

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	13
1.1.- HISTORIA DE LA TELEVISIÓN	13
1.2.- OBJETIVOS. ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA.....	15
2.- DVB.....	17
2.1.- INTRODUCCIÓN.....	17
2.2.- EL PROYECTO DVB	18
2.3.- ESTÁNDARES MÁS IMPORTANTES.....	19
2.3.1.- DVB-S	19
2.3.1.1.- Flujo de Transporte	19
2.3.2.- DVB-S2	21
2.3.3.- DVB-C.....	21
2.3.4.- DVB-C2.....	22
2.4.- DVB-T	23
2.4.1.- Introducción.....	23
2.4.2.- Codificación de Canal.....	25
2.4.2.1.- Adaptación y Dispersión de Energía	25
2.4.2.2.- Codificación Externa	26
2.4.2.3.- Codificación Interna	27
2.4.2.4.- Entrelazado Interno.....	27
2.4.3.- Modulación OFDM.....	28
2.4.3.1.- Capacidad del Canal de Transmisión	29
2.4.3.2.- Portadoras Piloto.....	29
2.5.- OTROS ESTÁNDARES DE TRANSMISIÓN DIGITAL.....	31
2.5.1.- Estándar ATSC.....	31
2.5.2.- Estándar ISDB-T	33
3.- DVB-T2.....	35
3.1.- INTRODUCCIÓN.....	35
3.2.- VISIÓN GENERAL SOBRE DVB-T2	36
3.2.1.- Capa Física	36
3.2.2.- Physical Layer Pipes (PLPs)	37
3.2.3.- Preámbulos (P1 y P2).....	38
3.2.4.- Patrón de Pilotos	38
3.2.5.- Códigos de control de errores LDPC/BCH.....	39
3.2.6.- Etapas de entrelazado	39
3.2.7.- Técnicas de reducción de PAPR.....	40
3.3.- ELECCIÓN DE PARÁMETROS.....	40
3.3.1.- Elección del tamaño FFT	41
3.3.2.- Elección de portadora normal o extendida.....	41
3.3.3.- Elección del Intervalo de Guarda	42
3.3.4.- Elección del Patrón de Pilotos.....	43
3.3.5.- Elección de la longitud de la Trama.....	44

3.3.6.- Elección de los parámetros de entrelazado de tiempo	45
3.4.- ESTRUCTURA FÍSICA DE LA TRAMA	46
3.4.1.- Súper-trama.....	46
3.4.2.- Trama T2.....	47
3.4.3.- Señalización L1	49
3.5.- ESTRUCTURA LÓGICA DE UNA TRAMA	50
3.5.1.- Paquetes	50
3.5.2.- BB-Frame, FECFrames y bloques FEC.....	50
3.5.2.1.- BB-Frames	50
3.5.2.2.- FECFrames	50
3.5.2.3.- Bloques FEC	51
3.5.3.- Entrelazado de Tramas.....	51
3.5.4.- Bloques TI	52
3.6.- SEÑALIZACIÓN L1.....	52
3.7.- CODIFICACIÓN Y MODULACIÓN.....	53
3.7.1.- Corrección de errores para las PLP	53
3.7.2.- Entrelazado de Bits	54
3.7.3.- Entrelazador de células.....	55
3.7.4.- Entrelazado de Tiempo.....	56
3.8.- FORMACIÓN DE TRAMA Y GENERACIÓN OFDM.....	57
3.8.1.- Entrelazado en frecuencia	58
3.8.2.- Inserción de Pilotos.....	59
3.8.2.1.- Definición de la secuencia de referencia	59
3.8.2.1.1.- Secuencia PRBS.....	60
3.8.2.1.2.- Secuencia PN	60
3.8.2.2.- Propósito de la inserción de pilotos	61
3.8.2.3.- Localización de las portadoras pilotos.....	61
3.9.- USO DEL SÍMBOLO P1	62
3.9.1.- Introducción.....	62
3.9.2.- Estructura del símbolo P1	62
3.9.3.- Características de P1	64
4.- MODULACIÓN OFDM	65
4.1.- UN POCO DE HISTORIA	65
4.2.- MODELADO DE OFDM	66
4.2.1.- Modelo en tiempo Continuo	67
4.2.2.- Modelo en tiempo discreto	68
4.2.3.- Imperfecciones.....	69
4.2.4.- Sincronización.....	70
4.2.4.1.- Sincronización de Símbolos	70
4.2.4.2.- Sincronización de la frecuencia de muestreo	71
4.2.4.3.- Sincronización de la frecuencia de portadora	72
4.2.5.- Estimación de canal.....	73
4.2.5.1.- Información de pilotos	74
4.2.5.2.- Diseño del estimador.....	74
5.- MATLAB Y SIMULINK	76
5.1.- MATLAB.....	76
5.1.1.- Introducción.....	76
5.1.2.- Componentes de Matlab	77
5.1.3.- El entorno de trabajo de Matlab	77

5.1.3.1.- Ayuda en línea	77
5.1.3.2.- Organización de ventanas	78
5.1.3.3.- Operaciones básicas en la línea de comandos	79
5.1.3.4.- Operaciones básicas con Matlab	80
5.1.3.5.- Funciones en Matlab	80
5.1.3.6.- Almacenamiento en Archivo	82
5.2.- SIMULINK	83
5.2.1.- Introducción.....	83
5.2.2.- Uso de Simulink	83
5.2.3.- El espacio de trabajo Simulink	85
5.2.4.- Fuentes y Sumideros de señal.....	86
6.- SIMULACIÓN	87
6.1.- INTRODUCCIÓN.....	87
6.2.- VISIÓN GENERAL	87
6.3.- Transmisor	89
6.3.1.- Generador de datos	90
6.3.1.1.- Generador de los datos	91
6.3.1.2.- Integer to Bit Converter.....	93
6.3.1.3.- CRC-N Generator	93
6.3.1.4.- Base Band (BB) Header Insertion.....	94
6.3.1.5.- Vector Concatenate.....	95
6.3.1.6.- Zero Pad	96
6.3.1.7.- Scrambler	97
6.3.2.- Codificación y Modulación de datos	97
6.3.2.1.- Codificación FEC	98
6.3.2.1.1.- Codificación BCH.....	99
6.3.2.1.2.- Codificación LDPC	99
6.3.2.2.- Bit to Integer Converter.....	100
6.3.2.3.- Modulación.....	100
6.3.2.4.- Entrelazado de célula	101
6.3.2.5.- Entrelazado en Tiempo.....	101
6.3.3.- Adición de Portadoras Pilotos.....	102
6.3.3.1.- Buffer.....	104
6.3.3.2.- Entrelazado en Frecuencia	104
6.3.3.3.- Pilotos.....	105
6.3.3.3.1.- PRBS Sequence	105
6.3.3.3.2.- PN-Sequence	106
6.3.3.3.3.- Selector.....	107
6.3.3.3.4.- Logical Operator	107
6.3.3.3.5.- Selectors	108
6.3.3.3.6.- Ganancia	109
6.3.3.4.- Matrix Concatenate.....	109
6.3.3.5.- Seleccionador de Índices	109
6.3.3.5.1.- Vector para ordenar los símbolos.....	110
6.3.3.5.2.- Multiport Switch	111
6.3.3.5.3.- Señal de Control	111
6.3.3.6.- Variable Selector	112
6.3.4.- Modulación de la Señal.....	112
6.3.4.1.- Zero Pad	113
6.3.4.2.- Selector.....	114
6.3.4.3.- IFFT	115
6.3.4.4.- Inserción del Intervalo de Guarda	115
6.4.- RECEPTOR	117

6.4.1.- Demodulación OFDM	118
6.4.1.1.- Eliminación del Intervalo de Guarda	118
6.4.1.2.- FFT	119
6.4.1.3.- Frame Conversion.....	119
6.4.1.4.- Eliminación de ceros.....	119
6.4.2.- Eliminación de las portadoras Pilotos.....	120
6.4.2.1.- Índice para ordenar	121
6.4.2.1.1.- Vector para ordenar el símbolo	122
6.4.2.1.2.- Multipoint Switch	122
6.4.2.1.3.- Señal de Control	122
6.4.2.2.- Variable Selector	123
6.4.2.3.- Desentrelazado en Frecuencia	123
6.4.2.4.- Frame Allignement	124
6.4.2.5.- Buffer.....	125
6.4.3.- Decodificación y Demodulación de Datos.....	126
6.4.3.1.- Desentrelazado en Tiempo.....	126
6.4.3.2.- Desentrelazado de célula	127
6.4.3.3.- Demodulador.....	127
6.4.3.4.- Integer to Bit converter	128
6.4.3.5.- Mapeador de Datos.....	128
6.4.3.6.- Decodificación LDPC.....	129
6.4.3.7.- BCH Decoder	130
6.4.4.- Extracción de datos	130
6.4.4.1.- Descrambler	131
6.4.4.2.- Selector.....	131
6.4.4.3.- Bit to Integer Converter.....	132
6.4.5.- Resultados	133
6.4.5.1.- Constelaciones y Espectro	133
6.4.5.2.- Variables.....	136
6.4.5.3.- BER	137
7.- CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	139
8.- BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXO	143
VARIABLES.....	143
FUNCIÓN DVBT2LDPC	147

ÍNDICE DE GRÁFICAS

FIG. 2.1: ESTÁNDARES PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN EL MUNDO	18
FIG. 2.2: FLUJO DE TRANSPORTE EN DVB-S	20
FIG. 2.3: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DVB-T	24
FIG. 2.4: GENERADOR PRBS PARA LA DISPERSIÓN DE ENERGÍA DEL FLUJO DE TRANSPORTE	25
FIG. 2.5: CODIFICACIÓN REED-SOLOMON	26
FIG. 2.6: ESTRUCTURA DEL SEGMENTO DE DATOS	32
FIG. 2.7: DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA CODIFICACIÓN DE CANAL EN ISDB-T	34
FIG. 3.1: COMPARACIÓN ENTRE DVB-T Y DVB-T2	35
FIG. 3.2: VISIÓN GENERAL DE UN SISTEMA DVB-T2	36
FIG. 3.3: DIFERENTES PLPS OCUPANDO DIFERENTES INTERVALOS DE TIEMPO	37
FIG. 3.4: PATRÓN DE PILOTOS DISPERSAS EN DVB-T (IZQUIERDA) Y DVB-T2 (DERECHA)	39
FIG. 3.5: COMPARACIÓN ENTRE CODIFICACIÓN CONVOLUCIONAL (DVB-T) Y CODIFICACIÓN LDPC (DVB-T2)	39
FIG. 3.6: ESPECTRO DE LA SEÑAL DVB-T2 PARA INTERVALOS DE GUARDA 1/8 (CANALES DE 8 MHZ)	42
FIG. 3.7: ESTRUCTURA DE UNA TRAMA T2	46
FIG. 3.8: ESTRUCTURA DE UNA TRAMA T2	48
FIG. 3.9: MAPEADO DE SEÑALIZACIÓN L1, PLPS Y CADENAS AUXILIARES EN UNA TRAMA T2	48
FIG. 3.10: MAPEADO DE SEÑALIZACIÓN L1 EN SÍMBOLOS P2	49
FIG. 3.11: ESTRUCTURA DE LA SEÑALIZACIÓN L1	53
FIG. 3.12: EJEMPLO DE ENTRELAZADO DE BITS	55
FIG. 3.13: ESQUEMA DEL ENTRELAZADO DE CÉLULA	56
FIG. 3.14: USO DE LA MEMORIA PARA EL ENTRELAZADO DE TIEMPO	57
FIG. 3.15: ENTRELAZADOR FRECUENCIAL PARA EL MODO 8K	58
FIG. 3.16: FORMACIÓN DE LA SECUENCIA DE REFERENCIA	59
FIG. 3.17: GENERACIÓN DE LA SECUENCIA PRBS	60
FIG. 3.18: ESTRUCTURA DEL SÍMBOLO P1	63
FIG. 4.1: POSICIÓN DEL PREFIJO CÍCLICO RESPECTO A UN SÍMBOLO OFDM	66
FIG. 4.2: ESQUEMA GENERAL DE UN SISTEMA CON MODULACIÓN OFDM	67
FIG. 4.3: ESQUEMA DEL MODELADO DE UN SISTEMA OFDM EN TIEMPO CONTINUO	68
FIG. 4.4: ESQUEMA DE UN SISTEMA OFDM EN TIEMPO DISCRETO	68

FIG. 4.5: EFECTOS DEL OFFSET DE FRECUENCIA ΔF : REDUCCIÓN DE LA AMPLITUD DE LA SEÑAL (°) Y LA INTERFERENCIA ENTRE PORTADORAS (•)	73
FIG. 4.6: EJEMPLO DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN DE PILOTOS	74
FIG. 5.1: ENTORNO DE TRABAJO MATLAB.....	78
FIG. 5.2: VENTANA NAVEGACIÓN DE BLOQUES SIMULINK	84
FIG. 5.3: ESPACIO DE TRABAJO DE SIMULINK.....	85
FIG 6.1: ESQUEMA GENERAL DE MODULACIÓN.....	88
FIG. 6.2: ESQUEMA GENERAL DEL TRANSMISOR	90
FIG. 6.3: ESQUEMA DEL GENERADOR DE DATOS	91
FIG. 6.4: ESQUEMA DEL GENERADOR DE DATOS PROPUESTO POR EL ESTÁNDAR	91
FIG. 6.5: ESQUEMA DE LA ETAPA CODIFICACIÓN Y MODULACIÓN DE DATOS	98
FIG. 6.6: ESQUEMA DE CODIFICACIÓN Y MODULACIÓN DE DATOS PROPUESTO POR EL ESTÁNDAR.....	98
FIG. 6.7: FORMATO DE LOS DATOS ANTES DE LA ETAPA DE MODULACIÓN	98
FIG. 6.8: ESQUEMA DE LA CONSTELACIÓN TRANSMITIDA	100
FIG. 6.9: ENTRELAZADO EN TIEMPO.....	101
FIG. 6.10: ESQUEMA DE ADICIÓN DE PILOTOS.....	103
FIG. 6.11: ESQUEMA DEL GENERADOR DE TRAMAS PROPUESTO POR EL ESTÁNDAR	103
FIG. 6.12: ESQUEMA DE LA GENERACIÓN DE PILOTOS	105
FIG. 6.13: ESQUEMA DEL SELECCIONADOR DE ÍNDICES.....	110
FIG. 6.14: MODULACIÓN DE LA SEÑAL.....	113
FIG. 6.15: ESQUEMA DE MODULACIÓN DE LA SEÑAL PROPUESTO POR EL ESTÁNDAR	113
FIG. 6.16: ESQUEMA DE LA INSERCIÓN DEL INTERVALO DE GUARDA	116
FIG. 6.17: ESQUEMA GENERAL DEL RECEPTOR	117
FIG. 6.18: ESQUEMA DE DEMODULACIÓN DE LA SEÑAL.....	118
FIG. 6.19: ESQUEMA DE ELIMINACIÓN DE LAS PORTADORAS PILOTOS.....	120
FIG. 6.20: ESQUEMA PARA GENERAR LOS VECTORES DE REORDENACIÓN	121
FIG. 6.21: ESQUEMA DEL PROCESO DE DECODIFICACIÓN DE DATOS	126
FIG. 6.22: ESQUEMA DE LA ETAPA EXTRACCIÓN DE DATOS	130
FIG. 6.23: ESQUEMA DE UNA SEÑAL QPSK.....	134
FIG. 6.24: CONSTELACIONES DE LAS SEÑALES TRANSMITIDAS Y RECIBIDAS	134
FIG. 6.25: ESPECTRO TEÓRICO PARA UNA SEÑAL DVB-T2.....	135
FIG. 6.26: ESPECTRO EN FRECUENCIA DE LA SEÑAL TRANSMITIDA	135
FIG. 6.27: BER A LOS $4.48 \cdot 10^{-3}$ SEG.	137
FIG. 6.28: BER A LOS 0.2 SEG.	137
FIG. 6.29: BER A LOS 0.4 SEG.	138

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1: DURACIÓN DE LOS INTERVALOS DE GUARDA EN μ S PARA CANALES DE 8MHZ	43
TABLA 3.2: COMPARACIÓN ENTRE LOS PATRONES DE <i>SCATTERED PILOTS</i>	44
TABLA 3.3: NÚMERO DE SÍMBOLOS P2 PARA CADA VALOR DE FFT.....	47
TABLA 3.4: MÁXIMA LONGITUD DE TRAMA LF EN SÍMBOLOS OFDM.....	48
TABLA 3.5: DISTRIBUCIÓN DE LOS PESOS DE LAS COLUMNAS PARA BLOQUES DE 64800.....	54
TABLA 3.6: DISTRIBUCIÓN DE LOS PESOS DE LAS COLUMNAS PARA BLOQUES DE 16200.....	54
TABLA 3.7: PERMUTACIÓN DE BITS PARA EL MODO 8K.....	58
TABLA 3.8: SECUENCIA PN GENERAL. DESCRIPCIÓN HEXADECIMAL	60
TABLA 3.9: PRESENCIA DE LOS DISTINTOS TIPOS DE PILOTOS EN CADA TIPO DE SÍMBOLO.....	62
TABLA 5.1: OPERACIONES ARITMÉTICAS Y LÓGICAS EN MATLAB	80
TABLA 5.2: FUNCIONES ELEMENTALES DE MATLAB: TRIGONOMETRÍA.....	81
TABLA 5.3: FUNCIONES ELEMENTALES DE MATLAB: EXPONENCIALES	81
TABLA 5.4: FUNCIONES ELEMENTALES DE MATLAB: AJUSTE Y REDONDEO	81
TABLA 5.5: FUNCIONES ELEMENTALES DE MATLAB: OPERACIONES MATRICIALES	82
TABLA 5.6: TABLA RESUMEN DEL COMANDO SAVE	82
TABLA 5.7: TABLA RESUMEN DEL COMANDO LOAD	83
TABLA 5.8: FORMAS DE CONECTAR LOS BLOQUES	85
TABLA 5.9: FUENTES DE SEÑAL EN SIMULINK	86
TABLA 5.10: SUMIDEROS DE SEÑAL EN SIMULINK.....	86