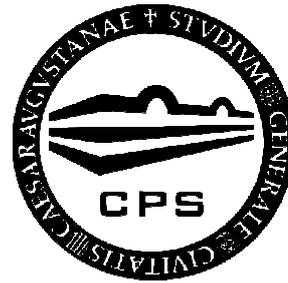


UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

CENTRO POLITÉCNICO SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

**MODELADO DE LA VARIACIÓN DE LA
IMPEDANCIA DE ENTRADA EN ANTENAS
PARA SISTEMAS DE COMUNICACIONES
DVB**

MEMORIA

**AUTOR: Luis Garcés Colomé
DIRECTOR: Pedro Luis Carro Ceballos**

**Ingeniería de Telecomunicación
Especialidad en Comunicaciones**

ZARAGOZA, JULIO 2010

MODELADO DE LA VARIACIÓN DE LA IMPEDANCIA DE ENTRADA EN ANTENAS PARA SISTEMAS DE COMUNICACIONES DVB

RESUMEN

La movilidad de los terminales de comunicaciones repercute, en lo referente a estructuras radiantes, en que las antenas receptoras tienen un comportamiento dinámico que puede ser muy diferente de las prestaciones que se obtienen normalmente en situaciones estáticas. El entorno consta de una variedad de objetos, e incluso el usuario, cuyo impacto en la antena no puede ser despreciable, ya que puede degradar las prestaciones de la antena.

Con el objetivo de estudiar los efectos descritos anteriormente se han diseñado dos propuestas de antenas receptoras, y cada una de ellas se ha adaptado a las bandas de trabajo de DVB-H (470- 710 MHz) y DVB-SH o banda L (1518-1559 MHz), dando lugar a cuatro antenas diferentes. Esto se ha conseguido mediante la simulación del parámetro de ganancia realizada (en el caso de la banda DVB-H, ya que queda definido por el estándar como variable de diseño), y de las pérdidas de retorno, porque permiten estudiar el ancho de banda de la antena. Posteriormente, se ha estimado el comportamiento de estas antenas ante la presencia del usuario, estudiando como fluctúa el BER a partir de una SNR (la cual no es constante debido a la variación del coeficiente de reflexión). Por último, se fabricaron las antenas diseñadas en substrato FR4 y se realizaron las medidas oportunas para comparar los diseños obtenidos en simulación con los valores reales obtenidos.

Tras la realización de todos los experimentos llevados a cabo durante la duración de este proyecto se ha podido sacar la siguiente conclusión: no existe un diseño que destaque sobre todos los demás, sino que existe un compromiso en función de la banda. En caso de trabajar en la banda DVB-H la mejor opción es la propuesta 1. En cambio, si se trabaja en la banda DVB-SH o L, la propuesta 2 es la que obtiene mejores resultados.

ÍNDICE GENERAL

Glosario siglas	1
1. Introducción y objetivos	3
1.1 Presentación	3
1.2 Objetivos	4
1.3 Desarrollo del proyecto	4
1.4 Contenido	5
2. Principios genéricos de los sistemas DVB	6
2.1 Introducción al sistema DVB	6
2.2 Particularidades de los sistemas DVB-H y DVB-SH	6
2.2.1 Características radio de los receptores DVB-H	7
2.3 Aspectos relevantes del diseño de antenas para sistemas DVB-H	10
2.3.1 Consideraciones en el diseño	10
2.3.2 El efecto del usuario	12
3. Diseño de antenas impresas para sistemas DVB-H	14
3.1 Antenas impresas	14
3.2 Modelado usuario	15
3.3 Criterios para la evaluación de resultados	16
3.3.1 Bases estudio comparativo	17
3.3.2 Parámetros cuantitativos de evaluación	17
3.4 Simulación Propuesta 1	18
3.5 Simulación Propuesta 2	26
3.6 Comparativa entre las propuestas	35
4. Estudio variabilidad de la impedancia	38
4.1 Metodología	38
4.1.1 Marco teórico	38
4.1.2 Método de Estimación de la SNR	40
4.2 Resultados	45
5. Análisis y evaluación experimentales de las geometrías propuestas	50
5.1 Resultados experimentales de la propuesta 1	51
5.2 Resultados experimentales de la propuesta 2	52
5.3 Comparativa entre las propuestas	53
5.4 Comparativa entre resultados de las simulaciones y experimentales	54

6. Conclusiones y líneas futuras	57
6.1 Conclusiones	57
6.2 Líneas futuras	58
Bibliografía	59
Anexo A Novedades sistemas DVB-H y DVB-SH.....	60
A.1 Diferencias con los sistemas genéricos	60
A.2 Time-slicing	61
A.3 MPE-FEC	62
Anexo B Consideraciones generales sobre antenas.....	65
B.1 Impedancia de entrada de la antena.....	65
B.2 Coeficiente de reflexión y pérdidas de retorno	66
B.3 Diagrama de radiación.....	66
B.4 Directividad.....	67
B.5 Eficiencia de antena	67
B.6 Ganancia de antena.....	67
B.7 Eficiencia de adaptación y ganancia realizada.....	68
B.8 Ancho de banda	68
Anexo C Formas de los parches y tipos de alimentación en antenas impresas.....	69
C.1 Formas de los parches	69
C.2 Tipos de alimentación	70
C.3 Ecuaciones línea microstrip	71
Anexo D Cálculo de la anchura de la línea de transmisión.....	73
Anexo E Simulaciones para la mejora del ancho de banda.....	74
E.1 Propuesta conductores.....	74
E.2 Propuesta desplazar plano de masa.....	75
Anexo F La línea biplaca	77
Anexo G Otras simulaciones.....	79
Anexo H Distribuciones normales y método EM	81
H.1 Distribuciones unidimensional y bidimensional	81
H.2 Método estadístico EM	82
Anexo I Códigos utilizados.....	84
I.1 Estimación del efecto del usuario	84
I.2 Interacción del usuario	86
Anexo J Simulador HFSS	89

Anexo K Substrato FR4 y conector.....	91
I.1 Características del substrato FR4	91
I.2 Conector	92

ÍNDICE FIGURAS

Figuras correspondientes a la Memoria

Figura 2.1 Comportamiento C/N en un canal móvil para receptor DVB-H	9
Figura 2.2 Ganancia realizada	12
Figura 3.1 Antena impresa	14
Figura 3.2 Modelado de la mano.....	16
Figura 3.3 Modelado del usuario.....	16
Figura 3.4 Diseño original propuesta 1	18
Figura 3.5 Pérdidas retorno modelo original propuesta 1.....	19
Figura 3.6 Distribución de corrientes diseño original.....	20
Figura 3.7 Pérdidas retorno diseño banda L propuesta 1.....	21
Figura 3.8 Diseño final banda L propuesta 1.....	22
Figura 3.9 Diagrama radiación 3D diseño final banda L propuesta 1	22
Figura 3.10 Diagrama radiación plano ZY diseño final banda L propuesta 1	22
Figura 3.11 Diagrama radiación plano XY diseño final banda L propuesta 1	22
Figura 3.12 Pérdidas retorno variando longitud diseño DVB-H propuesta 1.....	24
Figura 3.13 Pérdidas retorno variando tamaño L.T en diseño DVB-H propuesta 1	24
Figura 3.14 Circuito cálculo anchura W2	24
Figura 3.15 Diseño final banda DVB-H propuesta 1	25
Figura 3.16 Diagrama radiación 3D diseño final banda DVB-H propuesta 1.....	25
Figura 3.17 Diagrama radiación plano ZY diseño final banda DVB-H propuesta 1.....	26
Figura 3.18 Diagrama radiación plano XY diseño final banda DVB-H propuesta 1	26
Figura 3.19 Comparativa pérdidas retorno en diseño final DVB-H propuesta 1.....	26
Figura 3.20 Ganancia realizada propuesta 1 para DVB-H.....	26
Figura 3.21 Diseño original propuesta 2	27
Figura 3.22 Pérdidas retorno diseño original propuesta 2	27
Figura 3.23 Distribución de corrientes diseño original.....	28
Figura 3.24 Pérdidas retorno diseño variando longitud antena banda L propuesta 2.....	29
Figura 3.25 Pérdidas retorno variando anchura stubs banda L propuesta 2.....	29
Figura 3.26 Diseño final banda L propuesta 2.....	30
Figura 3.27 Diagrama radiación 3D diseño final banda L propuesta 2	30
Figura 3.28 Diagrama radiación plano ZY diseño final banda L propuesta 2	31
Figura 3.29 Diagrama radiación plano XY diseño final banda L propuesta 2	31

Figura 3.30	Pérdidas retorno variando longitud antena DVB-H propuesta 2	32
Figura 3.31	Pérdidas retorno variando anchura stubs DVB-H propuesta 2.....	32
Figura 3.32	Pérdidas retorno variando número stubs DVB-H propuesta 2	33
Figura 3.33	Pérdidas retorno comparativa final DVB-H propuesta 2	33
Figura 3.34	Diseño final banda DVB-H propuesta 2	33
Figura 3.35	Diagrama radiación 3D diseño final banda DVB-H propuesta 2.....	33
Figura 3.36	Diagrama radiación plano ZY diseño final banda DVB-H propuesta 2.....	34
Figura 3.37	Diagrama radiación plano XY diseño final banda DVB-H propuesta 2	34
Figura 3.38	Ganancia realizada propuesta 2 para DVB-H.....	35
Figura 3.39	Comparativa pérdidas retorno en banda L.....	36
Figura 3.40	Comparativa pérdidas retorno en DVB-H.....	37
Figura 4.1	Arquitectura receptor.....	38
Figura 4.2	Arquitectura simplificada.....	39
Figura 4.3	Curva BER.....	40
Figura 4.4	Pérdidas retorno con usuario propuesta 1 banda DVB-H	41
Figura 4.5	Pérdidas retorno con usuario propuesta 1 banda L.....	41
Figura 4.6	Pérdidas retorno con usuario propuesta 2 banda DVB-H.....	41
Figura 4.7	Pérdidas retorno con usuario propuesta 2 banda L	41
Figura 4.8	Histograma pérdidas de retorno de la antena aislada	43
Figura 4.9	Pérdidas de retorno en carta Smith de la antena aislada.....	43
Figura 4.10	Histograma pérdidas de retorno de la antena con usuario en movimiento.....	43
Figura 4.11	Pérdidas de retorno en carta Smith de la antena con usuario en movimiento	43
Figura 4.12	BER DVB-H propuesta 1 modelo A	46
Figura 4.13	BER DVB-H propuesta 1 modelo B	46
Figura 4.14	BER DVB-H propuesta 2 modelo A	47
Figura 4.15	BER DVB-H propuesta 2 modelo B	47
Figura 4.16	BER banda L propuesta 1 modelo A	47
Figura 4.17	BER banda L propuesta 1 modelo B	47
Figura 4.18	BER banda L propuesta 2 modelo A	47
Figura 4.19	BER banda L propuesta 2 modelo B	47
Figura 5.1	Diseño propuesta1 banda DVB-H.....	50
Figura 5.2	Pérdidas retorno propuesta 1 banda DVB-H	50
Figura 5.3	Pérdidas retorno propuesta 1 banda 0.2-1.2 GHz.....	51
Figura 5.4	Diseño propuesta 1 banda L	51

Figura 5.5 Pérdidas retorno propuesta 1 banda L	51
Figura 5.6 Pérdidas retorno adaptada propuesta 1 banda L	52
Figura 5.7 Diseño propuesta 2 banda DVB-H	52
Figura 5.8 Pérdidas retorno propuesta 2 banda DVB-H	52
Figura 5.9 Diseño propuesta 2 banda L	53
Figura 5.10 Pérdidas retorno propuesta 2 banda L	53
Figura 5.11 Comparativa pérdidas retorno banda L.....	53
Figura 5.12 Comparativa pérdidas retorno banda DVB-H	54
Figura 5.13 Comparativa simulaciones y reales banda L sin usuario.....	55
Figura 5.14 Comparativa simulaciones y reales banda L con usuario	55
Figura 5.15 Comparativa simulaciones y reales banda DVB-H sin usuario	55
Figura 5.16 Comparativa simulaciones y reales banda DVB-H con usuario.....	55

Figuras correspondientes a los Anexos

Figura A.1 Diferencias entre DVB-T y DVB-H.....	60
Figura A.2 Periodos de ON y OFF en <i>time-slicing</i>	62
Figura A.3 Trama MPE-FEC.....	63
Figura A.4 Protocolos usando MPE-FEC.....	64
Figura B.1 Modelo circuital de la impedancia de entrada de antena.....	65
Figura C.1 Formas parches antenas impresas	69
Figura C.2 Tipos alimentación antenas impresas	70
Figura D.1 Cálculo parámetro W	73
Figura E.1 Diseño propuesta 1 con conductores	74
Figura E.2 Pérdidas retorno introduciendo conductores en DVB-H propuesta 1	75
Figura E.3 Diseño propuesta 1 desplazando plano masa.....	75
Figura E.4 Pérdidas retorno desplazando plano masa en DVB-H propuesta 1	76
Figura F.1 Representación de la línea biplaca	77
Figura F.2 Equivalencia entre línea microstrip y línea biplaca	78
Figura G.1 Diseño original	79
Figura G.2 Diseño banda DVB-H	80
Figura G.3 Pérdidas de retorno banda DVB-H.....	80
Figura G.4 Diseño banda L	80
Figura G.5 Pérdidas de retorno banda L	80
Figura K.1 Hoja características sustrato FR4 empleado.....	91
Figura K.2 Conector 115.42.2510.001 de IMS.....	92
Figura K.3 Características técnicas del conector 115.42.2510.001 de IMS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas correspondientes a la Memoria

Tabla 2.1 Valores ganancia realizada.....	11
Tabla 2.2 Especificaciones diseño banda DVB-H	12
Tabla 3.1 Constante dieléctrica y conductividad de la cabeza, mano y capas de la piel	16
Tabla 3.2 Medidas escaladas diseño banda L propuesta 1	21
Tabla 3.3 Medidas escaladas diseño DVB-H propuesta 1	23
Tabla 3.4 Medidas óptimas diseño DVB-H propuesta 1	25
Tabla 3.5 Medidas escaladas diseño banda L propuesta 2	29
Tabla 3.6 Medidas óptimas diseño banda L propuesta 2	30
Tabla 3.7 Medidas escaladas diseño DVB-H propuesta 2	31
Tabla 3.8 Medidas óptimas diseño DVB-H propuesta 2	34
Tabla 3.9 Comparativa dimensiones diseños en banda L	35
Tabla 3.10 Comparativa dimensiones diseños en DVB-H	36
Tabla 4.1 Valores media y varianza en método módulo para prototipo físico	44
Tabla 4.2 Valores media y varianza en método EM para prototipo físico	44
Tabla 4.3 Valores media y varianza en método módulo para prototipos diseñados	45
Tabla 4.4 Valores media y varianza en método EM modelo A para prototipos diseñados	45
Tabla 4.5 Valores media y varianza en método EM modelo B para prototipos diseñados	45
Tabla 4.6 Medidas degradación banda DVB-H	48
Tabla 4.7 Medidas degradación banda L	48

Tablas correspondientes a los Anexos

Tabla A.1 Tabla parámetros OFDM	61
Tabla C.1 Comparativa tipos de parches.....	70
Tabla C.2 Comparativa tipos de alimentación.....	71
Tabla K.1 Parámetros del substrato FR4 empleado	91

GLOSARIO DE SIGLAS

- BER *Bit Error Rate*
- DCS *Digital Cellular Service*
- DVB *Digital Video Broadcasting*
- DVB-C *Digital Video Broadcasting Cable*
- DVB-H *Digital Video Broadcasting Handheld*
- DVB-S *Digital Video Broadcasting Satellite*
- DVB-SH *Digital Video Broadcasting Satellite Services to Handheld*
- DVB-T *Digital Video Broadcasting Terrestrial*
- ETSI *European Telecommunications Standards Institute*
- GSM *Global System for Mobile Communications*
- HFSS *High Frequency Structure Simulator*
- LNA *Low Noise Amplifier*
- MPE-FEC *Multi Protocol Encapsulation/Forward Error Correction*
- MWO *Microwave Office*
- OFDM *Orthogonal frequency-division multiplexing*
- PC *Personal Computer*
- PCB *Printed Circuit Board*
- PDA *Personal Digital Agenda*
- RF *Radio Frequency*
- SNR *Signal to Noise Ratio*
- TDM *Time-division multiplexing*
- TPS *Transmission Parameter Signalling*
- UHF *Ultra High Frequency*
- UMTS *Universal Mobile Telecommunications System*
- VHF *Very High Frequency*
- 3G *Third Generation*

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Presentación

Hoy en día estamos viviendo la aparición de la televisión en los teléfonos móviles, que además va a experimentar un fuerte avance en los próximos años. Su funcionamiento está basado en el estándar DVB-H (*Digital Video Broadcasting Handheld*) o, de la misma forma, pero utilizando satélites, con el sistema DVB-SH (*Digital Video Broadcasting Satellite services to Handhelds*). El sistema DVB-H, que aparece como una adaptación móvil del sistema terrestre, DVB-T (*Digital Video Broadcasting Terrestrial*), es una tecnología que combina esta última con la compresión de vídeos orientada a terminales portátiles, optimizando el consumo de energía de las baterías de estos receptores móviles.

Para ello se usan técnicas *time-slicing* que permiten un gran ahorro de energía en estos receptores móviles (pudiendo llegar hasta el 90%), además de tener que abordar otro reto, como es la menor resolución de sus pantallas frente a la cada día más común alta definición de las televisiones.

La implantación de este nuevo fenómeno tecnológico debe buscar que los sistemas DVB-H y DVB-SH sean compatibles con el sistema DVB-T, lo que permitiría usar la misma banda de frecuencia para ambos sistemas y optimizar la inversión económica ya efectuada en las infraestructuras de transmisión construidas para DVB-T.

Se plantea un problema adicional para los diseñadores de RF y para los fabricantes de teléfonos móviles: las nuevas tecnologías utilizan unas frecuencias más bajas (470–862 MHz) que la tecnología de móviles actual y, además, necesitan un ancho de banda mayor. Estas dificultades provocan que los nuevos sistemas necesiten antenas mucho mayores que las que se utilizan en sistemas GSM (*Global System for Mobile Communications*) o 3G (*Third Generation*).

Las evoluciones tecnológicas en este área han demostrado que para poder tener éxito en la introducción del mercado, hay que ofrecer al usuario una solución equilibrada entre su coste y su funcionalidad, pues nadie está dispuesto a pagar una cantidad considerable por un servicio que no sea de una importante calidad.

Estamos ante el motivo de este proyecto: el diseño de antenas receptoras que soporten los requisitos de las nuevas tecnologías, basándose en las especificaciones definidas en los estándares, además de que sean capaces de incorporarse en el interior de dispositivos portátiles, imprescindible para el futuro de este avance tecnológico.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es el diseño de varias estructuras radiantes para sistemas con tecnología DVB-H y DVB-SH. Las antenas receptoras deberán ser capaces de integrarse en un dispositivo portátil y deben cumplir con las especificaciones impuestas por los estándares DVB-H y DVB-SH.

Para ello, se utilizó el programa HFSS (*High Frequency Structure Simulator*) de Ansoft, obteniendo los parámetros S de las estructuras para su posterior verificación.

Se plantea el diseño en la tecnología impresa para aprovecharse de sus características: ligereza y bajo coste en la fabricación. Una vez diseñadas, los distintos prototipos se fabricarán, para su verificación experimental, usando un substrato FR4 con un espesor de 1.54 mm.

A continuación, se procede a estimar la variación de la tasa de error de bit con la influencia del ser humano. Mediante los diseños fabricados, se comprobarán si los resultados son los esperados, en caso contrario, cómo deberían modificarse para cumplir las especificaciones.

1.3 Desarrollo del proyecto

Las fases seguidas para la realización de este proyecto han sido las siguientes:

- a) Documentación sobre tecnología DVB-H y DVB-SH, prestando especial interés en las condiciones y parámetros de diseño específicos para el diseño de antenas.
- b) Estudio y evaluación de propuestas de antenas para otras bandas de frecuencia, que servirán como punto de partida en el desarrollo de antenas para DVB-H y DVB-SH. Finalmente, tras concluir con esta etapa, se utilizaron unas determinadas geometrías como diseño de las estructuras radiantes.
- c) Simulación y cálculo de las estructuras con un software electromagnético, en este caso se utiliza HFSS de Ansoft, para obtener el comportamiento frecuencial de éstas, además del análisis de otros parámetros electromagnéticos que permitan decidir el buen diseño o cumplimiento de las especificaciones de la norma.
- d) Evaluar la variabilidad de la impedancia a través del estudio de la tasa de error de bit, estimada a partir de antenas previamente fabricadas y con un analizador de redes vectorial.

- e) Fabricación, medida, análisis y verificación de los resultados obtenidos para las estructuras diseñadas anteriormente.

1.4 Contenido

Esta memoria está compuesta por seis capítulos. Después de esta introducción, en el capítulo “Principios genéricos de los sistemas DVB”, se describe brevemente la tecnología DVB y sus tipos de transmisión, para luego centrarse en las particularidades de los sistemas DVB-H y DVB-SH y en las estrategias de desarrollo de las antenas objetivo de este proyecto.

En el capítulo “Diseño de antenas impresas para sistemas DVB-H y DVB-SH”, se hace una breve descripción de las antenas impresas, del modelado del usuario y se definen los criterios de comparación de los diseños. A continuación se exponen ambas propuestas de estructuras radiantes y por último se realiza una comparación entre ellas.

En “Estudio variabilidad impedancia” se evalúa como afecta el ser humano en las prestaciones de la antena. Para poder realizar el estudio, se utiliza diseños previamente fabricados para las mismas bandas y, con ayuda del analizador de redes, se obtiene la variación de la tasa de error de bit y se cuantifica la degradación de las prestaciones de las antenas.

En el capítulo “Análisis y evaluación experimentales de las geometrías propuestas” se presentan las medidas experimentales, con una posterior comparativa entre ellas y, por último, se verifica si los resultados experimentales se asemejan a los obtenidos mediante métodos numéricos.

Para finalizar, en “Conclusiones y líneas futuras” se recapitula sobre el trabajo realizado, se extraen conclusiones y se plantean posibles líneas de trabajo futuro.

Al final de la memoria se adjuntan una serie de anexos que aclaran distintos conceptos definidos durante la descripción del proyecto.

Capítulo 2

Principios genéricos de sistemas DVB

Dado que para diseñar cualquier elemento de un sistema de comunicaciones es necesario conocer los requisitos de dicho sistema, en este capítulo se hace una breve descripción de los sistemas DVB, que se particulariza para los sistemas DVB-H y DVB-SH, presentando las especificaciones que ha de tener una antena para estas tecnologías que, mediante simulaciones se analizarán en capítulos posteriores.

2.1 Introducción al sistema DVB

DVB (*Digital Video Broadcasting*) [1] es una organización que promueve estándares acordados internacionalmente de televisión digital, en especial para televisión de alta definición y televisión vía satélite. Los estándares propuestos han sido ampliamente aceptados en Europa y en casi todos los continentes, con la excepción de Estados Unidos y Japón, donde coexisten con otros sistemas propietarios.

El organismo DVB ha elaborado distintos estándares en función de las características del sistema de radiodifusión. Los tipos de transmisión más utilizados en la actualidad son el DVB-S y el DVB-C que contemplan las transmisiones de señales de televisión digital mediante redes de distribución por satélite y cable respectivamente. La transmisión de televisión digital a través de redes de distribución terrestres utilizando los canales UHF convencionales se contempla en el estándar DVB-T, que actualmente se está implantando en la mayor parte de los países europeos. Por último, los estándares DVB-H y DVB-SH, se enfocan hacia la transmisión de televisión terrestre y satélite para dispositivos portátiles.

2.2 Particularidades de los sistemas DVB-H y DVB-SH

El sistema DVB-H es un estándar abierto desarrollado por DVB Project [2] que se adoptó en Europa en noviembre de 2004, por el ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), el organismo europeo de normalización de las telecomunicaciones, lo que constituye un primer paso para una adopción como estándar global.

La tecnología DVB-H normaliza la transmisión de contenido de televisión y datos a dispositivos de mano, el más común actualmente el teléfono móvil. Estos dispositivos tienen unos requerimientos como bajo consumo de batería o energético, pantalla de visualización reducida, movilidad y tamaño del dispositivo.

Los estándares de radiodifusión DVB-T y DVB-H son compatibles entre sí, y pueden utilizar los mismos moduladores, transmisores, antenas y demás elementos de red para distribuir ambos tipos de señales. Una de las grandes ventajas de que DVB-H sea compatible con DVB-T es que puede utilizar la misma banda de frecuencia, siendo la radiodifusión a dispositivos móviles mediante lo que se denomina IP Datacast (DVB-IPDC), una tecnología optimizada para la recepción de servicios de televisión o similares en dispositivos móviles.

DVB-SH es un estándar híbrido (satélite/terrestre) derivado de DVB-H y ETSI SDR (Radio Digital por Satélite) de televisión [3]. El sistema híbrido considera incorporar un satélite geoestacionario de alta potencia para la cobertura en exteriores, integrado en una red terrestre de repetidores para cobertura interior en áreas urbanas. El sistema DVB-SH utiliza la Banda-S, adyacente a la banda empleada por UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), lo que posibilita a los operadores móviles de UMTS un despliegue de red más eficiente, al reutilizar emplazamientos y antenas de la red UMTS existente para albergar repetidores de DVB-SH.

Las mayores diferencias entre estos dos sistemas son: la banda de trabajo, la introducción del uso de de la técnica TDM (*Time Division Multiplex*) además de la OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y el uso del modo 1K en banda L (Anexo A).

Los sistemas DVB-H operan en la banda UHF, mientras que DVB-SH utiliza la banda S y la banda L. La gran ventaja de estas bandas es que están menos congestionadas que la banda UHF.

DVB-SH permite el empleo del modo 1K, que es el más robusto frente al efecto Doppler debido a la recepción en movimiento a gran velocidad. Además permiten el uso de canales de 1.75 MHz de ancho de banda, debido a la transmisión de menos portadoras.

Al introducir el uso del TDM, los sistemas DVB-SH tienen la opción de utilizar esta tecnología y OFDM en modos de DVB-SH, una combinación entre DVB-SH y DVB-H o simplemente el modo OFDM de DVB-SH. Además, gracias al uso de TDM, surgen dos modos de usar los sistemas DVB-SH:

- i) DVB-SH-A usa OFDM tanto en el enlace terrestre como en el del satélite.
- ii) DVB-SH-B usa TDM en el enlace satélite y OFDM en el enlace terrestre.

2.2.1 Características radio de los receptores DVB-H y DVB-SH

Los sistemas DVB-H y DVB-SH se utilizan para transmisión inalámbrica, de ahí que las especificaciones radio queden determinadas por requisitos relativamente

complejos. De todos ellos, dos son especialmente relevantes para el diseño de antenas: la banda de frecuencias y la potencia relación señal a ruido en recepción.

a) Bandas de frecuencia y canales

El sistema DVB-H usa parte de las bandas IV y V de UHF (470-862 MHz) y el sistema DVB-SH utiliza, además, parte de la banda L (1-2 GHz) y parte de la banda S (2-4 GHz). Pero, debido a la frecuencia superior del sistema GSM900, el límite superior de los sistemas DVB-H, dentro de las bandas IV y V, es del entorno a 710 MHz, por lo que este estudio se centra entre la banda 470-710 MHz y en las frecuencias de la banda L destinadas al uso de comunicaciones móvil-satélite, es decir de 1518-1559 MHz.

Los sistemas DVB-H y DVB-SH, además de usar los anchos de banda de canal utilizados en la emisión de TV (6 MHz, 7 MHz, 8 MHz), se adaptaron para poder tolerar anchos de banda de 5 MHz en el primer sistema y de 5 y 1.75 MHz en el segundo. Los tres anchos de banda mundialmente de VHF/UHF se definen en el estándar de DVB-T y, por tanto, DVB-H y DVB-SH también los soportan.

b) Potencia y relación señal a ruido

En los sistemas DVB-H, el receptor necesita una figura de ruido de al menos 6 dB [4]. Esta figura de ruido se corresponde con los siguientes niveles de potencia de ruido del suelo en función del tamaño del canal:

$$P_n = \begin{cases} -99.2 \text{ dBm} & \text{si } BW = 7.61 \text{ MHz} \\ -99.7 \text{ dBm} & \text{si } BW = 6.66 \text{ MHz} \\ -101.4 \text{ dBm} & \text{si } BW = 5.71 \text{ MHz} \\ -101.2 \text{ dBm} & \text{si } BW = 4.76 \text{ MHz} \end{cases}$$

En DVB-H, un buen criterio para medir la degradación es el ratio de error de trama MPE-FEC (MFER). MFER, es la relación entre las tramas erróneas (no recuperables) y el número total de tramas recibidas. Para obtener un ratio fiable, es necesario al menos tomar 100 tramas y obtener un MFER entorno a 5%.

$$MFER(\%) = \frac{\text{Num. Tramas Erroneas} \times 100}{\text{Num. Total de tramas}} \tag{2.1}$$

Para calcular el rendimiento de un receptor de DVB-H se usa el modelo de dos figuras, C/N_{\min} y Fd_{3db} , tal y como muestra la figura 2.1.

C/N_{\min} es la mínima relación portadora a ruido con un MFER de 5%. La curva C/N es plana hasta las altas frecuencias Doppler, pero no es aplicable para bajas frecuencias Doppler ($Fd < 1/\text{duración trama}$).

$F_{d_{3db}}$ es la frecuencia Doppler a la que la C/N se ha incrementado 3dB sobre el valor mínimo de C/N. Cabe destacar que los valores de $F_{d_{3db}}$ y $F_{d_{max}}$ son muy similares.

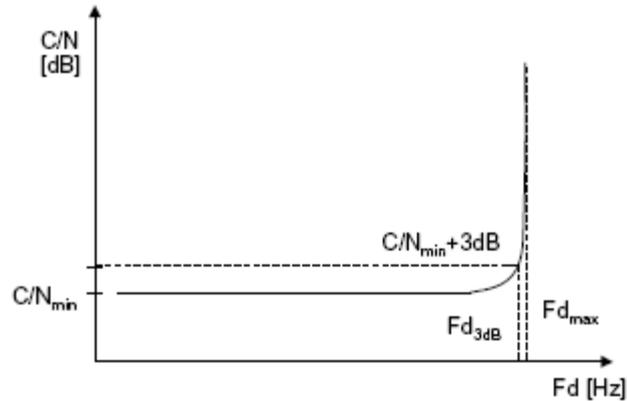


Figura 2.1.- Comportamiento C/N en un canal móvil para receptor DVB-H

La potencia mínima requerida por el receptor, dependiendo del ancho de banda del canal, se muestra a continuación, donde el valor de C/N varía en función de las condiciones del canal.

$$P_n = \begin{cases} -99.2 \text{ dBm} + \frac{C}{N} (\text{dB}) & \text{si } BW = 8 \text{ MHz} \\ -99.7 \text{ dBm} + \frac{C}{N} (\text{dB}) & \text{si } BW = 7 \text{ MHz} \\ -101.4 \text{ dBm} + \frac{C}{N} (\text{dB}) & \text{si } BW = 6 \text{ MHz} \\ -101.2 \text{ dBm} + \frac{C}{N} (\text{dB}) & \text{si } BW = 5 \text{ MHz} \end{cases}$$

En los sistemas DVB-SH, el sistema receptor debe de tener una figura de ruido de al menos, 4.5 dB [5]. Esta figura de ruido se corresponde con los siguientes niveles de potencia de ruido del suelo, en función del tamaño del canal:

$$P_n = \begin{cases} -100,7 \text{ dBm} & BW = 8 \text{ MHz} \text{ y } BW = 7.61 \text{ MHz} \\ -101,2 \text{ dBm} & BW = 7 \text{ MHz} \text{ y } BW = 6.66 \text{ MHz} \\ -101,9 \text{ dBm} & BW = 6 \text{ MHz} \text{ y } BW = 5.71 \text{ MHz} \\ -102,7 \text{ dBm} & BW = 5 \text{ MHz} \text{ y } BW = 4.76 \text{ MHz} \\ -107,7 \text{ dBm} & BW = 4 \text{ MHz} \text{ y } BW = 1.52 \text{ MHz} \end{cases}$$

En cambio para DVB-SH, la potencia mínima requerida por el receptor dependiendo del ancho de banda del canal, resulta ser las siguientes:

$$P_n = \begin{cases} -100,7 \text{ dBm} + \frac{C}{N} (\text{dB}) & BW = 8 \text{ MHz} \text{ y } BW = 7.61 \text{ MHz} \\ -101,2 \text{ dBm} + \frac{C}{N} (\text{dB}) & BW = 7 \text{ MHz} \text{ y } BW = 6.66 \text{ MHz} \\ -101,9 \text{ dBm} + \frac{C}{N} (\text{dB}) & BW = 6 \text{ MHz} \text{ y } BW = 5.71 \text{ MHz} \\ -102,7 \text{ dBm} + \frac{C}{N} (\text{dB}) & BW = 5 \text{ MHz} \text{ y } BW = 4.76 \text{ MHz} \\ -107,7 \text{ dBm} + \frac{C}{N} (\text{dB}) & BW = 4 \text{ MHz} \text{ y } BW = 1.52 \text{ MHz} \end{cases}$$

La banda de frecuencia de trabajo y la potencia mínima del receptor, son especificaciones que repercuten en el diseño de estructuras radiantes.

2.3 Aspectos relevantes del diseño de antenas para sistemas DVB-H y DVB-SH

A la hora de diseñar una antena interna para un terminal móvil se tiene en cuenta, entre otras, las siguientes características: influencia del usuario, nivel de compactación o tamaño, eficiencia total lo más alta posible y un diseño que cumpla las especificaciones de ancho de banda requerido. Se debe destacar que, en general, existe un alto compromiso entre ellas y que optimizar una normalmente supone un deterioro de las otras.

2.3.1 Consideraciones en el diseño

El propósito del presente proyecto es el diseño de unas antenas receptoras para sistemas DVB-H y DVB-SH que se integren en un terminal portátil (teléfonos móviles, PDA...). Al desarrollar el estudio, la banda DVB-SH no crea demasiados problemas, debido a que no presenta ningún requerimiento en el parámetro ganancia realizada (concepto definido en el Anexo B.7) y a que no es muy exigente en ancho de banda (40 MHz), surgiendo el problema con la tecnología DVB-H, que requiere un gran ancho de banda (240 MHz), por lo que este apartado se centra en explicar los aspectos relevantes en el diseño de la banda DVB-H.

Un factor a tener en cuenta en el diseño de la antena para DVB-H es su tamaño [6]. Puesto que las dimensiones de un terminal móvil son mucho menores que la longitud de onda de la banda DVB-H, se requiere una antena muy compacta para que se pueda insertar en el terminal, lo que limita sus prestaciones.

En una antena receptora, se pueden admitir pérdidas de desadaptación (lo que supone disminuir la eficiencia total) siempre y cuando el nivel de señal sea lo suficientemente alto comparado con el nivel de ruido. Con esto, el diseño de una

antena receptora para DVB-H viene determinado por la ganancia realizada y no queda especificado ningún criterio de adaptación para esta.

Típicamente el criterio de diseño más utilizado para definir el ancho de banda de trabajo de una antena es el de conseguir la máxima adaptación de impedancias de la antena para toda la banda de frecuencias en la que esta ha de operar, tomándose como criterio de diseño que el parámetro $S_{11} < -10$ dB. El parámetro S_{11} , también denominado pérdidas de retorno, cuantifica la potencia reflejada a la entrada de la antena de tal manera que, cuanto mayor sea, mayor reflexión se produce y, por lo tanto, menor cantidad de señal se entrega a la antena. Es por esto por lo que interesan valores pequeños de éste parámetro.

No obstante las dimensiones que debería tomar una antena receptora para alcanzar este criterio, desde el punto de vista de diseño clásico como resonador $\lambda/4$, serían muy grandes como para que esta pudiera integrarse en un terminal portátil. Por esta razón, el estándar relaja esta condición y no especifica ningún criterio de adaptación en banda, imponiendo como nuevo parámetro de diseño para antenas receptoras la ganancia realizada, cuyo valor queda fijado en el estándar.

Se concluye así que el parámetro más importante, en el que se basa el diseño de antenas receptoras en el presente proyecto es la ganancia realizada. No obstante, se tienen en cuenta otros criterios importantes en el diseño como compactar lo máximo posible la antena o buscar una buena adaptación en banda. Como la adaptación no queda definida por el estándar, el cumplimiento de la especificación para la ganancia realizada nos asegura un diseño válido en recepción para el sistema DVB-H.

Esta especificación de ganancia realizada para antenas receptoras en el estándar [4], queda definida entre su frecuencia máxima y mínima con -5 dB y -10 dB respectivamente. Por interpolación, suponiendo linealidad, se puede obtener cualquier otro valor, y en este caso interesa calcular el valor de ganancia realizada en 710 MHz, tal y como muestra la tabla 2.1.

Tabla 2.1.- Valores ganancia realizada

Frecuencia (MHz)	Ganancia (dBi)
470	-10
710	-7
860	-5

En resumen, las especificaciones de diseño impuestas por el estándar DVB-H para el caso de antenas receptoras se muestran en la tabla 2.2.

En la figura 2.2 se representa la ganancia realizada para la banda de frecuencias de interés de DVB-H.

Otro factor a tener en cuenta es la influencia del ser humano en las características de radiación de la antena. Esta influencia hay que estudiarla con detenimiento, ya que los parámetros de radiación de la antena pueden sufrir grandes variaciones debido a la presencia del ser humano o del entorno.

Tabla 2.2.- Especificaciones diseño banda DVB-H

Propiedad	Especificación
Adaptación	No especificada
Ganancia Realizada	Variación lineal con la frecuencia de -10 dBi a -7 dBi en la banda de 470-710 MHz
Volumen	Lo más pequeño posible (no supere 4 mm)

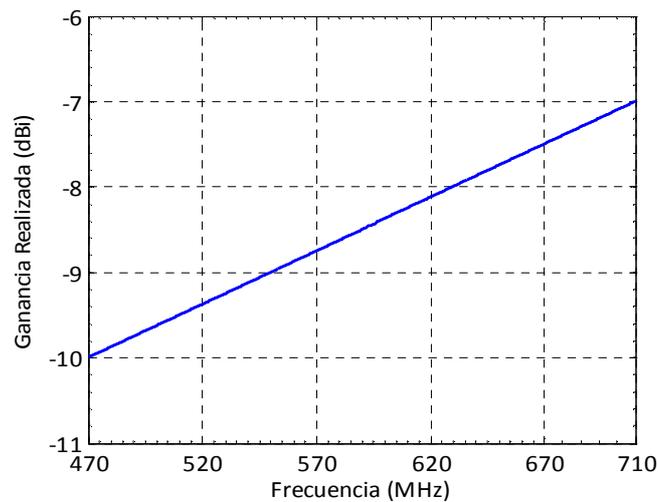


Figura 2.2.- Ganancia realizada

2.3.2 El efecto del usuario

Existe una fuerte interacción en términos de eficiencia entre la antena y la posición del usuario. Dependiendo de ésta en relación con el terminal, el cuerpo puede actuar como un reflector o, incluso, absorber la señal por completo. Por ello, será importante evaluar en la medida de lo posible el impacto en las prestaciones.

La forma de sujetar el móvil varía en función de la forma del dispositivo y el efecto del usuario sobre la antena depende fuertemente con la posición de la mano. Aunque la forma habitual de sostenerlo mientras se realizan llamadas o mientras se

utiliza para cualquier otra función, suele ser situar el dedo índice alrededor de la parte superior del terminal (donde suele ir colocada la antena) y manejarlo con el pulgar de la misma mano.

Las características del dispositivo portátil dependen del diseñador industrial y no del diseñador de antenas. Esto implica que, en la mayoría de los casos, la persona que vaya a diseñar la antena ya tiene impuesto muchos impedimentos para su rendimiento óptimo.

El problema es que los usuarios sostienen el terminal como les sea más cómodo pero, en el transcurso de una llamada, el usuario puede variar su forma de sujetarlo, ya sea por falta de volumen o por la mala calidad del sonido. Por todo esto, los diseñadores industriales tienen que asegurarse de que, en ningún caso, el usuario sea capaz de cubrir la antena y con ello conseguir peores prestaciones de las especificadas en su diseño.

Para paliar la degradación de la eficiencia pueden utilizarse técnicas de adaptación y síntesis de impedancia. El estudio de la variación de impedancias es relevante para simplificar dicha arquitectura y mejorar la duración de la batería del terminal.

Capítulo 3

Diseño de antenas impresas para sistemas DVB-H y DVB-SH

En este capítulo, se definen brevemente las antenas impresas y los criterios de evaluación de las estructuras propuestas. Además se explica cómo se ha desarrollado la simulación del usuario, ya que puede afectar seriamente a las prestaciones de la antena.

A continuación, se exponen los diseños de las estructuras radiantes. El objetivo es comparar las prestaciones de ambas propuestas en términos de pérdidas de retorno, tamaño de los diseños, anchos de banda, directividad y ganancia realizada. Ambos diseños deberán cumplir los requisitos definidos en los estándares DVB-H y DVB-SH.

3.1 Antenas impresas

Las antenas impresas de tipo parche, también denominadas antenas microstrip, se diseñan a partir de líneas de transmisión o resonadores sobre substrato dieléctrico, eligiendo las dimensiones de forma que la estructura transforme la potencia de la señal en forma de radiación electromagnética.

Típicamente, la estructura consiste en un parche metálico (dimensiones comparables a λ), sobre un substrato dieléctrico sin pérdidas, como se observa en la figura 3.1. El grosor oscila entre 0.003λ y 0.05λ y la constante dieléctrica relativa (ϵ_r) suele tomar valores entre 2 y 12. En la parte inferior de la estructura se tiene un plano conductor perfecto.

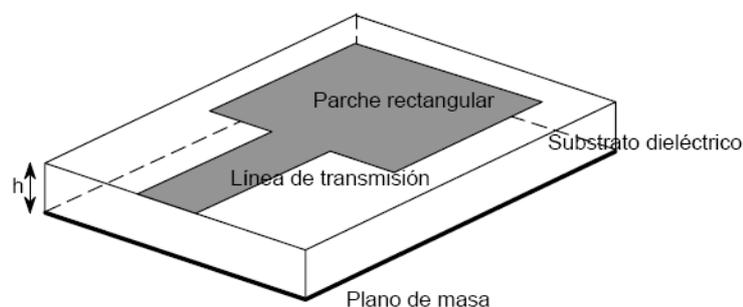


Figura 3.1.- Antena impresa

Las ventajas más importantes son: su bajo perfil, su adaptabilidad a la forma de la estructura (plana o curvada), su fabricación sencilla y barata, su robustez, su capacidad de combinarse con circuitos integrados de microondas y, además, es posible diseñarlas para trabajar a diversas frecuencias y con distintas polarizaciones.

También presentan algunos inconvenientes como: su baja eficiencia, alto factor de calidad (inversamente proporcional al ancho de banda) y, pobre pureza de polarización. Además son de banda estrecha y la radiación de las líneas puede modificar los parámetros de las antenas.

Sus prestaciones electromagnéticas quedan definidas por dos factores relevantes: la forma geométrica del parche y el tipo de alimentación, características que se analizan con más detalles en el anexo C.

La nomenclatura que se usa en la memoria con respecto a las longitudes de onda es la siguiente:

i) Longitud de onda relativa, λ $\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$ (3.1)

ii) Longitud de onda efectiva, λ_{ef} $\lambda_{ef} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$ (3.2)

3.2 Modelado del usuario

Un efecto a tener muy en cuenta es la influencia del ser humano en las características de radiación de la antena, ya que éstas pueden verse modificadas. En función de la posición del usuario respecto a la antena, el cuerpo podría actuar como un reflector o absorber la señal por completo.

A continuación, como se puede observar en la figura 3.2, se modela la mano del ser humano y, en la figura 3.3, cómo se ha representado el usuario (cuerpo o cabeza, mano y dedo).

El cuerpo o cabeza se corresponde a una superficie plana que está limitada por unas condiciones de frontera en la manera que se describe en [7]. Esta limitación tiene el efecto de extender el cuerpo hasta el infinito en los ejes $\pm x$, $\pm y$, $\pm z$. Un límite de radiación se coloca sobre la mitad del espacio que no ocupa el cuerpo. Los valores de la constante dieléctrica, ϵ_r y la conductividad σ (S/m) de la cabeza, mano y piel se muestran en la tabla 3.1 para frecuencias típicas de sistemas móviles. Dada la cercanía a las frecuencias de operación de DVB-H, se asumen como válidas dichas constantes en este trabajo, tomando los valores de GSM para la banda DVB-H y los valores DCS (*Digital Cellular Service*) para la banda DVB-SH.

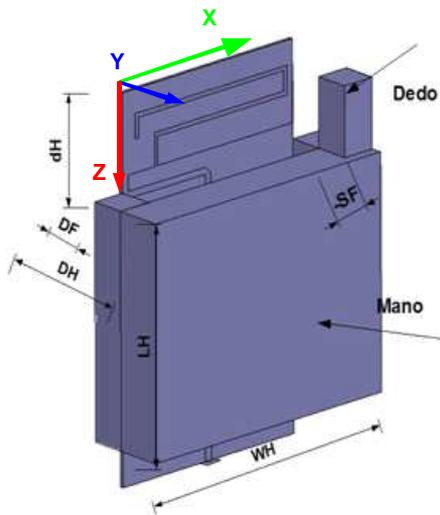


Figura 3.2.- Modelado de la mano

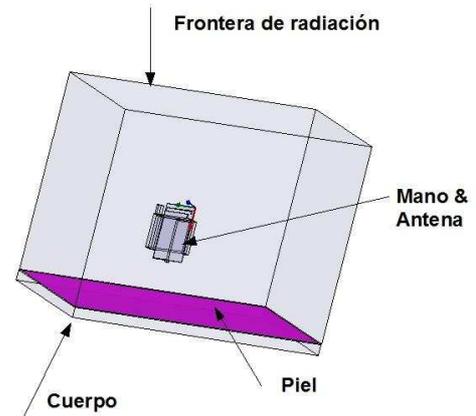


Figura 3.3.- Modelado del usuario

Tabla 3.1.- Constante dieléctrica y conductividad de la cabeza, mano y capas de la piel

BANDA FRECUENCIA	CUERPO, MANO Y DEDO		PIEL	
	ϵ_r	σ (S/m)	ϵ_r	σ (S/m)
GSM	41.5	0.9	4.2	0.0042
DCS	40.0	1.4	4.2	0.0084

En el modelado del usuario se utiliza un cuerpo, una mano y un dedo, donde todos los componentes se consideran músculo. La distancia d_H (desde el tope de la mano hasta la parte superior del PCB (*Printed Circuit Board*)) es fija a 30 mm. El dedo se modela como 30 x 15 x 15 mm, por tanto el tope del dedo coincide con la parte más alta de la antena. El dedo está desplazado del centro de la mano una distancia S_F como se muestra en la figura 3.2 (creciendo a medida que crece el eje x). Esta distancia varía desde -20 hasta 35 mm (en la figura se muestra su valor mínimo, -20 mm) para tratar de encontrar un rango de impedancias válidas.

Una vez definido cómo se modela al usuario, se va a establecer el objetivo del estudio comparativo y las bases del mismo, para asegurar la validez de resultados y conclusiones.

3.3 Criterios para la evaluación de resultados

El objetivo que se busca es el de comparar las prestaciones de ambas propuestas de diseño para sendas bandas de trabajo. Los parámetros que se analizan son el tamaño de la estructura radiante, el ancho de banda, las pérdidas de retorno y la ganancia realizada.

3.3.1 Bases para el estudio comparativo

Se fijan una serie de condiciones, que permanecen invariables, para que una vez expuestas ambas propuestas de diseño, se comparen de forma precisa.

- a) Para que las propiedades inherentes de los materiales empleados no afecten a las conclusiones de la comparación, el substrato FR4 de 1.54 mm es el utilizado en todos los diseños propuestos en este proyecto y se utiliza una constante dieléctrica de valor 4.55 y una tangente de pérdidas de valor 0.02.
- b) Todas las geometrías se diseñan con una impedancia de referencia de 50Ω.
- c) Para comparar las estructuras radiantes, el estudio se centra en dos bandas de frecuencias. La primera de 470-710 MHz y la segunda de 1518-1559 MHz, fijando la frecuencia central de diseño en 588 MHz y en 1538 MHz respectivamente. A continuación, se calculan las dimensiones de las geometrías en estas bandas de trabajo y, finalmente, se comparan entre ellos los parámetros antes mencionados.

3.3.2 Parámetros cuantitativos de evaluación

Una vez establecidos los parámetros anteriores, se define una serie de consideraciones generales de antenas, sobre las cuales se efectúa un estudio comparativo entre ambas propuestas de diseño. Estos conceptos quedan más detallados en el Anexo B.

- a) Ancho de banda de impedancia: rango de frecuencias en el que la adaptación de impedancia a la entrada satisface el criterio especificado por las pérdidas de retorno (*Return Loss*, RL).
- b) Frecuencia central (f_{central}): valor medio de los límites frecuenciales máximo (f_{max}) y mínimo (f_{min}), dentro de los cuales se cumple el criterio de pérdidas de retorno definido. Matemáticamente queda definida por

$$f_{\text{central}} = \frac{f_{\text{max}} + f_{\text{min}}}{2}, \text{ RL} (f_{\text{min}} \leq f \leq f_{\text{max}}) \leq \text{RL}_{\text{max}} \quad (3.3)$$

- c) Frecuencia de resonancia: frecuencia en la que la parte imaginaria de la impedancia de antena es nula.
- d) Para definir el concepto de ganancia realizada, hay que establecer, previamente el concepto de eficiencia de adaptación (η_m), como la relación entre la potencia realmente entregada por el generador a la antena (P_{in}), y la potencia total que el generador es capaz de entregar (P_{t}).

$$\eta_m = \frac{P_{in}}{P_t} = 1 - |\rho|^2 \quad (3.4)$$

Se define la eficiencia total (η_{tot}) de antena según la siguiente fórmula

$$\eta_{tot} = \frac{P_{rad}}{P_t} = \frac{P_{rad}}{P_{in}} \frac{P_{in}}{P_t} = \eta_{rad} \eta_m \quad (3.5)$$

Si se multiplica la eficiencia total por la directividad (D), se obtiene la ganancia realizada (G_r)

$$G_r = \eta_{tot} D \quad (3.6)$$

Las propuestas estudiadas en este proyecto se basan en estructuras radiantes para sistemas de telefonía móvil, que se han modificado convenientemente para que funcionen adecuadamente en las bandas de frecuencias de nuestro interés, es decir, entre 470-710 MHz y 1518-1559 MHz.

A continuación, se van a representar los resultados obtenidos en las simulaciones con el programa HFSS, para las dos propuestas de diseño en ambas bandas de frecuencia.

3.4 Simulación de la Propuesta 1

La antena que se propone como primera propuesta se muestra en la figura 3.4 [8].

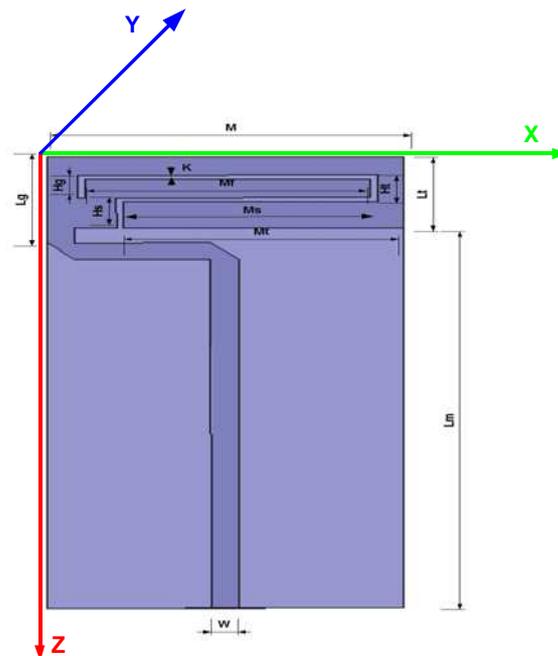


Figura 3.4.- Diseño original propuesta 1

Para poder trasladar las frecuencias del diseño original a las de interés, se utiliza la técnica del escalado. Esta técnica consiste en escalar las dimensiones de la antena en términos de longitud de onda. A medida que las dimensiones aumentan, la respuesta en frecuencia se desplaza a frecuencias inferiores, mientras que si las medidas disminuyen, la respuesta se traslada a frecuencias superiores.

Con la técnica del escalado se busca trasladar la resonancia de 2 GHz a la banda de DVB-H, ya que posee mejores características. En cambio para el diseño de la banda L, con desplazar mínimamente las resonancias con el método del escalado es suficiente, ya que esta banda no requiere mucho ancho de banda.

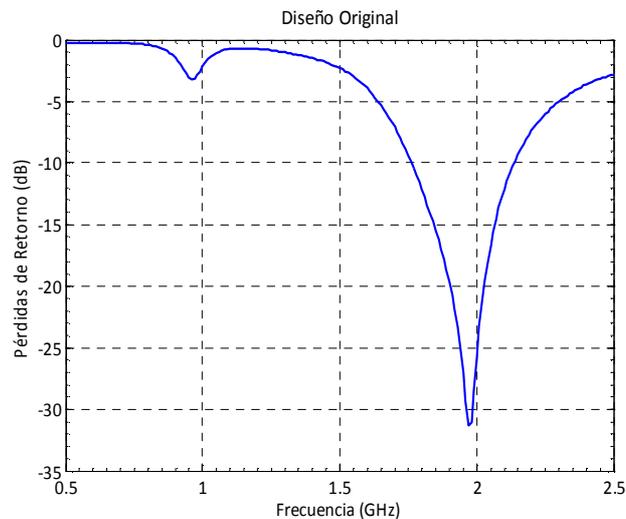


Figura 3.5.- Pérdidas retorno modelo original propuesta 1

Una antena de esta forma sobre el parche rectangular produce una división del parche en dos subparches, uno interior más pequeño y otro más grande que envuelve al anterior, lo que provoca dos superficies de excitación de corriente. La longitud de la partición grande es mucho mayor que la anchura de la antena, lo que posibilita un modo resonante a frecuencia inferior. El tamaño de esta zona tiene un valor de $\lambda/4$ de la frecuencia inferior, mientras que la longitud del subparche interior (aproximadamente coincide con la anchura de la antena) es de $\lambda/4$ de la frecuencia superior. En la figura 3.6 se observa la distribución de corrientes para ambas resonancias del diseño original. Como se aprecia, en la primera figura se excita el parche interior, mientras que en la segunda se excita el parche exterior.

Primero se trabaja con el diseño original para obtener los valores de la constante dieléctrica efectiva y de la longitud de onda efectiva, utilizando las ecuaciones del anexo C.3 y las ecuaciones 3.1 y 3.2. A continuación, se estudia la relación que hay entre la anchura M de la antena y el valor de $\lambda_{ef}/4$, para que la antena

sea resonante. En el caso del diseño original, el valor de M es 30 mm y el valor de $\lambda_{ef}/4$ es entorno a 21 mm, por tanto la relación es $1.43 \lambda_{ef}/4$.

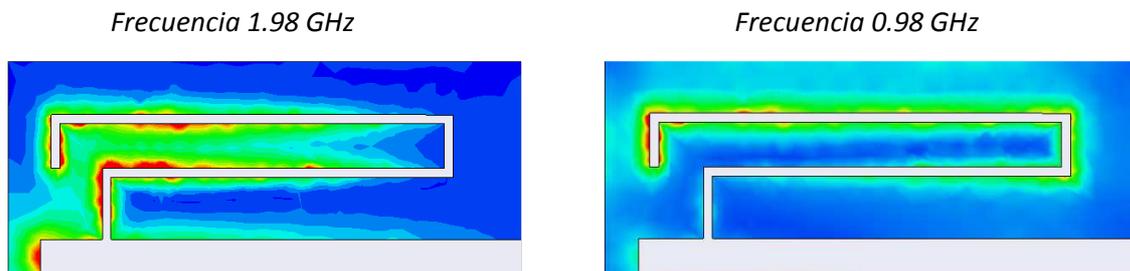


Figura 3.6 Distribución de corrientes diseño original

Para continuar, se calculan los valores de las longitudes de onda efectiva para las bandas DVB-H y DVB-SH y el valor de la constante dieléctrica efectiva como en el caso anterior. Luego se opera de la misma forma que con el diseño original, se calculan los valores de $\lambda_{ef}/4$ y se mantienen las mismas proporciones que existían anteriormente con el parámetro M. Por tanto, manteniendo las proporciones del diseño original es decir, $1.43 \lambda_{ef}/4$, se obtienen los valores del parámetro M para ambas bandas de trabajo. El resto de las medidas se calculan mediante una proporción entre los valores de M en el diseño original y en los diseños nuevos.

Por último, para conseguir una línea de transmisión que este adaptada a 50Ω , la anchura de la pista W debe de ser de 2.83 mm, tal y como se calcula en el Anexo D.

a) Diseño Banda L

Una vez establecido el proceso de diseño genérico, se calculan los valores para la banda L. El valor de $\lambda_{ef}/4$ que se obtiene es 26.36 mm y el valor del parámetro M es 37.6 mm.

En el caso del diseño de la antena para tecnología DVB-SH en la banda L, se obtienen unos resultados satisfactorios con sólo utilizar la técnica del escalado. A pesar de esto, se realizan unas variaciones mínimas a los valores de los parámetros para conseguir unas prestaciones superiores a las anteriores, obteniendo las dimensiones que se muestran en la tabla 3.2.

En la figura 3.7 se representan las pérdidas de retorno. Se obtienen unos valores entre -18 dB y -20 dB para todo el ancho de banda requerido, por lo que el diseño cumple con los requisitos de ancho de banda.

Tabla 3.2.- Medidas escaladas diseño banda L propuesta 1

MEDIDAS	VALORES (mm)	VALORES ÓPTIMOS (mm)
M	37.6	35.50
Ms	24.76	25.33
Mt	29.71	27.90
Mf	27.85	28.50
K	0.61	0.63
Hg	3.71	3.80
Hs	4.95	5.08
Ht	4.33	4.44
Lt	12.38	12.00
Lg	14.85	14.40
Lm	61.90	64.00
L=Lm+Lt	74.28	76.00
W	2.83	2.83

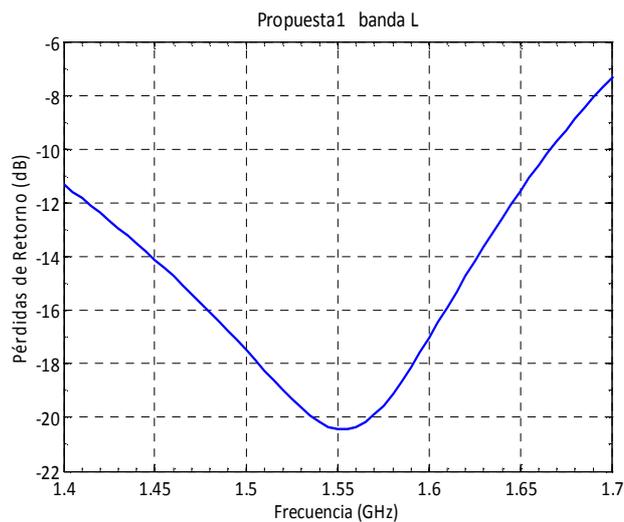


Figura 3.7.- Pérdidas retorno diseño banda L propuesta 1

En la figura 3.8 se representa el diseño final para la banda L y en las figuras 3.9-3.11 los diagramas de radiación de la propuesta final. En la figura 3.9 se puede ver el diagrama de radiación en 3D en su frecuencia central y en las figuras 3.10 y 3.11 se muestran los cortes de dicho diagrama.

El patrón de radiación 3D y los cortes con los planos XY y ZY, la antena es casi omnidireccional a la frecuencia central de la banda L.

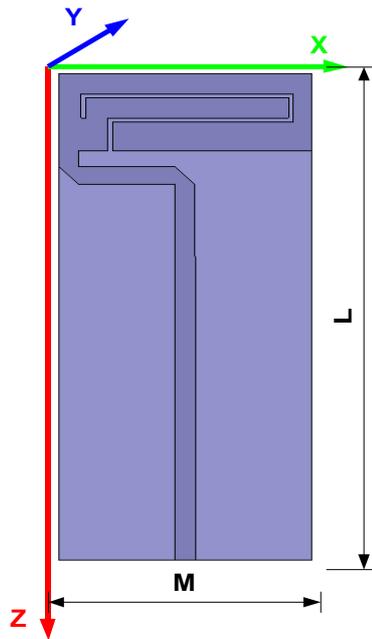


Figura 3.8.- Diseño final banda L propuesta 1

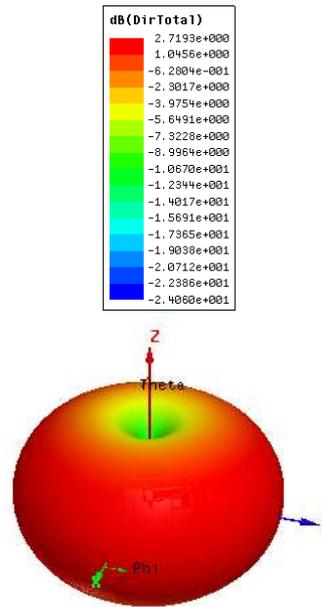


Figura 3.9.- Diagrama radiación 3D diseño final banda L propuesta 1

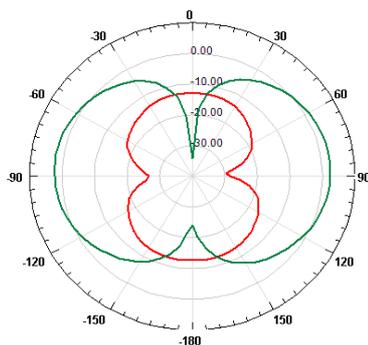


Figura 3.10.- Diagrama radiación plano ZY diseño final banda L propuesta 1

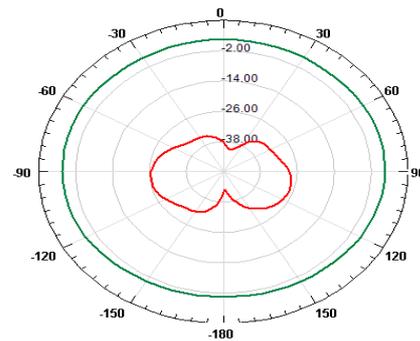


Figura 3.11.- Diagrama radiación plano XY diseño final banda L propuesta 1

a) Diseño Banda DVB-H

En el caso de la tecnología DVB-H, existen más problemas, en especial con el ancho de banda, que debe ser más amplio. Al igual que en la banda L, se calculan los valores de $\lambda_{ef}/4$ y el parámetro M a partir del proceso genérico, cuyos valores son 69 y 98 mm respectivamente.

Primero se obtienen los nuevos valores escalados, los cuales se muestran en la tabla 3.3. Con éstos se consigue trasladar la resonancia de 2 GHz a la frecuencia central de DVB-H, 588 MHz, (figura 3.12). El problema consiste en que los valores de las pérdidas de retorno son cercanos a -4 dB, por lo que este diseño no es funcional y es necesario hacer modificaciones para optimizarlo.

La primera modificación consiste en alargar el parámetro L ($L_m + L_t$) hasta 210 mm, es decir, el plano de masa y por tanto la línea de transmisión. Con esto se consigue una mejoría en las pérdidas de retorno, que ahora son en torno a -25 dB. No obstante, el tamaño de la antena es inviable para un dispositivo portátil. Para intentar solucionar el problema del tamaño, se reduce el parámetro L_m a costa de empeorar las pérdidas de retorno, por lo que se está ante un compromiso entre ambos parámetros.

Tabla 3.3.- Medidas escaladas diseño DVB-H propuesta 1

MEDIDAS	VALORES (mm)
M	98.00
Ms	66.00
Mt	73.50
Mf	78.50
K	1.70
Hg	10.00
Hs	13.00
Ht	11.50
Lt	33.00
Lg	40.00
Lm	167.00
$L=L_m+L_t$	210.00
W	2.83

Se puede comprobar que el valor óptimo se da para una antena de longitud 165 mm, obteniendo unas pérdidas de -10 dB. En la figura 3.12 se muestra la evolución de la longitud de la antena o parámetro L, en la que se aprecia que, a medida que la longitud se incrementa, mejoran los valores de pérdidas de retorno.

Antes de empezar a trabajar con el diseño de tamaño 165 mm, se realiza una última prueba con el diseño de 210 mm (ya que si no se tiene en cuenta sus dimensiones, es la antena con mejores prestaciones). Esta prueba consiste en intentar conseguir unas pérdidas de retorno válidas para todo el ancho de banda de DVB-H. Para ampliar el ancho de banda se colocan sendos conductores alrededor de la estructura o se desplaza el plano de masa tanto alejándolo como acercándolo (estos conceptos se detallan en el Anexo E). A pesar de esto, los resultados no mejoran, por lo que se intenta conseguir el máximo ancho de banda posible en el diseño de 165 mm.

Para reducir el tamaño de la antena, que tiene un tamaño considerable a costa de no obtener peores pérdidas de retorno, por tanto, se decide realizar un plegado de la línea de transmisión pero manteniendo su longitud total, L_m . Al realizar el plegado, se vuelve a obtener valores de pérdidas de retorno no aceptables, a pesar de

mantener el tamaño total de la línea de transmisión. Todo esto lleva a pensar que la línea forma parte de la antena, por lo que se decide realizar dos simulaciones más, una alargando la línea y otra acortándola, pero siempre manteniendo constante la longitud total de la antena.

Como se puede observar en la figura 3.13, a medida que la línea de transmisión se hace más larga, los niveles de pérdidas de retorno son mejores y, además, se acerca más a la frecuencia central de DVB-H (588 MHz).

Así, se confirma la hipótesis de que la línea de transmisión está incluida en la antena y, por eso, a medida que crece su longitud mejoran las pérdidas de retorno, independientemente de si se incrementa de forma recta o plegándola.

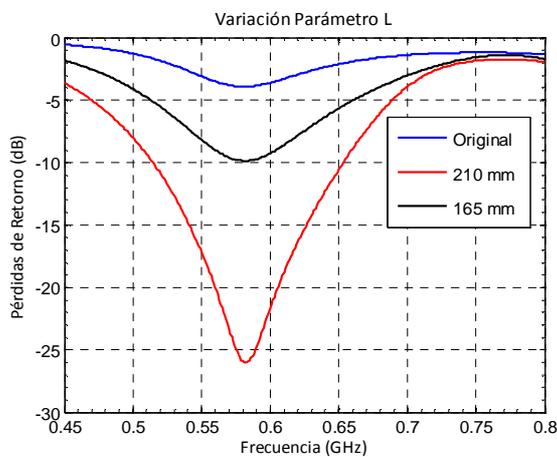


Figura 3.12.- Pérdidas retorno variando longitud diseño DVB-H propuesta 1

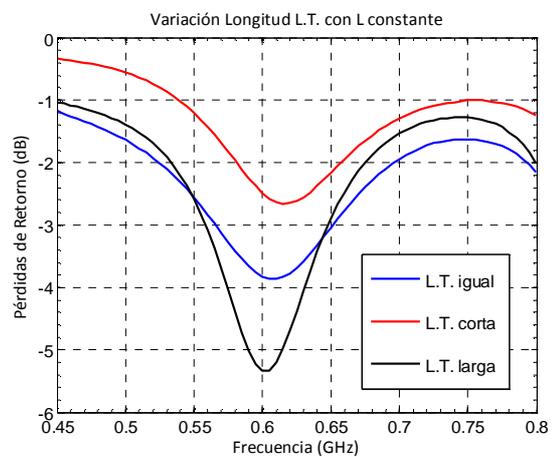


Figura 3.13.- Pérdidas retorno variando tamaño L.T en diseño DVB-H propuesta 1

Por lo tanto, se plantea un último diseño en el cual la longitud de la antena, L sea 165 mm, y en el que la característica importante es la de adaptar dos líneas de transmisión de tamaños distintos para obtener resultados óptimos. Esta parte del diseño se desarrolla con el programa Microwave Office, con el cual se varía el tamaño de la segunda línea de transmisión (W_2) hasta obtener el valor que da prestaciones óptimas. El circuito que se diseña se muestra en la figura 3.14. Al igual que en la banda L, se realiza una pequeña variación de las medidas hasta obtener valores óptimos que se muestran en la tabla 3.4.

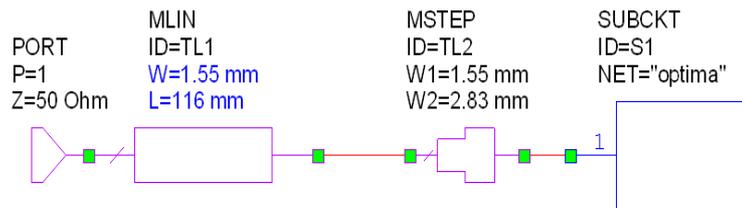


Figura 3.14.- Circuito cálculo anchura W_2

Tabla 3.4.- Medidas óptimas diseño DVB-H propuesta 1

MEDIDAS	VALORES (mm)	VALORES ÓPTIMOS (mm)
W	98.00	92.00
Ws	66.00	70.00
Wt	73.50	73.00
Wf	78.50	78.75
K	1.70	1.75
Hg	10.00	10.50
Hs	13.00	14.00
Ht	11.50	12.25
Lt	33.00	35.00
Lg	40.00	42.00
Lm	167.00	130.00
L=Lm+Lt	200.00	165.00
W	2.83	2.83
W ₂	1.55	1.55

En la figura 3.15 se representa la antena final para la banda DVB-H. En la figura 3.16 se muestra el diagrama de radiación en 3D de la antena final en la frecuencia central y en las figuras 3.17 y 3.218 se pueden ver los cortes de dicho diagrama.

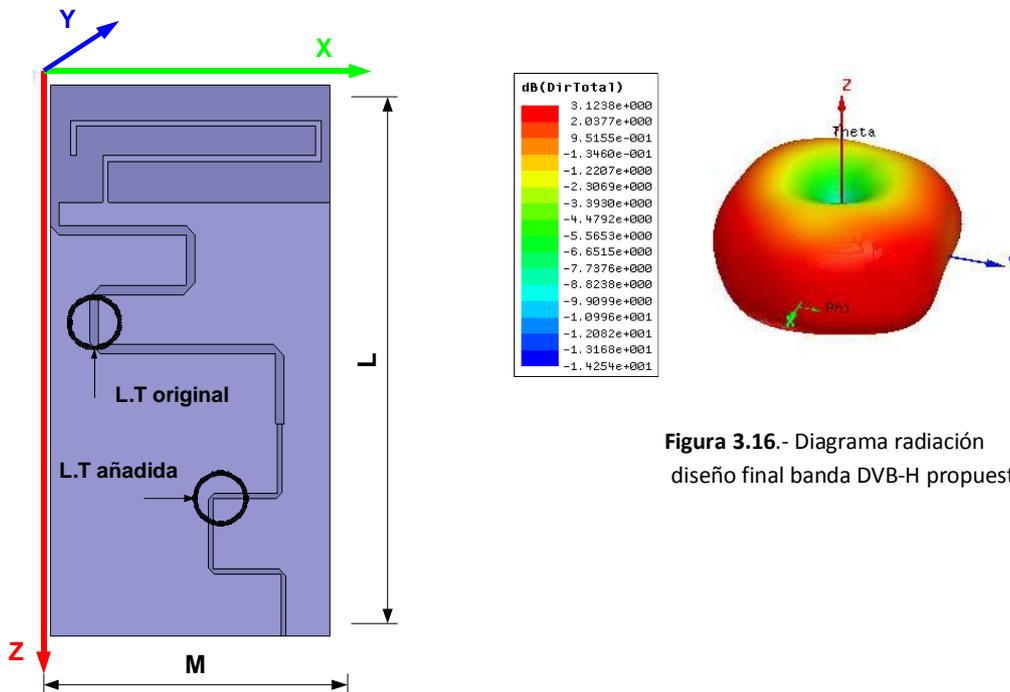


Figura 3.15.- Diseño final banda DVB-H propuesta 1

Figura 3.16.- Diagrama radiación 3D diseño final banda DVB-H propuesta 1

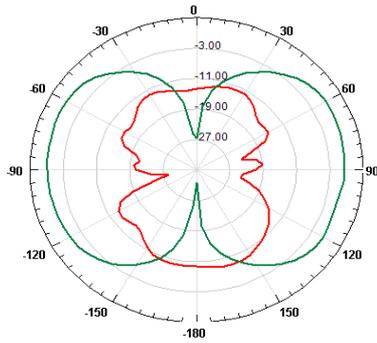


Figura 3.17.- Diagrama radiación plano ZY diseño final banda DVB-H propuesta 1

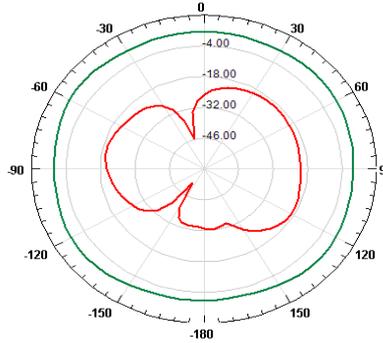


Figura 3.18.- Diagrama radiación plano XY diseño final banda DVB-H propuesta 1

En DVB-H, tanto el diagrama de radiación como los cortes en los planos XY y ZY, presentan una mayor desviación con respecto a un comportamiento omnidireccional, en comparación con los resultados obtenidos para la banda L.

En la figura 3.19 se muestra una comparativa entre los diseños para la banda DVB-H: el diseño de 210 mm (opción con mejores prestaciones salvo tamaño), el de 165 mm y el final. Éste mejora las prestaciones del diseño de 165 mm, a pesar de tener el mismo tamaño de antena, pero sin llegar a los valores de pérdidas de retorno del diseño de 210 mm de largura. En la figura 3.20 se comprueba que el diseño de la antena para la banda DVB-H cumple el criterio de ganancia realizada.

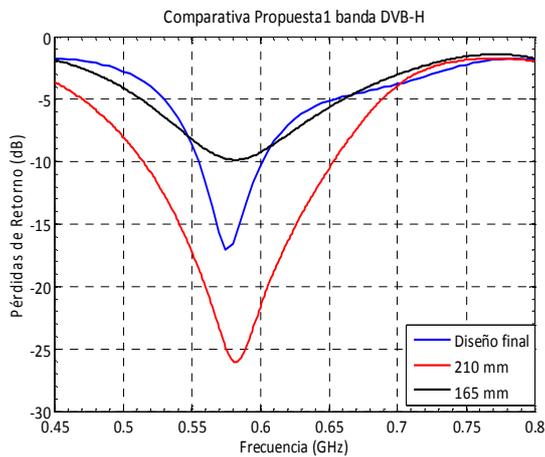


Figura 3.19.- Comparativa pérdidas retorno en diseño final DVB-H propuesta 1

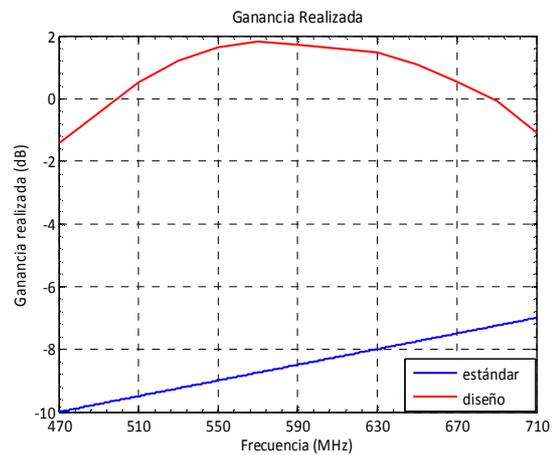


Figura 3.20. Ganancia realizada para DVB-H propuesta 1

3.5 Simulación Propuesta 2

La metodología de desarrollo es similar a la de la primera propuesta. Se parte de un diseño original [9] y se realiza un escalado para trasladar el diseño a las bandas de

trabajo de interés. A continuación, se muestra en la figura 3.21 el diseño original y en la figura 3.22 las pérdidas de retorno del diseño original.

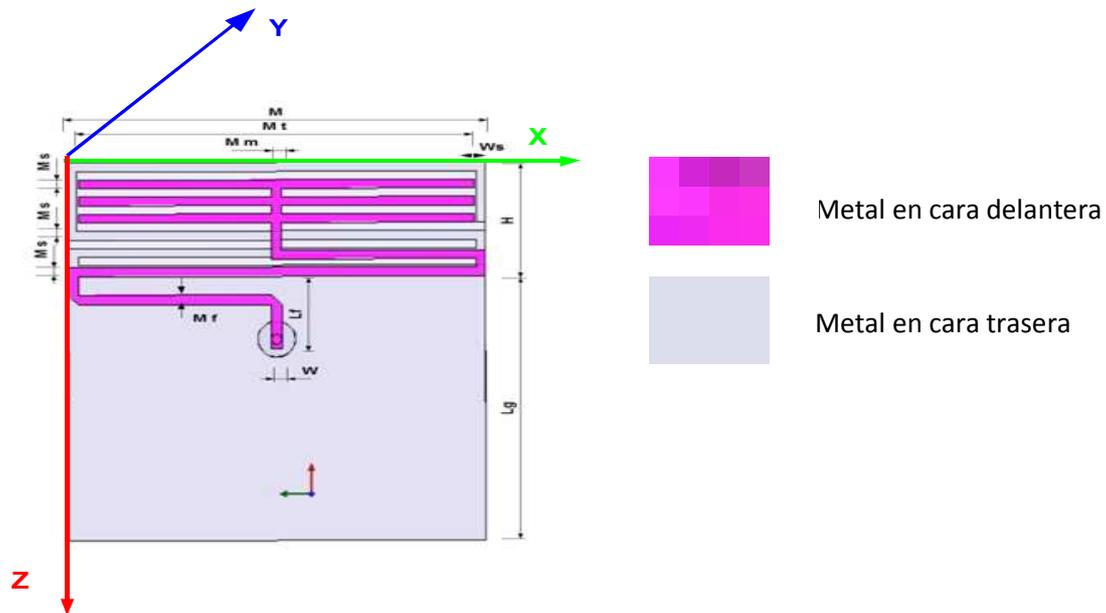


Figura 3.21.- Diseño original propuesta 2

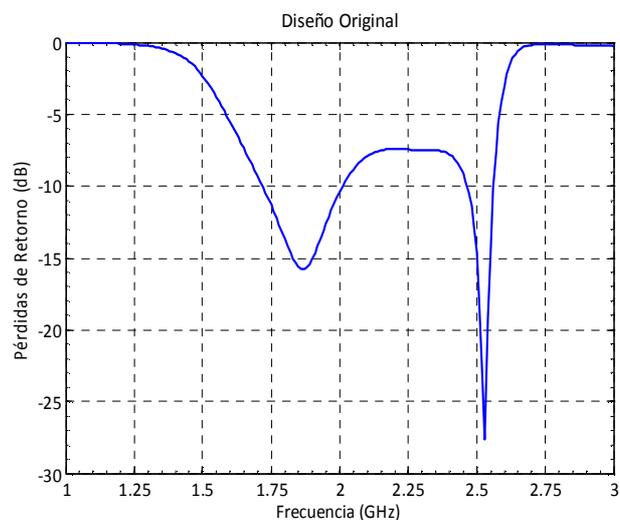


Figura 3.22.- Pérdidas retorno diseño original propuesta 2

La peculiaridad de este diseño es que se tienen dos líneas microtira, una en cada lado del sustrato, también conocido como línea biplaca. Esto implica que, al cambiar el sustrato original por el FR4, también hay que cambiar el tamaño de las líneas, ya que si no la antena no está adaptada a 50Ω . Para calcular estas dimensiones se utiliza el teorema de imágenes y las expresiones correspondientes al diseño de líneas microtira. Este concepto se explica más detalladamente en el Anexo F.

En esta propuesta no ocurre como en la anterior, en la cual se tienen dos subparches y cada uno resuena a una frecuencia diferente. En este caso, las dos

microtiras afectan a ambas resonancias, tal y como se muestra la distribución de corriente en la figura 3.25.

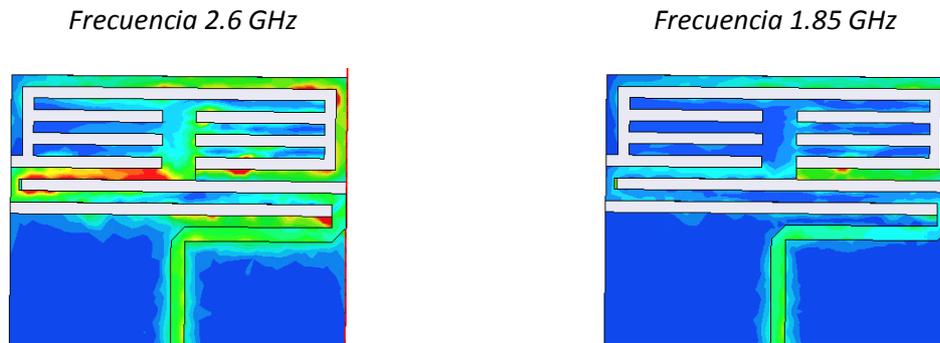


Figura 3.23.- Distribución de corrientes diseño original

A continuación, se calculan los valores de la constante dieléctrica efectiva y longitud de onda efectiva para el diseño original, utilizando las ecuaciones 3.1 y 3.2 y las del Anexo C.3, obteniéndose unos valores 1.86 y 87.84 mm respectivamente, y se estudia la relación que hay entre la anchura M de la antena y el valor de $\lambda_{ef}/4$ para el diseño original. Como el valor de M era 18 mm, la relación es $0.82 \lambda_{ef}/4$.

Se calculan los valores de las longitudes de onda efectivas para las bandas DVB-H y DVB-SH y el valor de la constante dieléctrica efectiva. Posteriormente, se calculan los valores de $\lambda_{ef}/4$ y se mantienen las mismas proporciones que había anteriormente con el parámetro M , con lo que se obtienen las nuevas medidas para cada diseño del parámetro M .

En este caso, el método del escalado no da unas medidas efectivas, en especial en la banda DVB-H, debido a la presencia de dos líneas microstrip en el diseño original. Por tanto, las medidas que resulten del escalado deben modificarse hasta obtener unas pérdidas de retorno válidas para el diseño buscado.

a) Diseño Banda L

En el diseño de la banda L, el valor de $\lambda_{ef}/4$ es 26.36 mm y, por tanto, la anchura de la antena, M , es de 21 mm. Se calculan el resto de medidas por proporcionalidad, que se muestran en la tabla 3.5 y se observa que, en este caso, con la nueva medida de M sí que se acerca a la banda de trabajo. A continuación se estudia cómo afectan la variación de la anchura de los stubs (M_s) y la largura total de la antena ($L=H+L_g$).

Tabla 3.5.- Medidas escaladas diseño banda L propuesta 2

MEDIDAS	VALORES (mm)
M	21.00
MT	18.20
Mt	2.10
Mf	0.875
Ms	0.80
H	8.80
Lf	17.50
Lg	70.00
L=H+Lg	78.80
W	2.83

El primer parámetro a estudiar es la largura de la antena L (figura 3.24), manteniendo constante la anchura de los stubs Ms. A medida que ésta aumenta, se consigue un desplazamiento en frecuencia e incluso se llega a obtener peores pérdidas de retorno. Tras esta variación de parámetro, la longitud queda fijada a 86 mm, ya que se consigue centrar en la banda de frecuencia, además de obtener unas buenas pérdidas de retorno y un ancho de banda válido.

Una vez fijado la largura de la antena a 86 mm, se analiza una variación en la anchura de los stubs, tal y como muestra la figura 3.25. En este caso se varía dicha anchura y se comprueba que, a medida que se incrementa, la antena se adapta mejor, consiguiendo unas buenas pérdidas de retorno, aunque se empeora el ancho de banda. A pesar de esto, la ventaja de esta banda con respecto a la de DVB-H, es que no es muy exigente en ancho de banda y, tal y como muestra la figura 3.25, el diseño con una anchura de 2.4 mm cumple con los requerimientos.

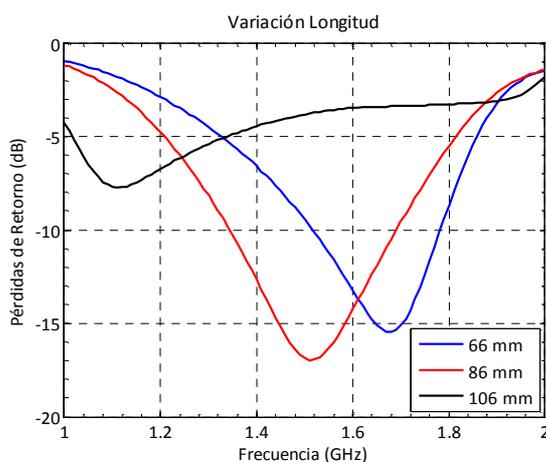


Figura 3.24 Pérdidas retorno diseño variando longitud antena banda L propuesta 2

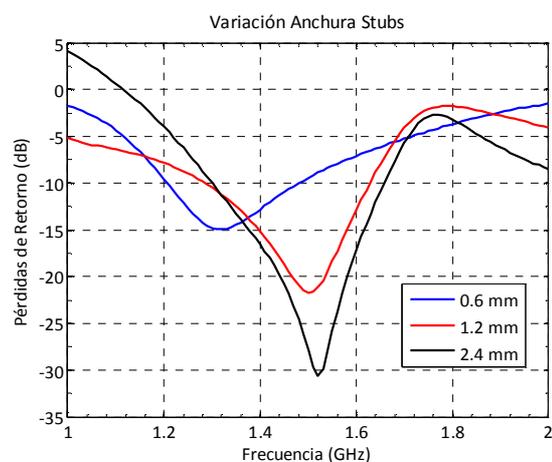


Figura 3.25 Pérdidas retorno variando anchura stubs banda L propuesta 2

En la tabla 3.6 se muestran las medidas óptimas obtenidas. Una vez obtenidas unas características que cumplían los objetivos, se hace un ajuste de los parámetros para optimizarlos, obteniéndose los siguientes valores.

Tabla 3.6.- Medidas óptimas diseño banda L propuesta 2

MEDIDAS	VALORES (mm)	VALORES ÓPTIMOS (mm)
M	21.00	20.75
MT	18.20	8.75
Mt	2.10	1.85
Mf	0.875	2.83
Ms	0.80	2.40
H	8.80	28.80
Lf	17.50	16.03
Lg	70.00	57.20
L=H+Lg	78.80	86.00
W	2.83	2.83

El diseño final de la banda L se puede ver en la figura 3.26. En la figura 3.27 se representa el diagrama de radiación de la antena final para la frecuencia central de la banda y en las figuras 3.28 y 3.29 se muestran los cortes de dicho diagrama.

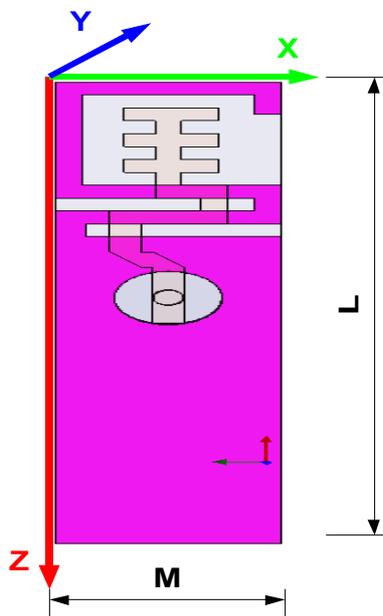


Figura 3.26.- Diseño final banda L propuesta 2

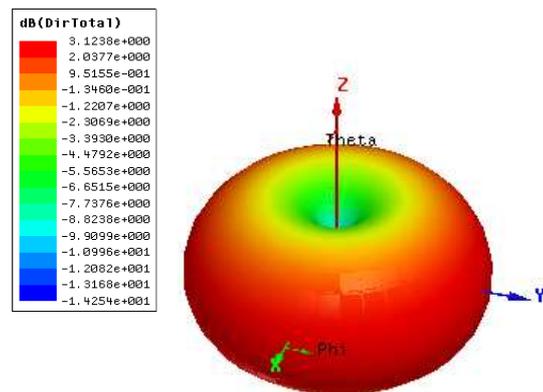


Figura 3.27.- Diagrama radiación 3D diseño final banda L propuesta 2

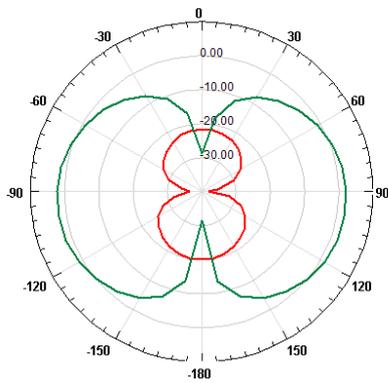


Figura 3.28.- Diagrama radiación plano ZY
diseño final banda L propuesta 2

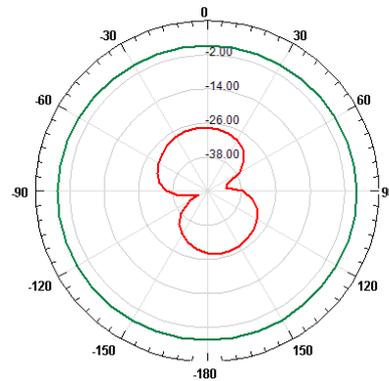


Figura 3.29.- Diagrama radiación plano XY
diseño final banda L propuesta 2

En este caso, el comportamiento de la antena sigue un patrón casi omnidireccional a la frecuencia central de la banda L.

b) Diseño Banda DVB-H

En el diseño de la antena para DVB-H, se obtiene un valor $\lambda_{ef}/4$ de 69 mm y, por tanto, la anchura de la antena, M, es de 57 mm. Estas medidas calculadas con el escalado se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7.- Medidas escaladas diseño DVB-H propuesta 2

MEDIDAS	VALORES (mm)
M	57.00
MT	49.40
Mt	5.70
Mf	2.375
Ms	1.90
H	22.80
Lf	47.50
Lg	190.00
L=H+Lg	212.80
W	2.83

Las medidas que surgen del escalado no son fiables, así que se aumenta el tamaño de M hasta obtener unos resultados centrados en la banda DVB-H. Este tamaño es de 111 mm.

Una vez definida la anchura de la antena, se estudia cómo afectan la variación de los parámetros a sus prestaciones. Estos son la longitud total de la antena L, la variación de la anchura de los stubs Ms y el número de stubs. Una variación de un parámetro suele provocar un deterioro en otro parámetro, por lo que, para tomar una

decisión final, habrá que evaluar una serie de condiciones para establecer un compromiso.

El primer parámetro que se estudia es la longitud total de la antena, es decir, magnitud L. En la figura 3.30 se puede observar cómo afecta la variación de la largura total de la antena. Un aumento en la longitud de la antena produce una mejora en sus características, a la vez que un compromiso debido a su tamaño.

A continuación, se estudia cómo afecta la anchura de los stubs, manteniendo fija la longitud total de la antena a 106 mm. Como se muestra en la figura 3.31, una variación de este parámetro afecta de tal forma que desplaza la respuesta en frecuencia y varía el nivel de pérdidas de retorno obtenido. En este caso, un aumento de tamaño no siempre implica mejores resultados, consiguiendo las mejores prestaciones con una anchura de 2,4 mm, ya que se obtienen los mejores niveles de pérdidas de retorno y el mayor ancho de banda.

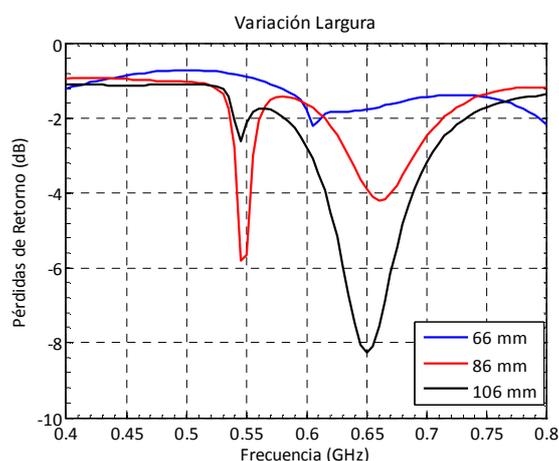


Figura 3.30.- Pérdidas retorno variando longitud antena DVB-H propuesta 2

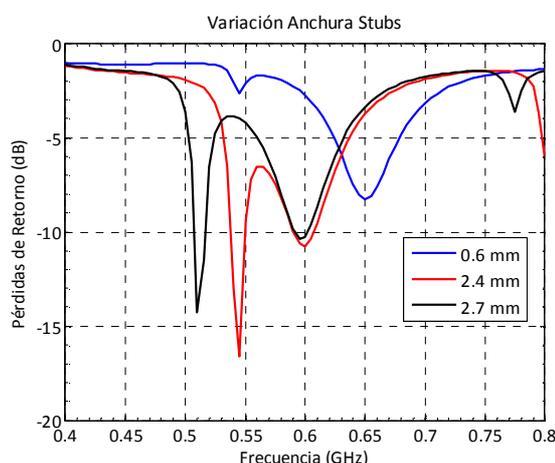


Figura 3.31.- Pérdidas retorno variando anchura stubs DVB-H propuesta 2

El siguiente parámetro que se estudia es el número de stubs. En la figura 3.32 se muestra la variación de las pérdidas de retorno al ir aumentando el número de stubs, con anchura 2.4 mm y una longitud de 106 mm. Como ocurre en la gráfica anterior, no siempre que se aumenta el número de stubs se obtienen mejores resultados. En este caso, para la medida con 4 stubs, se obtienen mejores pérdidas de retorno pero, para este caso, el ancho de banda no es el óptimo, ya que éste se obtiene para el caso de 5 stubs, lo que supone un compromiso.

Una vez comprobado cómo afecta la variación de estos parámetros, se debe de tomar una decisión. Parece lógico que, a medida que aumentemos la longitud, se mejoran las prestaciones. En cambio, la anchura óptima para los stubs debería ser 2.4 mm. Por tanto, para decidir, se realiza una comparativa variando la longitud y el numero de stubs, tal y como muestra la figura 3.33. De esta forma, se puede ver que la solución óptima se alcanzaría con 5 stubs y una longitud de 165 mm, ya que es el

diseño con mayor ancho de banda y, además, las pérdidas de retorno en toda la banda de frecuencias son válidas.

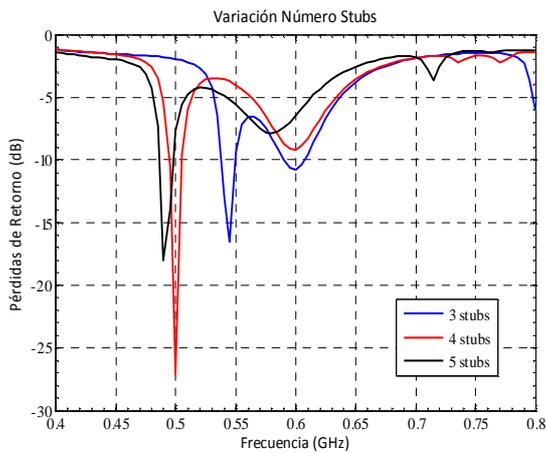


Figura 3.32.- Pérdidas retorno variando número stubs DVB-H propuesta 2

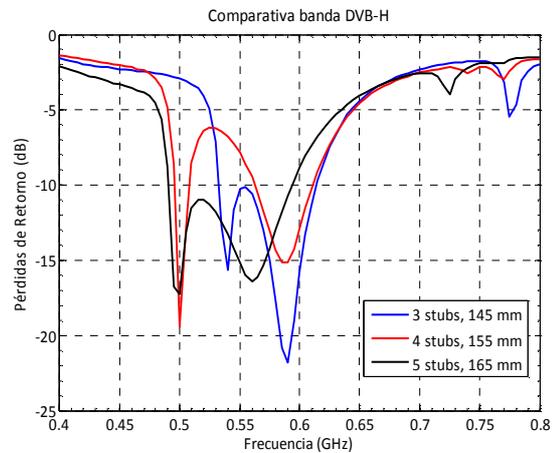


Figura 3.33.- Pérdidas retorno comparativa final DVB-H propuesta 2

El diseño final de la banda DVB-H, se muestra en la figura 3.34. En la figura 3.35 se representa el diagrama de radiación en 3D de la antena final a la frecuencia central y en las figuras 3.36 y 3.37 se pueden ver los cortes de dicho diagrama.

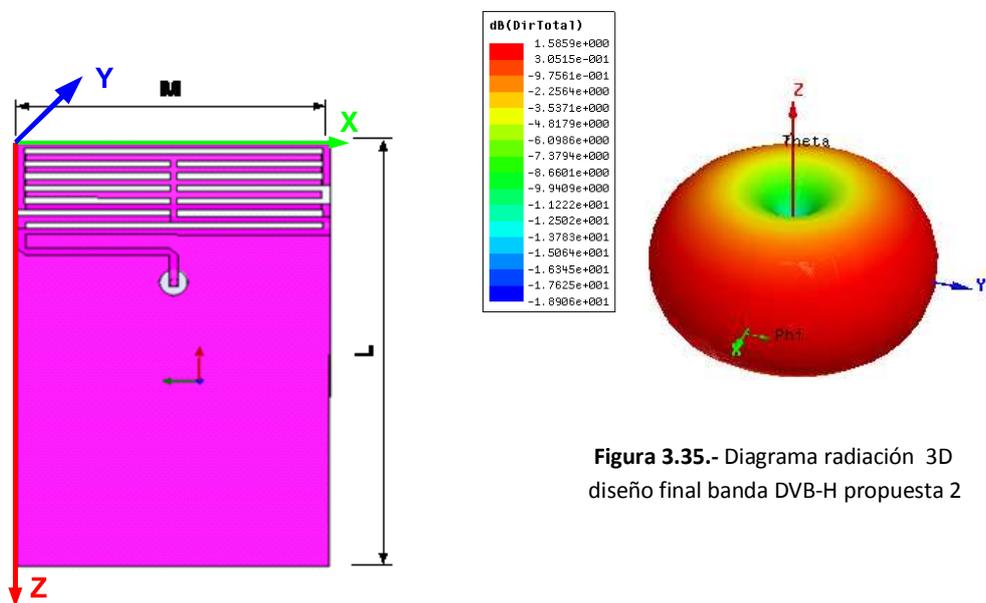


Figura 3.34.- Diseño final DVB-H propuesta 2

Figura 3.35.- Diagrama radiación 3D diseño final banda DVB-H propuesta 2

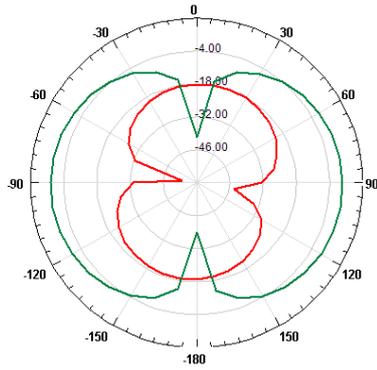


Figura 3.36.- Diagrama radiación plano ZY
diseño final banda DVB-H propuesta 2

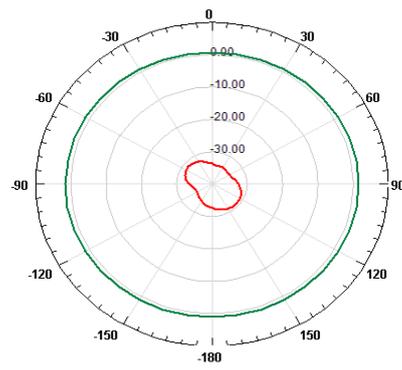


Figura 3.37.- Diagrama radiación plano XY
diseño final banda DVB-H propuesta 2

Como se observa en el diagrama de radiación 3D y en los cortes con los planos XY y ZY, la antena sigue un patrón casi omnidireccional a la frecuencia central de la banda DVB-H.

En la tabla 3.8 se muestran las dimensiones óptimas obtenidas. Hay varias medidas que difieren mucho entre sus valores y los óptimos. Esto se debe, a que en este caso, el método del escalado no es muy exacto. Además, como ocurre en el resto de diseños, se hace un ajuste final de los parámetros.

Tabla 3.8.- Medidas óptimas diseño DVB-H propuesta 2

MEDIDAS	VALORES (mm)	VALORES ÓPTIMOS (mm)
M	57.00	111.00
MT	49.40	105.00
Mt	5.70	2.40
Mf	2.375	2.83
Ms	1.90	2.40
H	22.80	33.60
Lf	47.50	20.23
Lg	190.00	131.40
L=H+Lg	212.80	165.00
W	2.83	2.83

Para finalizar el diseño en la banda DVB-H, se muestra la figura 3.38 para comprobar que cumple, sin ningún problema, con el requerimiento de su estándar en toda la banda de frecuencias, es decir, la ganancia realizada.

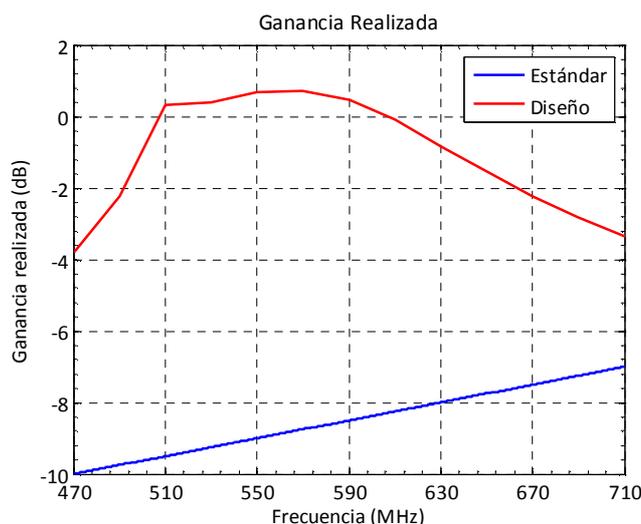


Figura 3.38.- Ganancia realizada propuesta 2 para DVB-H

3.6 Comparativa entre las propuestas

En este apartado se realiza una comparativa entre los diseños finales de ambas propuestas para cada banda de frecuencia. En esta comparativa, se estudian sus pérdidas de retorno, ancho de banda, ganancia, directividad y sus dimensiones.

a) Banda L

En la figura 3.39, se muestran las pérdidas de retorno de los diseños finales de ambas propuestas para la banda L. Ambas propuestas cumplen los requisitos de ancho de banda (1518-1559 MHz) sin ningún problema, pero la propuesta 2 tiene mejores pérdidas de retorno. Por tanto, en cuanto a ancho de banda y pérdidas de retorno, la propuesta 2 es la mejor.

El resto de parámetros de las antenas se muestran en la tabla 3.9. Sólo se comenta la anchura y longitud total, puesto que la altura, al estar fijada por el sustrato, es la misma en ambos casos.

A la hora de tomar una decisión sobre qué propuesta es mejor, existe un compromiso ya que, en cuanto a las dimensiones, la propuesta 1 tiene menor longitud y la propuesta 2 menor anchura. Además, posee mejor ancho de banda y mejor ganancia que la propuesta 1, pero ésta tiene mejor directividad. Teniendo en cuenta las pérdidas de retorno y los parámetros anteriores, se puede concluir que la propuesta 2 es mejor diseño que la propuesta 1.

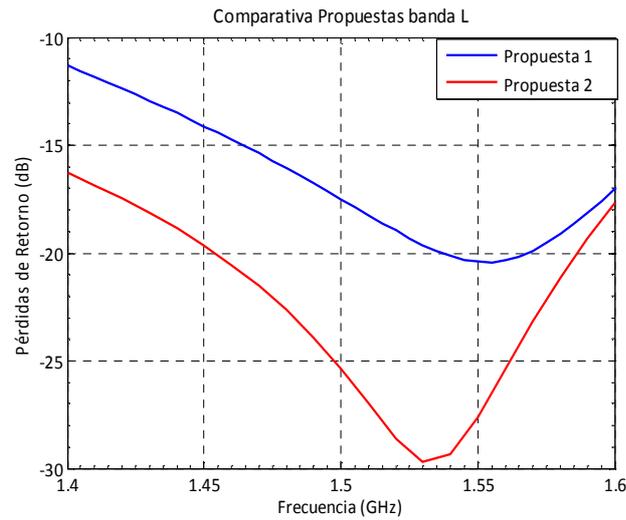


Figura 3.39.- Comparativa pérdidas retorno en banda L

Tabla 3.9.- Comparativa dimensiones diseños en banda L

	PROPUESTA 1	PROPUESTA 2
ANCHURA	35.50	20.75
LONGITUD	76.00	86.00
ANCHO DE BANDA (MHz)	305 MHz (1360 – 1665 MHz)	360 MHz (1300 – 1660 MHz)
DIRECTIVIDAD (dBi)	2.71	2.50
GANANCIA (dB)	2.30	2.35

b) Banda DVB-H

En este caso, la banda de frecuencias (470-710 MHz) es más elevada que en la Banda L. En esta comparativa (figura 3.40), es más complicado decir qué propuesta es mejor que la otra, debido a que la propuesta 1 tiene mejores valores en las frecuencias altas de la banda y la propuesta 2 en las bajas. La única diferencia que se puede observar, es que la propuesta 1 está centrada en la frecuencia central de la banda DVB-H, es decir los 588 MHz.

En la tabla 3.10 se muestran los parámetros de los diseños. La comparativa, en cuanto a dimensiones, resulta más asequible, ya que ambas antenas tienen la misma longitud.

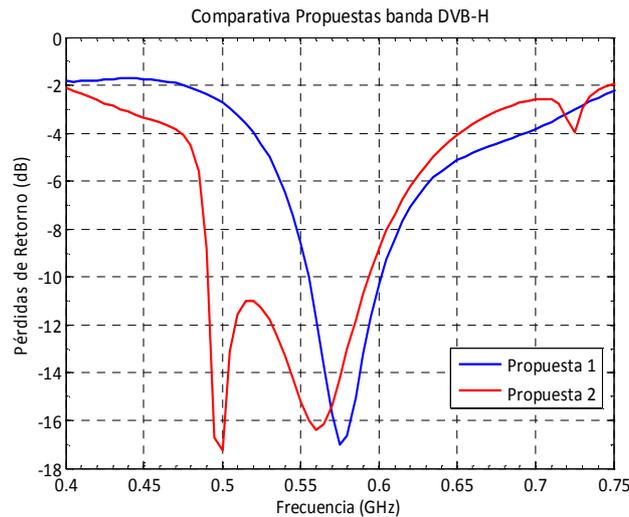


Figura 3.40.- Comparativa pérdidas retorno en DVB-H

Tabla 3.10.- Comparativa dimensiones diseños en DVB-H

	PROPUESTA 1	PROPUESTA 2
ANCHURA	92.00	111.00
LONGITUD	165.00	165.00
GANANCIA REALIZADA (dB)	> - 2 dB	> -4 dB
DIRECTIVIDAD (dBi)	3.12	1.58
GANANCIA (dB)	2.67	0.82

En este caso, la propuesta 1 es claramente mejor que la propuesta 2, ya que posee mejores características en todos los parámetros, además de obtener unas pérdidas de retorno centradas en la banda de frecuencias.

En este capítulo, se ha determinado una serie de parámetros para decidir qué diseño es mejor. A pesar de estos valores, para poder asegurar qué propuesta es mejor, se debe estudiar cómo afecta la interacción de objetos con la antena del dispositivo, lo que provoca una variación de la impedancia debido a los cambios del entorno. Estas variaciones, dan lugar a unas fluctuaciones de los niveles de señal o de ruido, dando lugar a un empeoramiento del BER (*Bit Error Rate*).

Capítulo 4

Estudio variabilidad de la impedancia

En este capítulo se va a proponer un método para evaluar el BER instantáneo a partir de la SNR (*Signal to Noise Ratio*) o C/N y así, poder estudiar el efecto del ser humano en las prestaciones de las antenas propuestas. La SNR instantánea depende del coeficiente de reflexión de la antena, que varía en el tiempo. La SNR para cada banda de trabajo se estima a partir de diseños reales en las bandas DVB-H y L, en los que el usuario realiza acciones con movimiento.

4.1 Metodología

La técnica que se propone para evaluar las prestaciones de las antenas diseñadas se basa, en primer lugar, en el desarrollo teórico para obtener una medida de la SNR en términos del coeficiente de onda estacionaria. Por ello, se expone el análisis de una arquitectura simplificada de un receptor, que sirve como punto de partida para obtener una medida de las prestaciones. En segundo lugar, se explica cómo se predice el comportamiento del coeficiente de reflexión, que varía debido al entorno, y que se requiere para estimar la degradación del sistema receptor.

4.1.1 Marco Teórico

Para evaluar la influencia del usuario en las prestaciones, es conveniente, en primer lugar, estudiar el esquema básico de un receptor y, a partir de ahí, deducir el posible impacto que va a tener la interacción del usuario y el entorno en el sistema.

En la figura 4.1 se representa un sistema genérico de un receptor para la banda DVB-H o L. El sistema está formado por una cadena analógica de RF y un procesador digital en banda base. La antena constituye el primer elemento del receptor, seguido de un amplificador LNA (*Low Noise Amplifier*) y una cadena de amplificadores y, a continuación, hay un proceso de modulación y una serie de filtros. De forma opcional puede existir un sintetizador de antena (ATU).

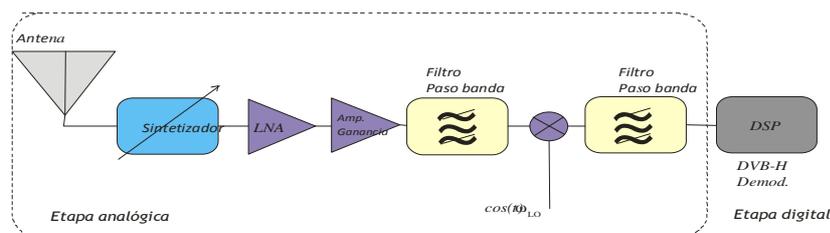


Figura 4.1.- Arquitectura de receptor

El objetivo consiste en el análisis de la ratio entre la señal de la cadena RF y el ruido (C/N), porque es necesario para evaluar el BER. En el estudio, se deberían tener en cuenta todos los elementos circuitales de la cadena de RF pero, de acuerdo con la ley de Friis [10], el valor de la SNR depende, únicamente, de la antena, del ATU (si existe) y del amplificador LNA. De ahí que se pueda simplificar al circuito que se muestra en la figura 4.2, para obtener una SNR aproximada, pero con suficiente precisión para estudiar la variación de la impedancia.

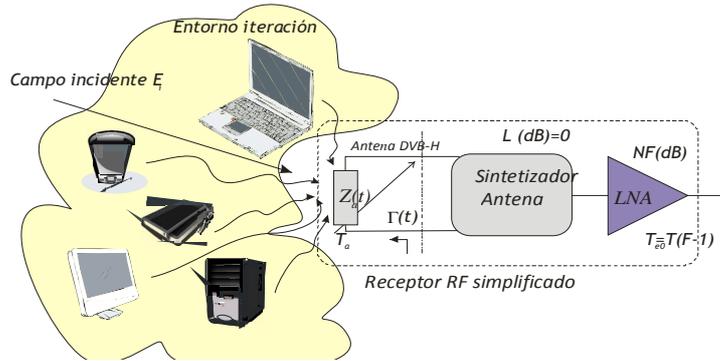


Figura 4.2.- Arquitectura simplificada

Se denota E_i al campo incidente recibido en la frecuencia central de la banda DVB-H o banda L y G_{ant} y G_{LNA} a las ganancias de la antena y del amplificador respectivamente. Bajo estas condiciones, la potencia recibida en el instante n se obtiene mediante la ecuación 4.1, en donde λ es la longitud de onda y η_t es la eficiencia de antena (cuyo valor se define en la ecuación 4.2). $\Gamma(n)$ es el coeficiente de reflexión instantáneo que se define en la ecuación 4.3, en donde $Z_a(n)$ es la impedancia de antena variable y $Z_0=50 \Omega$.

$$C(n) = \frac{|E_i|^2 \lambda^2}{120\pi 4\pi} D_{ant} \eta_t (1 - |\Gamma(n)|^2) G_{LNA} \quad (4.1)$$

$$\eta_t = \frac{G_{ant}}{D_{ant}} \quad (4.2)$$

$$\Gamma(n) = \frac{Z_a(n) - Z_0}{Z_a(n) + Z_0} \quad (4.3)$$

La potencia de ruido evaluada a la salida del LNA, se calcula asumiendo la invarianza de NF (*Noise Figure*) con respecto a $\Gamma(n)$. Esta condición sólo es válida si la variación de la impedancia es muy pequeña. Por otro lado, se utiliza la ecuación 4.4 para definir la potencia de ruido instantánea, donde $K=1.38 \times 10^{-23}$ J/K es la constante de Boltzman, B es el ancho de banda de señal (8 MHz) y T_0 es la temperatura de referencia (cuyo valor es 290K). Además La temperatura de la antena se puede estimar a partir de las curvas de ruido y, para estas frecuencias, toma valores entorno a $10^{1.5}$ K

[11]. Con todo esto y, utilizando las ecuaciones 4.1 y 4.4, se obtiene la relación C/N, como muestra la ecuación 4.5.

$$N(n) = KB \left\{ \left[Ta + T0 \left(\frac{1}{\eta_t} - 1 \right) \right] \eta_t (1 - |\Gamma(n)|^2) + Te \right\} G_{LNA} \quad (4.4)$$

$$\frac{C}{N}(n) = \frac{\frac{|E_i|^2 \lambda^2}{120\pi 4\pi} D_{ant} \eta_t (1 - |\Gamma(n)|^2)}{KB \left\{ \left[Ta + T0 \left(\frac{1}{\eta_t} - 1 \right) \right] \eta_t (1 - |\Gamma(n)|^2) + Te \right\}} \quad (4.5)$$

Una vez se conoce el valor C/N, se utiliza un método de interpolación cúbica [12] para expresar la tasa de error en términos de C/N, en un rango entre 0-15 dB. La curva se muestra en la figura 4.3.

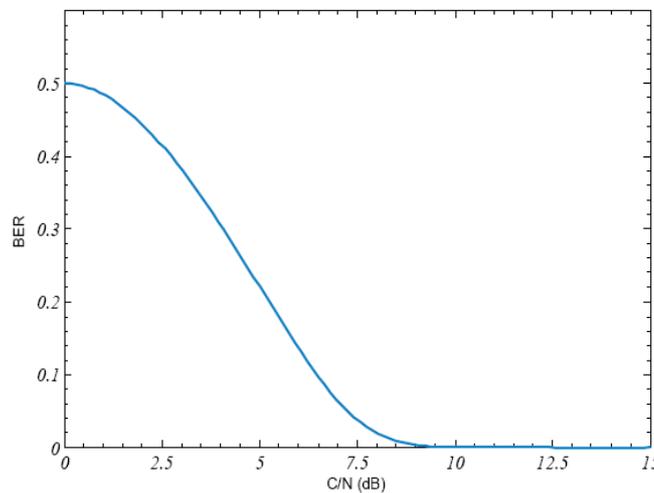


Figura 4.3.- Curva BER

A raíz de la expresión 4.5, puede observarse cómo en el caso considerado, esto es, con un modelo para el cual el coeficiente de onda estacionaria no es dinámico, la SNR será una constante. Sin embargo, en una situación dinámica con interacción del usuario, dicho coeficiente presentará una variación temporal compleja que, en algunas ocasiones, contribuirá favorablemente a mejorar la C/N instantánea, pero que, en otras ocasiones, podría reducirla considerablemente. En ello radica la importancia de la predicción o estimación del efecto de la interacción que, inevitablemente, requiere un modelo estadístico debido a la naturaleza aleatoria del entorno móvil. Es por ello que se considerará la relación SNR de un punto de vista aleatorio con el objetivo de predecir la degradación de prestaciones.

4.1.2 Método de Estimación de la SNR

En realidad, si se dispusiera de los prototipos físicos a priori, sería posible medir directamente la estadística del coeficiente de reflexión. En una etapa de diseño se

carece de dichos prototipos, por lo que es necesario buscar un método de predicción, que luego será contrastado con la parte experimental.

La hipótesis básica de la que parte el método propuesto consiste en suponer que la interacción de la antena con el usuario va a ser muy similar para una familia de estructuras radiantes determinada. Bajo esta hipótesis se puede admitir que, si se asume que el coeficiente de reflexión es una variable aleatoria, los parámetros de escala como la desviación típica o coeficiente de asimetría son idénticos para antenas similares trabajando en una banda de frecuencias idéntica.

Disponiendo de dichos parámetros a priori y, utilizando las simulaciones de las antenas propuestas, en las cuales el usuario interactúa (Figuras 4.4-4.7), se puede modelar el comportamiento del coeficiente de onda estacionario.

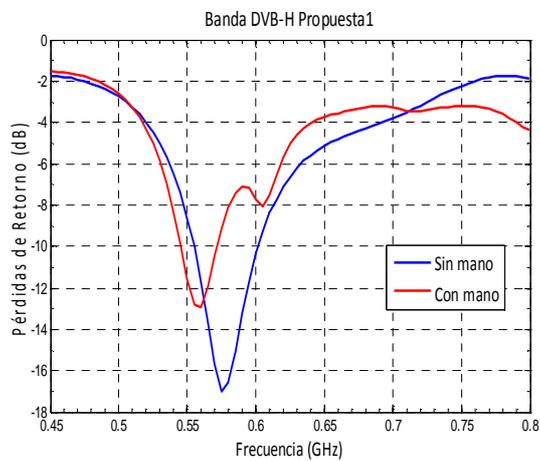


Figura 4.4.- Pérdidas retorno con usuario propuesta 1 banda DVB-H

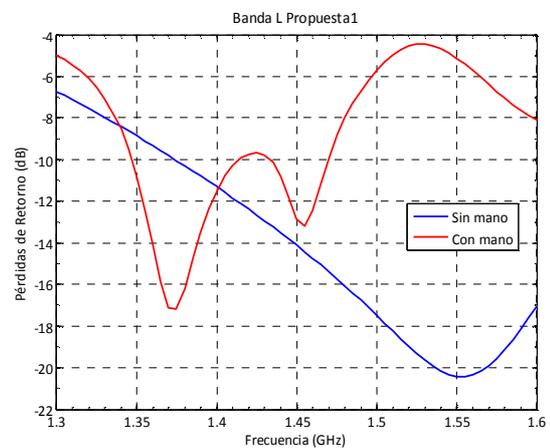


Figura 4.5.- Pérdidas retorno con usuario propuesta 1 banda L

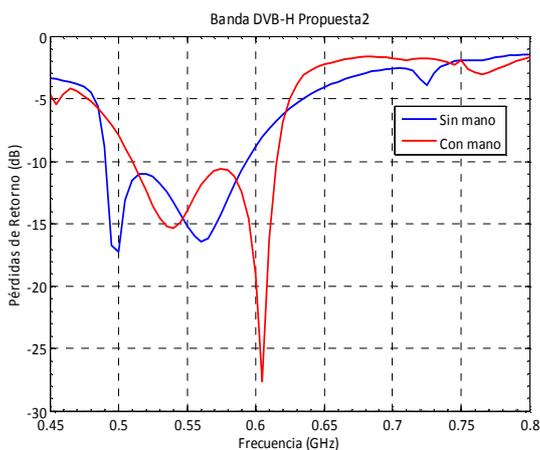


Figura 4.6.- Pérdidas retorno con usuario propuesta 2 banda DVB-H

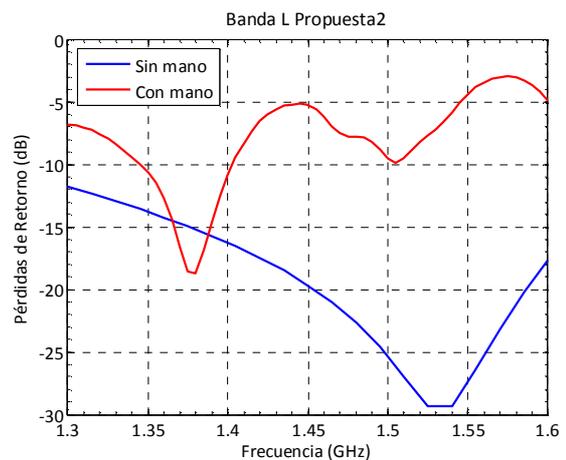


Figura 4.7.- Pérdidas retorno con usuario propuesta 2 banda L

A partir de estos cálculos electromagnéticos, se obtienen los parámetros de localización de las distribuciones estadísticas que modelan el coeficiente de reflexión. Las magnitudes referidas a la escala, no obstante, no se pueden determinar a partir de un análisis electromagnético y, por ello, es necesario recurrir a una caracterización experimental a partir de otras estructuras similares.

En este caso, el usuario realiza movimientos con la estructura radiante en la mano, donde simula la situación de estar utilizando el dispositivo para ver la televisión en movimiento. El analizador de redes se utiliza para medir el coeficiente de reflexión mientras el usuario realiza los movimientos. El tiempo mínimo entre muestras depende del analizador de redes. Si el tiempo fuera pequeño, la correlación entre muestras sería muy alta y poca información sería capturada, en cambio, si el tiempo fuera grande, las variaciones largas se pueden perder. En este caso, se utiliza un tiempo de muestreo de 200 ms.

Al realizar las medidas, se utilizan dos modelos de antenas para cada banda de trabajo, una de mayor tamaño (modelo A) y otra más compacta (modelo B). Ambos modelos cumplen los requerimientos de los estándares, pero tienen distintos valores de pérdidas de retorno en dichas bandas.

Se realizan dos experimentos por antena, registrando 1000 muestras de pérdidas de retorno a las frecuencias central de la banda DVB-H y de la banda L. El primer experimento consiste en calcular el valor cuando la antena está aislada y en el segundo se realizan los movimientos de la antena, simulando una situación real.

La variabilidad se puede estimar con un histograma bidimensional u otras técnicas estadísticas [13-14]. En las figuras 4.8-4.11 se muestran los resultados, tanto en histograma como en carta de Smith, de la variación de la impedancia en dos casos: con la antena aislada y con el usuario en movimiento. Debido a la cantidad de resultados obtenidos, sólo se representa la variación para la banda L, y con la banda DVB-H se procede de la misma manera. Cabe destacar las diferencias entre las dos situaciones: la impedancia de antena es constante cuando está aislada, de ahí que el histograma se asemeje a una delta de *Dirac*. Y el otro experimento, provoca un desplazamiento de las impedancias y el histograma se expande. El efecto global es una variación de C/N y una variabilidad del BER.

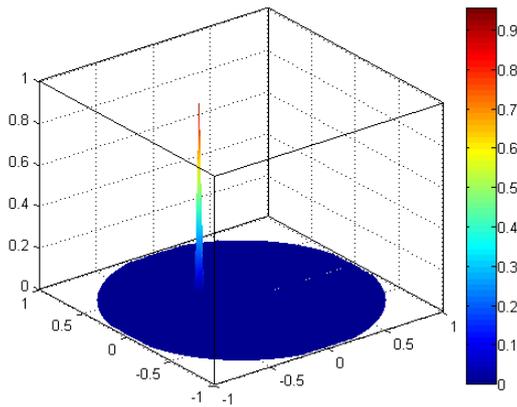


Figura 4.8.- Histograma pérdidas de retorno de la antena aislada

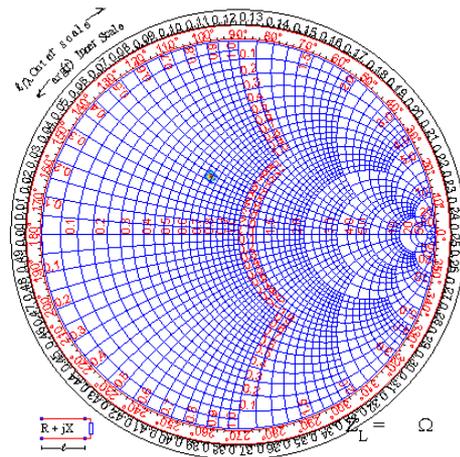


Figura 4.11.- Pérdidas de retorno en carta Smith de la antena aislada

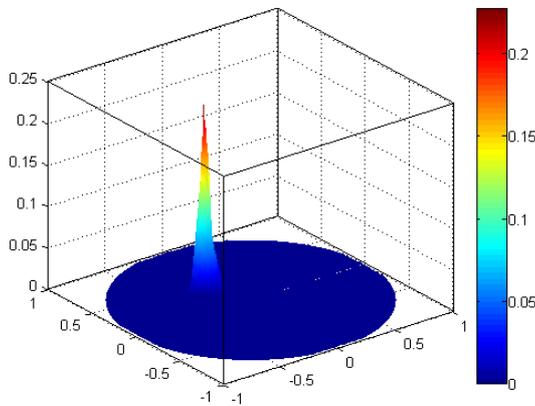


Figura 4.10.- Histograma pérdidas de retorno de la antena con usuario en movimiento

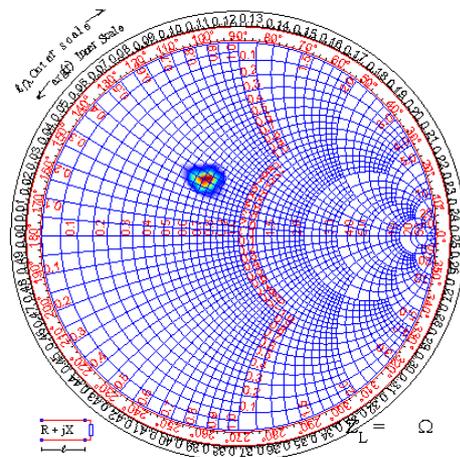


Figura 4.11.- Pérdidas de retorno en carta Smith de la antena con usuario en movimiento

Para analizar los datos obtenidos y obtener las magnitudes de escala a partir de las que se determinaran los coeficientes de reflexión con interacción de usuario, se aplican métodos de inferencia estadística. El proceso consta de varios pasos:

- I) Suponer que la distribución tiene una forma determinada. Se hace, por lo tanto, un ajuste paramétrico de los datos.
- II) Para dicha distribución se aplica una técnica de máxima verosimilitud que identifica la media y la varianza del proceso a estudiar.
- III) Una vez identificados cuantitativamente todas las magnitudes que describen la estadística, se supone una variación idéntica a la determinada por este proceso (se mantiene la varianza) y se generan unos nuevos datos con ayuda de los parámetros de localización (media) obtenidos mediante las simulaciones electromagnéticas.

A la hora de aplicar este método a los datos sobre las antenas, es posible realizar dos tipos de inferencia diferentes. En concreto, a tenor de la expresión 4.5, únicamente es necesario conocer la distribución del módulo del coeficiente de reflexión. Por lo tanto, un procedimiento directo consiste en plantear la hipótesis de que la distribución de este módulo es una normal unidimensional y, a partir de ahí, identificar la distribución y generar los datos nuevos.

Alternativamente y, puesto que con un analizador de redes se obtiene medidas tanto en fase como en módulo, es posible caracterizar el coeficiente de reflexión como una distribución bidimensional, como muestra la ecuación 4.6, en donde λ y μ son números reales. De ahí que Γ sea un vector aleatorio acotado por los valores de λ y μ .

$$\Gamma(n) = \lambda(n) + j \mu(n) \quad -1 < \lambda(n), \mu(n) < 1 \quad (4.6)$$

Para esta alternativa, la identificación es más compleja puesto que la resistencia y la conductancia no tienen porqué ser variables independientes. Es por ello por lo que se aplica el método EM (Anexo H) que permite obtener la distribución y la matriz de covarianzas bajo la suposición de que el vector aleatorio sigue una distribución normal bivalente, hipótesis que se seguirá en este trabajo.

Los resultados de la identificación para los prototipos físicos medidos se muestran a continuación. En la tabla 4.1 se observan los del método del módulo y en la tabla 4.2 los del método EM.

Tabla 4.1.- Valores media y varianza en método módulo para prototipo físico

	Banda DVB-H	Banda L
Modelo A	N (0.5932, 0.0417)	N(0.3383,0.0340)
Modelo B	N(0.1314, 0.0343)	N(0.2095,0.0324)

Tabla 4.2.- Valores media y varianza en método EM para prototipo físico

	Banda DVB-H	Banda L
Modelo A	$N\left(\begin{bmatrix} 0.4993 \\ -0.3089 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0055 & 0.0031 \\ 0.0031 & 0.0033 \end{pmatrix}\right)$	$N\left(\begin{bmatrix} -0.1684 \\ 0.2914 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0015 & -0.0002 \\ -0.0002 & 0.0015 \end{pmatrix}\right)$
Modelo B	$N\left(\begin{bmatrix} -0.1175 \\ 0.0477 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0012 & 0 \\ 0 & 0.0012 \end{pmatrix}\right)$	$N\left(\begin{bmatrix} 0.2005 \\ 0.0533 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0009 & 0.0006 \\ 0.0006 & 0.0010 \end{pmatrix}\right)$

Los métodos de inferencia estadísticos aplicados proporcionan unas similitudes notables, por lo que es posible concluir que la hipótesis de normalidad es bastante admisible.

Finalmente, se generan las siguientes distribuciones de coeficiente de reflexión asociados a las antenas diseñadas. En la tabla 4.3 están los valores para el modelo del

módulo y en las tablas 4.4 y 4.5 los del método EM, en función del modelo de antena A o B.

Tabla 4.3.- Valores media y varianza en método módulo para prototipos diseñados

	Banda DVB-H		Banda L	
	Modelo A	Modelo B	Modelo A	Modelo B
Propuesta 1	N(0.4421,0.0417)	N(0.4421,0.0343)	N(0.593,0.0340)	N(0.593,0.0324)
Propuesta 2	N(0.3044,0.0417)	N(0.3044,0.0343)	N(0.4679,0.0340)	N(0.4679,0.0324)

Tabla 4.4.- Valores media y varianza en método EM modelo A para prototipos diseñados

MODELO A	Banda DVB-H	Banda L
Propuesta 1	$N\left(\begin{bmatrix} 0.4286 \\ 0.1081 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0055 & 0.0031 \\ 0.0031 & 0.0033 \end{pmatrix}\right)$	$N\left(\begin{bmatrix} -0.3106 \\ 0.5051 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0015 & -0.0002 \\ -0.0002 & 0.0015 \end{pmatrix}\right)$
Propuesta 2	$N\left(\begin{bmatrix} -0.2847 \\ -0.1076 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0055 & 0.0031 \\ 0.0031 & 0.0033 \end{pmatrix}\right)$	$N\left(\begin{bmatrix} 0.3340 \\ 0.3276 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0015 & -0.0002 \\ -0.0002 & 0.0015 \end{pmatrix}\right)$

Tabla 4.5.- Valores media y varianza en método EM modelo B para prototipos diseñados

MODELO B	Banda DVB-H	Banda L
Propuesta 1	$N\left(\begin{bmatrix} 0.4286 \\ 0.1081 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0012 & 0 \\ 0 & 0.0012 \end{pmatrix}\right)$	$N\left(\begin{bmatrix} -0.3106 \\ 0.5051 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0009 & 0.0006 \\ 0.0006 & 0.0010 \end{pmatrix}\right)$
Propuesta 2	$N\left(\begin{bmatrix} -0.2847 \\ -0.1076 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0012 & 0 \\ 0 & 0.0012 \end{pmatrix}\right)$	$N\left(\begin{bmatrix} 0.3340 \\ 0.3276 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0009 & 0.0006 \\ 0.0006 & 0.0010 \end{pmatrix}\right)$

Una vez modelado el comportamiento del coeficiente de reflexión, se calcula el valor de la SNR y, a continuación, el valor del BER. En el apartado siguiente se estudia la variación de la tasa de error de bit.

4.2 Resultados

Para estimar la SNR y, por último, el BER, se deben definir antes algunos parámetros. En este caso, se calcula el valor de la eficiencia de antena, η_t , con la ecuación 4.2, a partir de los valores de ganancia y directividad obtenidos en las tablas 3.9 y 3.10. Además, se fija el valor del campo incidente a 25 $\mu\text{V/m}$ para DVB-H y 50 $\mu\text{V/m}$ para banda L, para obtener valores de C/N válidos para poder calcular la BER a partir de la figura 4.3. Para la temperatura de antena se toma el valor $10^{1.5}$ y el valor de NF es 1.5 dB (valor típico).

Hay algunas situaciones donde el BER decrece debido al entorno, aunque la mayoría de las veces es debido a la variación del coeficiente de reflexión. Esta

variación depende del valor de referencia de C/N y cada caso debe estudiarse con detenimiento. Para poder caracterizar la variabilidad del BER, se utiliza la ecuación 4.7 en la cual se definen el BER_{iso} , (tasa de error de bit cuando la antena está aislada), el BER_{porta} , (tasa de error de bit cuando el usuario se mueve con el dispositivo) y P, (la probabilidad de que se cumpla la condición).

$$\eta = P (BER_{iso} < BER_{porta}) \quad (4.7)$$

A continuación se representan los resultados obtenidos (Figuras 4.12- 4.19), utilizando los códigos que se muestran en el Anexo I. Debido a la cantidad de resultados, sólo se muestran, como ejemplo representativo, las figuras de la tasa de error de bit, para el método EM, en ambas bandas de frecuencias y para ambos modelos. El resto de medidas obtenidas se muestran en las tablas 4.5 y 4.6. En cada tabla están los valores máximos y mínimos de la SNR_{porta} y del BER_{porta} , los valores de SNR_{iso} y BER_{iso} y las probabilidades de la ecuación 4.7. Estos valores se calculan en ambas bandas de trabajo y para cada propuesta, utilizando el método de estimación teniendo en cuenta el módulo, (modelo “Módulo”), y teniendo en cuenta módulo y fase (modelo “EM”).

En la tabla 4.5 se puede ver que, para la banda DVB-H, el BER se incrementa siempre en la propuesta 1, mientras que en la propuesta 2, se reduce entre un 58-66% de las muestras. La tabla 4.6 se centra en el estudio de la banda L y, en este caso, para ambas propuestas la tasa de error se incrementa siempre.

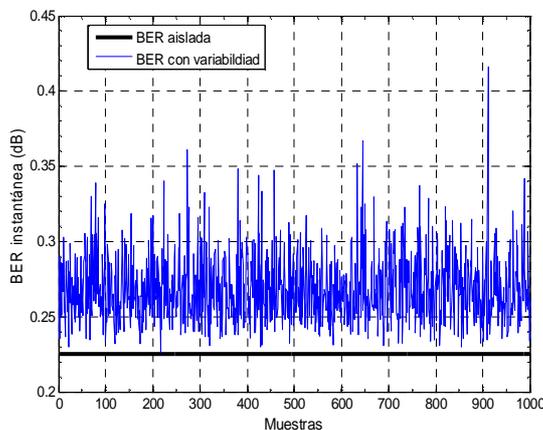


Figura 4.12.- BER DVB-H propuesta 1 modelo A

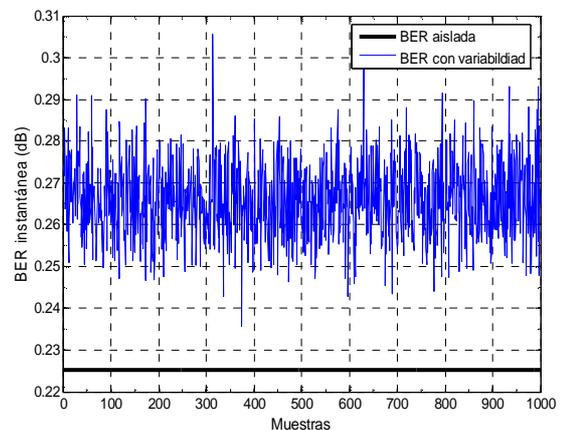


Figura 4.13.- BER DVB-H propuesta 1 modelo B

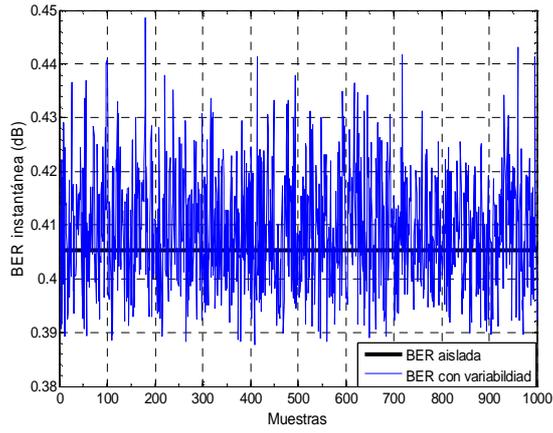


Figura 4.14.- BER DVB-H propuesta 2 modelo A

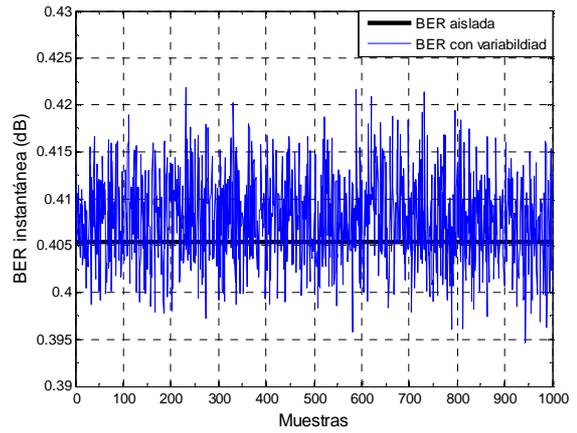


Figura 4.15.- BER DVB-H propuesta 2 modelo B

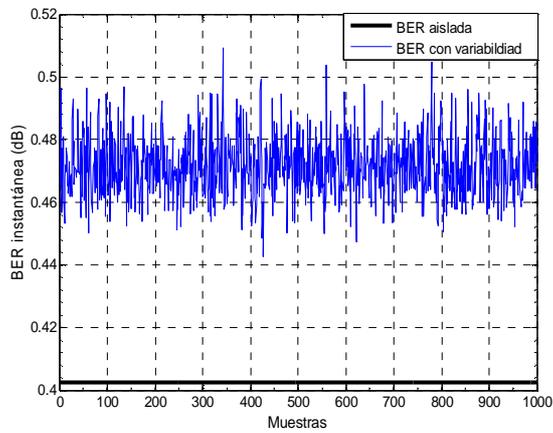


Figura 4.16.- BER banda L propuesta 1 modelo A

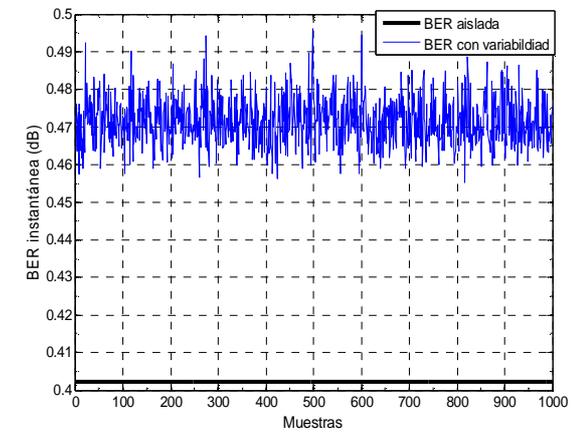


Figura 4.17.- BER banda L propuesta 1 modelo B

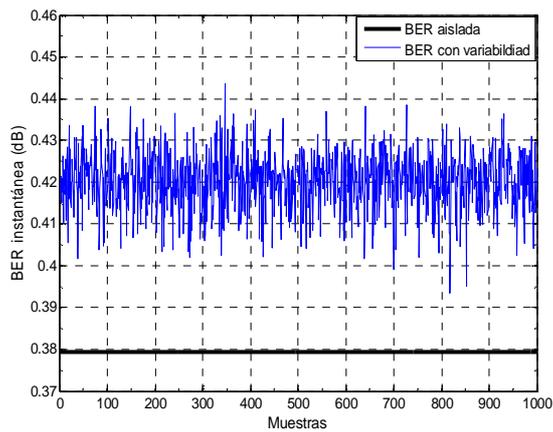


Figura 4.18.- BER banda L propuesta 2 modelo A

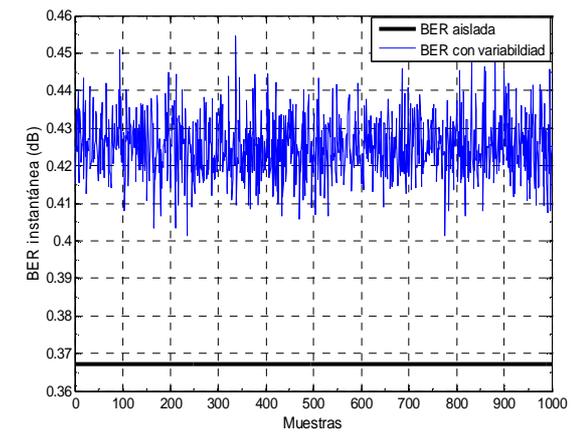


Figura 4.19.- BER banda L propuesta 2 modelo B

Tabla 4.6.- Medidas degradación banda DVB-H

DVB-H					
	MODELOS	MÓDULO		EM	
		Prop1	Prop2	Prop1	Prop2
Max BER (dB)	A	0.302	0.423	0.416	0.450
	B	0.304	0.422	0.301	0.422
Min BER (dB)	A	0.240	0.394	0.226	0.390
	B	0.235	0.395	0.235	0.395
BER (dB)	A	0.225	0.404	0.225	0.404
	B	0.225	0.405	0.225	0.405
Max SNR (dB)	A	4.770	2.760	4.940	2.850
	B	4.760	2.750	4.810	2.760
Min SNR (dB)	A	3.950	2.330	2.470	1.800
	B	3.930	2.350	3.910	2.360
SNR (dB)	A	4.950	2.620	4.950	2.620
	B	4.950	2.620	4.950	2.620
η	A	1.000	0.597	1.000	0.582
	B	1.000	0.654	1.000	0.662

Tabla 4.7.- Medidas degradación banda L

BANDA L					
	MODELOS	MÓDULO		EM	
		Prop1	Prop2	Prop1	Prop2
Max BER (dB)	A	0.510	0.440	0.510	0.447
	B	0.510	0.448	0.496	0.453
Min BER (dB)	A	0.447	0.397	0.440	0.403
	B	0.440	0.408	0.450	0.401
BER (dB)	A	0.402	0.367	0.402	0.367
	B	0.402	0.367	0.402	0.367
Max SNR (dB)	A	1.810	2.730	1.920	2.650
	B	1.880	2.600	1.650	2.680
Min SNR (dB)	A	0.460	1.920	0.511	1.820
	B	0.440	1.800	0.800	1.670
SNR (dB)	A	2.660	3.110	2.660	3.110
	B	2.660	3.110	2.660	3.110
η	A	1.000	1.000	1.000	1.000
	B	1.000	1.000	1.000	1.000

En el apartado 3.6 de la memoria se concluye que, para la banda DVB-H, es mejor la propuesta 1 y, para la banda L, la propuesta 2, debido a que presentan mejores valores en los parámetros de antena. Basándose en los valores obtenidos del BER, se puede determinar que, para la banda L, es mejor la propuesta 2, ya que los valores son menores. En la banda DVB-H y para la propuesta 2, el BER se reduce entre un 58-66% de las muestras pero, aun así, no llega a los valores de la propuesta 1. Por tanto, se puede concluir que, tanto basándose en el BER como en los parámetros de

antenas, para la banda DVB-H es mejor la propuesta 1 y para la banda L es mejor la propuesta 2.

El siguiente paso consiste en comprobar que los resultados obtenidos en las simulaciones, tanto con intervención del usuario como sin ella, se asemejan a la realidad. Esta verificación se realiza midiendo las antenas con ayuda del analizador de redes.

Capítulo 5

Análisis y evaluación experimentales de las geometrías propuestas

En el capítulo 5 se van a representar los resultados que se obtienen al medir los diseños finales del capítulo 3 con el analizador de redes. Una vez representadas las pérdidas de retorno para ambas propuestas, se realiza una comparativa entre ellas y, a continuación, se comprueba el buen diseño de las estructuras con los resultados obtenidos en las simulaciones.

5.1 Resultados experimentales de la propuesta 1

En primer lugar, se representan los resultados, con la antena aislada, obtenidos con el analizador de redes para la primera propuesta.

En la figuras 5.1 y 5.4 se observan las antenas diseñadas para la banda DVB-H y para la banda L respectivamente y, en las figuras 5.2 y 5.5, las pérdidas de retorno medidas con el analizador de redes para cada banda.

Además, en la figura 5.3, se puede observar la respuesta frecuencial para la banda entre 0.2-1.2 GHz, donde se incluye la banda DVB-H. Se expone esta figura debido al carácter dual que presenta esta antena, ya que podría ser utilizada también para otros sistemas en la banda de 860-960 MHz.



Figura 5.1.- Diseño propuesta 1 banda DVB-H

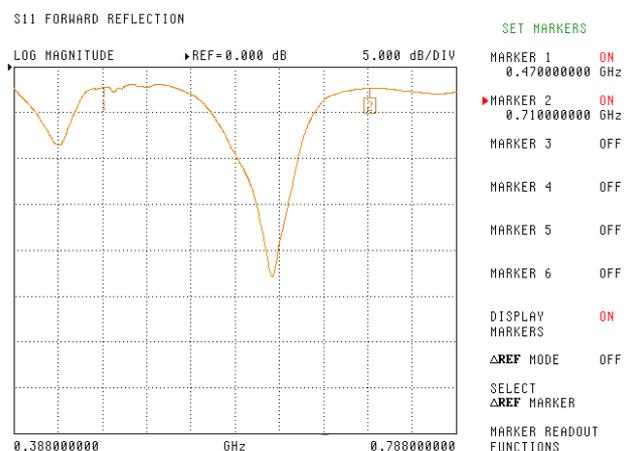


Figura 5.2.- Pérdidas retorno propuesta 1 banda DVB-H

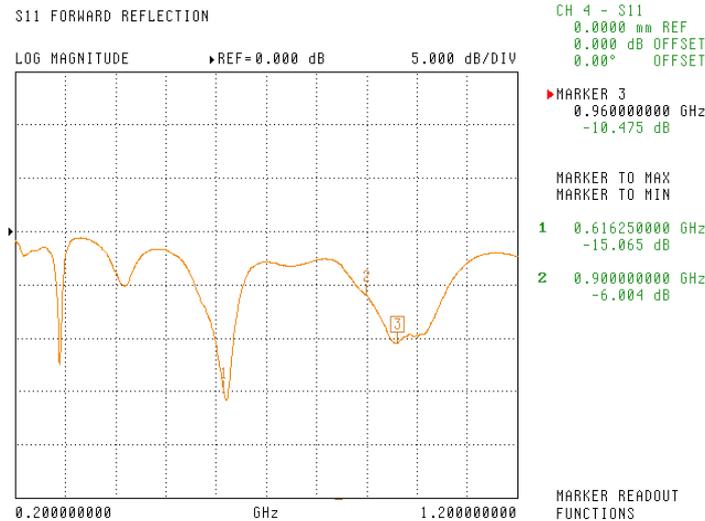


Figura 5.3.- Pérdidas retorno propuesta 1 banda 0.2-1.2 GHz



Figura 5.4.- Diseño propuesta 1 banda L

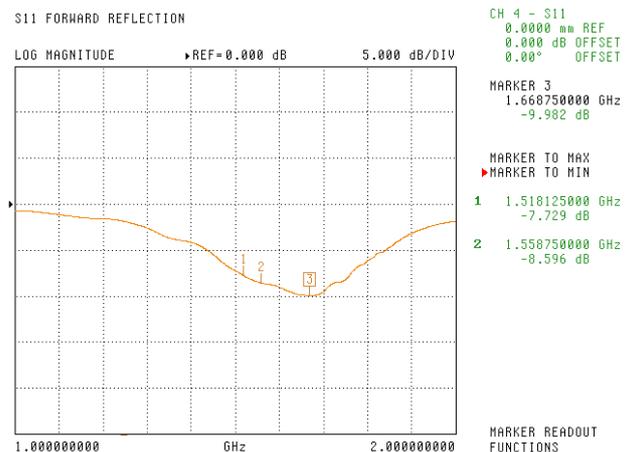


Figura 5.5.- Pérdidas retorno propuesta 1 banda L

En las figuras 5.2 y 5.5 se observa que las respuestas en frecuencia se han desplazado con respecto a la frecuencia central de diseño. Esto puede suceder debido a varios motivos: un error en la fabricación (por ejemplo, que la impresión del cobre no ha sido correcta) o por la variación frecuencial de la impedancia característica del medio (ya que en las simulaciones se considera constante, pero en la realidad esta varía).

En el caso de las pérdidas de retorno para la banda L, se hace un barrido más amplio para poder observar la frecuencia de resonancia ya que, en caso contrario, sería imposible poder percibirla debido al desplazamiento frecuencial de la respuesta y al escaso margen de frecuencias de dicha banda.

Por último, se añade la figura 5.6, en la cual se muestra que la antena se puede adaptar a una frecuencia, tal y como pasaba en la simulación. Para conseguir estos resultados, se tuvo que añadir un stub que sintoniza adecuadamente la respuesta, compensando las capacidades añadidas por las esquinas y otros elementos de la estructura de alimentación.

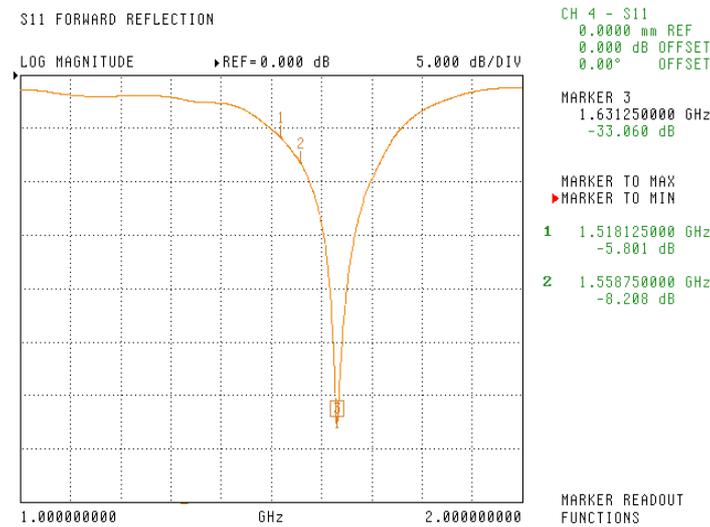


Figura 5.6.- Pérdidas retorno adaptada propuesta 1 banda L

5.2 Resultados experimentales de la propuesta 2

En la figuras 5.7 y 5.9 se encuentran las antenas fabricadas para las bandas DVB-H y banda L respectivamente. Las respuestas que se obtienen con el analizador de redes se muestran en las figuras 5.8 y 5.10.



Figura 5.7.- Diseño propuesta 2 banda DVB-H

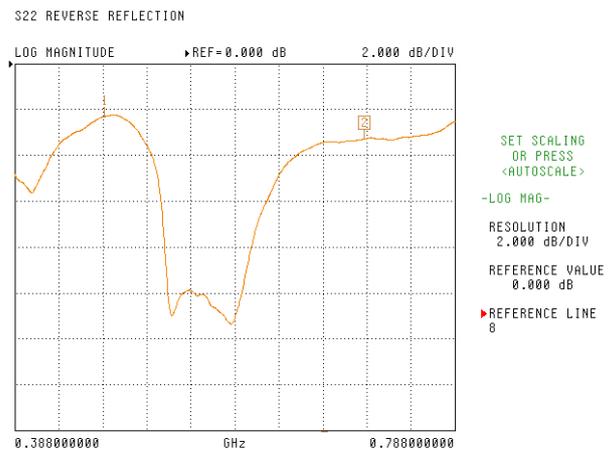


Figura 5.8.- Pérdidas retorno propuesta 2 banda DVB-H



Figura 5.9.- Diseño propuesta 2 banda L

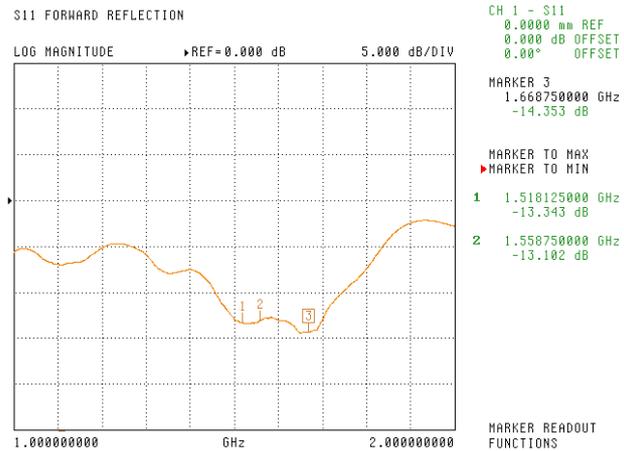


Figura 5.10.- Pérdidas retorno propuesta 2 banda L

Se obtienen unas medidas de pérdidas de retorno válidas, pero las respuestas sufren un desplazamiento en frecuencia.

A continuación, se va a realizar una comparativa de ambas propuestas, tal y como se hace en el capítulo 3 pero, en este caso, sólo se comparan las pérdidas de retorno, debido al proceso complejo para obtener la ganancia, directividad u otros parámetros.

5.3 Comparativa entre las propuestas

Los resultados obtenidos tras la comparativa entre ambas propuestas se comentan a continuación.

a) Banda L

En la figura 5.11 se representan las pérdidas de retorno de ambas propuestas para la banda L.

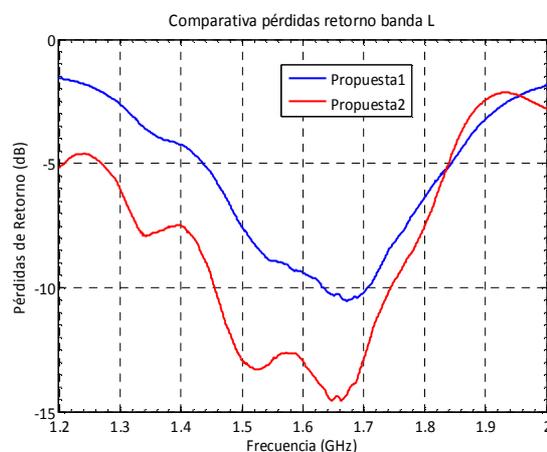


Figura 5.11.- Comparativa pérdidas retorno banda L

En la figura anterior se ve claramente que la propuesta 2 es mejor que la propuesta 1, debido a que se obtienen mejores niveles de pérdidas de retorno para la banda de frecuencia de interés. Además, para la propuesta 2, se obtiene un mayor ancho de banda (1.3-1.85 GHz) a -6 dB que para la propuesta 1 (1.45-1.8 GHz).

b) Banda DVB-H

En la figura 5.12, se pueden ver las pérdidas de retorno de cada diseño obtenidas para la banda DVB-H.

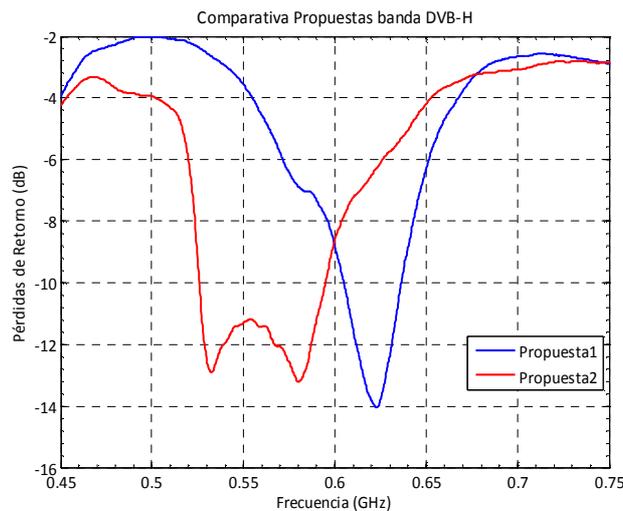


Figura 5.12.- Comparativa pérdidas retorno banda DVB-H

Los anchos de banda a -6 dB para la propuesta 1 (0.575-0.650 GHz) y para la propuesta 2 (0.520-0.625 GHz) son similares. Aunque, la propuesta 1 se encuentra mejor adaptada a la frecuencia de resonancia.

El siguiente paso es comprobar si los diseños fabricados se asemejan a las simulaciones y, por tanto, a los objetivos buscados.

5.4 Comparativa entre resultados de las simulaciones y experimentales

En el siguiente apartado se va a proceder a una comparativa entre los valores de pérdidas de retorno que se acaban de mostrar y los que se obtienen en el capítulo 3, tanto con la interacción del usuario, como sin ella, para cada banda de trabajo.

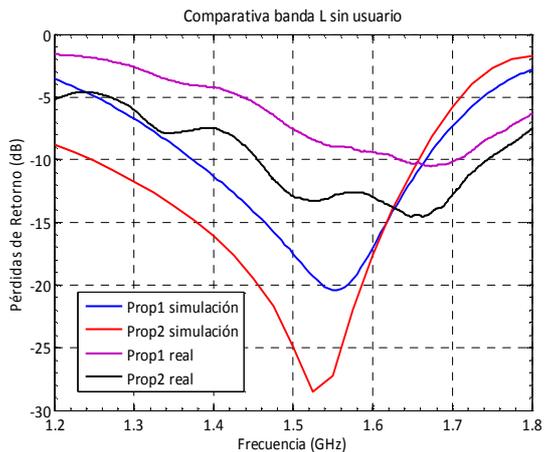


Figura 5.13.- Comparativa simulaciones y reales banda L sin usuario

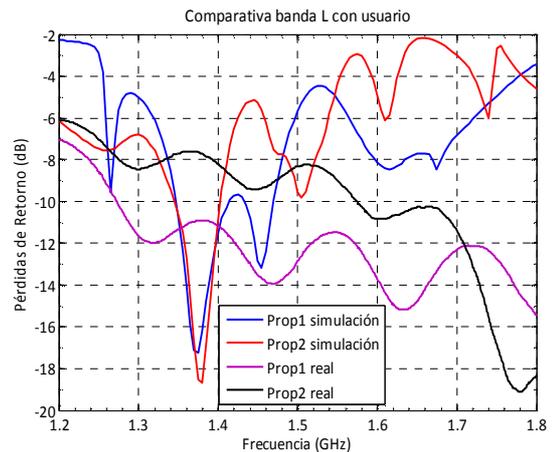


Figura 5.14.- Comparativa simulaciones y reales banda L con usuario

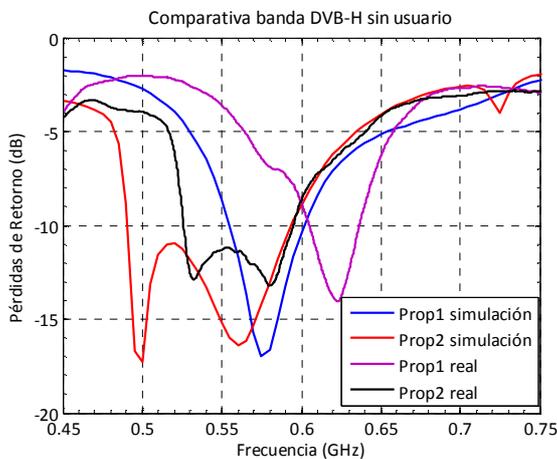


Figura 5.15.- Comparativa simulaciones y reales banda DVB-H sin usuario

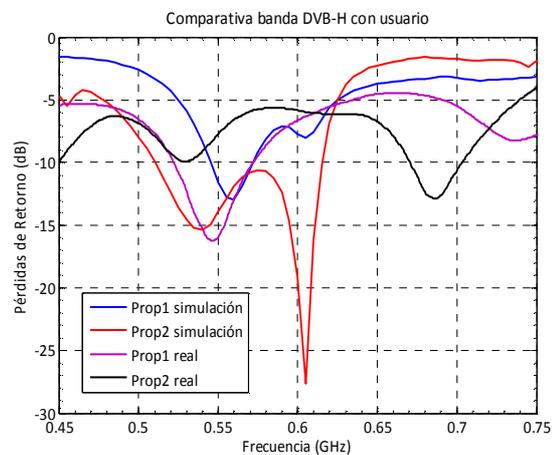


Figura 5.16.- Comparativa simulaciones y reales banda DVB-H con usuario

a) Banda L

En las figuras 5.13 y 5.14 se representa una comparativa de las pérdidas de retorno reales y simuladas para la banda L, sin y con interacción del usuario.

Como se aprecia en la figura 5.13, las respuestas reales se han desplazado en frecuencia y, sobretudo, se han desadaptado, por lo que los resultados difieren considerablemente de las simulaciones. Como ya se comentó anteriormente, esto se podría solucionar añadiendo un stub sintonizante a la línea de transmisión. En la figura 5.14 se muestra cómo este desplazamiento se enfatiza con la interacción del usuario.

b) Banda DVB-H

En la figura 5.15 se representan los resultados de las simulaciones sin la interacción del usuario y las medidas obtenidas con analizador de redes, y en la figura 5.16 se realiza lo mismo pero con la interacción del usuario.

Los resultados (figura 5.15) que se obtienen a partir de las antenas físicas se asemejan a los obtenidos en las simulaciones, salvo que existe un desplazamiento en frecuencia y un aumento de la desadaptación. Cuando el usuario interactúa (figura 5.16), se produce un desplazamiento mayor, e incluso, los resultados obtenidos ya no se encuentran tan adaptados a una frecuencia como en las simulaciones.

Cuando el usuario interactúa, se observa una mayor diferencia entre los resultados obtenidos y los resultantes de las simulaciones. Esto puede ser debido a la diferencia de características del usuario simulado y el usuario real.

Capítulo 6

Conclusiones y líneas futuras

6.1 Conclusiones

En primer lugar, conviene decir que no hay una propuesta que destaque en cada uno de los aspectos y propiedades estudiadas. Por eso, en función de la banda de frecuencia de trabajo o si existe interacción del usuario, aparece el compromiso de elegir entre una de las dos propuestas de diseño estudiadas.

En lo que se refiere a los resultados obtenidos de la simulación, la propuesta 1 tiene mejores parámetros de antena en la banda DVB-H, tanto en valores de ganancia o directividad, como en dimensiones de la antena. Por otro lado, en la banda L, es mejor diseño el de la propuesta 2, debido a que posee mejores pérdidas de retorno, mayor ancho de banda y mayor ganancia.

Debido a la presencia del entorno, se ha estudiado como varía la tasa de error en el bit, obteniendo los siguientes resultados: para la banda DVB-H, la propuesta 2 reduce el BER un porcentaje de sus muestras, pero alcanzando valores superiores a los de la otra propuesta. Por tanto, para esta banda la propuesta 1 vuelve a ser la mejor opción. En cambio, para la banda L, se obtienen menores valores de BER en el caso de la propuesta 2 (tal y como ocurría con las simulaciones).

Por último, se compararon las antenas simuladas con las fabricadas, en función de sus pérdidas de retorno. Los resultados obtenidos son muy parecidos, salvo que las pérdidas de retorno de las antenas fabricadas se encuentran generalmente desplazadas en frecuencia hacia frecuencias superiores. Esto puede ser debido a un error en el proceso de fabricación, en el cual la tolerancia del cobre no ha sido la óptima, o a la variación frecuencial de la impedancia característica. Si la antena estaba aislada, para la banda DVB-H, ambas propuestas obtenían resultados similares, mientras que en la banda L la propuesta 2 tiene mayor ancho de banda. En los casos en los que el usuario intervenía, además del desplazamiento en frecuencia, se apreciaba una desadaptación de las antenas, que se enfatizaba para la banda L.

Como conclusión, en caso de trabajar para la banda DVB-H, se puede decir que la propuesta 1 es mejor que la propuesta 2, ya que a pesar de ser parecidos los diseños reales, posee mejores parámetros de antena en la simulación y es menos sensible a la presencia del usuario. En cambio si se trabajase en la banda L, se debería elegir la propuesta 2, ya que tanto en simulaciones como en la situación real, sus medidas son superiores a las de la propuesta 1.

6.2 Líneas futuras

En este proyecto se ha realizado un modelado del usuario y se ha estimado el comportamiento que tendría éste sobre las antenas diseñadas. Tomando como base los resultados obtenidos en este proyecto se propone, profundizar teniendo en cuenta la variable tiempo, lo que permitiría hacer un estudio sobre la variabilidad de la impedancia. Además, se podría diseñar un sintetizador de impedancias con el objetivo de que el diseño se adapte a cualquier situación.

Las respuestas frecuenciales de las antenas diseñadas no coinciden con exactitud con las obtenidas en las simulaciones. Éste desplazamiento es prácticamente el mismo para todos los diseños, por lo que una posible solución sería tenerlo en cuenta en las simulaciones a la hora de diseñar futuras antenas.

Bibliografía

- [1] DVB Project, <http://www.dvb-h.org/>
- [2] DVB-H, http://www.dvb-h.org/PDF/01566629_DVB-H.pdf
- [3] European Telecommunications Standards Institute: "Digital video broadcasting (DVB); System Specifications for Satellite services to Handheld devices (SH) below 3 GHz", ETSI TS 102 585 V1.1.1 (2005-02)
- [4] European Telecommunications Standards Institute: "Digital video broadcasting (DVB); DVB-H implementation guidelines", ETSI TR 102 377 V1.3.1 (2005-02)
- [5] European Telecommunications Standards Institute: "Digital video broadcasting (DVB); DVB-SH implementation guidelines", ETSI A120
- [6] J.Holopainen: "Antenna for Handheld DVB Terminal", Thesis submitted in partial fulfillment for the degree of Master of Science in Spoo, 2005
- [7] Kevin R. Boyle, Yun Yuan, and Leo P. Ligthart: "Analysis of Mobile Phone Antenna Impedance Variations with User Proximity", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 2, February 2007
- [8] Kin-Lu Wong, Senior, Gwo-Yun Lee, and Tzung-Wern Chiou: "A Low-Profile Planar Monopole Antenna for Multiband Operation of Mobile Handsets", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 51, No. 1, January 2003
- [9] RongLin Li, Bo Pan, Joy Laskar and Manos M. Tentzeris: "A Compact Broadband Planar Antenna for GPS, DCS-1800, IMT-2000, and WLAN Applications", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 6, 2007
- [10] D. M.Pozar, Microwave Engineering, 3rd ed. Wiley, 2004.
- [11] A. Cardama, J.M. Rius, L.J. Roca, M. Ferrando, "Antenas", 2nd ed. UPC, 2002
- [12] M.Poggioni, L.Rugini and P.Banelli, "DVB-T/H and T-DMB: Physical Layer Performance Comparison in Fast Mobile Channels". *IEEE Trans. On Broadcasting*, vol 55, no. 4, Dec 2009
- [13] A.R. Webb, "Statistical Pattern Recognition", John Wiley & Sons, Ltd, 2002, ISBN 0-470-84513-9
- [14] S.M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc, 1993
- [15] Statistical Pattern Recognition, Second Edition. Andrew R. Webb, Copyright © 2002 John Wiley & Sons, Ltd. ISBNs: 0-470-84513-9

