bundesdruckerei.de)
- [25] [http://www.kaba.co.nz/Products-Solutions/Lodging-Systems/Remote-Access-Controllers-RACs/184064\\_184064/remote-access-controllers-racs.html](http://www.kaba.co.nz/Products-Solutions/Lodging-Systems/Remote-Access-Controllers-RACs/184064_184064/remote-access-controllers-racs.html)

[26] [www.verichipcorp.com](http://www.verichipcorp.com)

[27] <http://www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/>

[28] [www.sunbox.es](http://www.sunbox.es)

[29] [www.giant-bicycles.com](http://www.giant-bicycles.com)

[30] [www.nyklogistics.com](http://www.nyklogistics.com)

[31] [www.apple.com](http://www.apple.com)

[32] [www.feko.info](http://www.feko.info)

[33] Wonkyu Choi, H. W. Son, Chansoo Shin, Ji-Hoon Bae, Gilyoung Choi, “RFID tag antenna with a meandered dipole and inductively coupled feed”, Antennas and Propagation Society International Symposium 2006, IEEE9-14 July 2006 Page(s): 619 – 622, Digital Object Identifier 10.1109/APS.2006.1710600

[34] A. A. Eldek, “Design of double dipole antenna with enhanced usable bandwidth for wideband phased array applications”, Progress In Electromagnetics Research, PIER 59, 1–15, 2006

[35] Hrabar, Silvio; Eres, Zoran; Bartolic, Juraj, “Capacitively Loaded Loop as Basic Element of Negative Permeability Meta-material”, European Microwave Conference, 2002. 32nd Oct. 2002 Page(s): 1-4 Digital Object Identifier 10.1109 / EUMA.2002.339288

[36] <http://office.microsoft.com/es-es/excel>

[37] [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)

[38] Joan García-García, Jordi Bonache, Ignacio Gil, Ferran Martín, María del Castillo Velázquez-Ahumada, and Jesús Martel, “Miniaturized Microstrip and CPW Filters Using Coupled Metamaterial Resonators” IEEE transactions on microwave theory and techniques, vol.54, N°.6, June 2006

[39] Jae-Gu Choi; Sang-Hwa Yi; Kwang-Hwa Kim, “Development of a novel tapered balun for the UWB UHF coupler”, Power Modulator Symposium, 2004 and 2004 High-Voltage Workshop. Conference Record of the Twenty-Sixth International 23-26 May 2004 Page(s): 493 – 496 Digital Object Identifier 10.1109/MODSYM.2004.1433621

[40] Xianming Qing; Goh, C.K.; Zhi Ning Chen, “Measurement of UHF RFID tag antenna impedance”, Antenna Technology, 2009. iWAT 2009. IEEE International Workshop on 2-4 March 2009 Page(s):1 - 4 Digital Object Identifier 10.1109/IWAT.2009.4906968

[41] Icheln, C.; Krogerus, J.; Vainikainen, P., “Use of balun chokes in small-antenna radiation measurements”, Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on Volume 53, Issue 2, April 2004 Page(s):498 - 506 Digital Object Identifier 10.1109/TIM.2004.823299

[42] [www.epson.com](http://www.epson.com)

[43] [www.eink.com](http://www.eink.com)

[44] [www.engadget.com/2005/09/22/epsons-e-ink-rfid-tags/](http://www.engadget.com/2005/09/22/epsons-e-ink-rfid-tags/)

[45] <http://www.lpkfusa.com/RapidPCB/CircuitboardPlotters/s62.htm>

[46] [www.agilent.com](http://www.agilent.com)

[47] <http://www.eea.epson.com/portal/page/portal/home/>

[48] Pozar, D. Microwave Engineering. Wiley-Interscience. 2<sup>nd</sup> edition. 1998.

[49] Josep Parrón, “Apuntes Antenas”, UAB, 2007

[50] K. V. Seshagiri Rao, Pavel V. Nikitin, and Sander F. Lam, “Antenna Design for UHF RFID Tags: A Review and a Practical Application”, IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 53, NO. 12, DECEMBER 2005

**Resum:**

*Aquest projecte es basa en l'estudi, disseny i avaluació d'antenes per a aplicacions RFID a la banda UHF.*

*Les etiquetes RFID estan compostes per un xip i una antena que han de presentar una bona adaptació per a aconseguir màxima transferència de potència.*

*En aquest projecte s'han dissenyat antenes per adaptar xips RFID amb una impedància d'entrada de  $50 \Omega$ , i de  $10-j245 \Omega$  (XRAG2 de STMicroelectronics).*

*Els dos objectius principals en les diferents fases de disseny de cada antena han estat optimitzar les seves dimensions, i incrementar l'ample de banda.*

**Resumen:**

*Este proyecto se basa en el estudio, diseño y evaluación de antenas para aplicaciones RFID en la banda de UHF.*

*Las etiquetas RFID están compuestas por un chip y una antena que deben presentar una buena adaptación para conseguir máxima transferencia de potencia.*

*En este proyecto se han diseñado antenas para adaptar chips RFID con una impedancia de entrada de  $50 \Omega$ , y de  $10-j245 \Omega$  (XRAG2 de STMicroelectronics).*

*Los dos objetivos principales en las diferentes fases de diseño de cada antena han sido optimizar sus dimensiones, e incrementar el ancho de banda.*

**Summary:**

*This project is based on the study, design and evaluation of antennas for RFID applications in the UHF band.*

*RFID tags generally have a tag antenna and an integrated circuit. The tags must have a good impedance matching to achieve maximum power transfer between the tag IC and antenna.*

*In this project, we have designed antennas to provide a good matching with RFID chips. The input impedance of these chips is  $50 \Omega$ , and  $10-j245 \Omega$  (XRAG2 STMicroelectronics).*

*The two main goals at different stages of the design of each antenna are to reduce the size of the antenna and increase bandwidth.*