



Universidad Politécnica de Valencia

Escuela Politécnica Superior de Gandía

Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones,
especialidad imagen y sonido



Proyecto Final de Carrera

CARACTERIZACIÓN DE EQUIPOS PARA LA RECEPCIÓN DE NUEVOS CANALES DE TDT EN EL CENTRO EMISOR DE TITAGUAS

Autor:

Pablo Martín Collado

Tutor Universidad Politécnica de Valencia:

Borja Vidal Rodríguez

Tutor de empresa:

Sergio Diago Haba

Valencia, 2012

Agradecimientos

Quisiera aprovechar estas líneas para agradecer a todas aquellas personas que han colaborado o han hecho posible este proyecto, o simplemente me han acompañado, cada uno a su manera, durante todo el proceso. Primeramente, dar las gracias a mi tutor Borja Vidal, por la enorme paciencia que ha tenido conmigo y, sobretodo, con el tiempo que he tardado en poder terminar este Proyecto, ya que siempre ha estado dispuesto a ayudar y nunca ha tenido ningún impedimento a pesar del enorme cambio que decidí realizar en la temática del proyecto.

Agradecer también a Sergio Diago por su colaboración y su dedicación, ya que sin su ayuda y conocimientos, pero sobretodo sin sus consejos, esto no hubiera sido posible tal y como ha resultado. También quisiera extender estos agradecimientos a la oportunidad tan enorme que me dieron al ofrecerme colaborar durante más de un año en la empresa. La experiencia que he adquirido y todo lo que me he aprendido durante mi estancia allí ha sido inolvidable, y nunca lo olvidaré. A Sergio, Adrián y el resto de compañeros, gracias.

Finalmente, no puedo acabar sin mencionar el apoyo incondicional de mi familia, amigos, compañeros... Y aunque en ciertos casos les ha resultado algo muy ambiguo y difícil de comprender, nunca han dudado en apoyarme y animarme a seguir adelante... A todos ellos, muchas gracias.

ÍNDICE

Descripción y objetivos.....	1
Estructura del proyecto.....	2
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 MARCO DEL PROYECTO.....	3
1.2 LOS PRIMEROS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN.....	4
1.2.1 ORÍGENES: EL BLANCO Y NEGRO.....	4
1.2.2 LA FASE ELECTROMECAÁNICA.....	4
1.2.3 LA FASE ELECTROMECAÁNICA ANALÓGICA.....	8
1.2.4 LA FASE ELECTROMECAÁNICA ANALÓGICA.....	9
1.2.5 LOS SISTEMAS DE TELEVISIÓN A COLOR.....	9
1.2.6 NTSC.....	11
1.2.7 SECAM.....	12
1.2.8 PAL.....	13
1.2.9 PAL+.....	14
1.2.10 D2MAC.....	15
Capítulo 2: MARCO REGULATORIO Y LEGISLACIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL.....	16
2.1 NORMATIVA INTERNACIONAL.....	16
2.1.1 NORMATIVA EUROPEA.....	17
2.1.2 ESTÁNDARES ETSI.....	18
2.2 NORMATIVA NACIONAL.....	18
2.2.1 CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS (CNAF).....	18
2.2.2 REGULACIÓN DE LA TDT EN ESPAÑA.....	20
2.3 ESCENARIOS DE IMPLANTACIÓN.....	26
2.3.1 INTRODUCCIÓN TEÓRICA.....	26
2.3.2 ESCENARIO PASADO.....	27

2.3.3 ESCENARIO DE TRANSICIÓN.....	28
2.3.4 ESCENARIO TRAS EL APAGÓN ANALÓGICO.....	30
2.4 EXTENSIONES DE COBERTURA TDT PARA COMUNIDADES AUTÓNOMAS.....	32
2.5 CONCURSOS AUTONÓMICOS Y LOCALES.....	34
2.5.1 CONCURSO DE ADJUDICACIÓN DE CONCESIONES.....	34
2.5.2 REDES LOCALES Y POSIBLES LÍNEAS DE ACTUACIÓN.....	34
2.6 REGULACIÓN DE PROYECTOS TÉCNICOS.....	36
2.7 GESTIÓN DEL MÚLTIPLE.....	37
Capítulo 3: ASPECTOS TÉCNICOS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL.....	40
3.1 INTRODUCCIÓN.....	40
3.1.1 INTRODUCCIÓN A LA TRANSMISIÓN DE TDT.....	41
3.2 CONCEPTOS BÁSICOS.....	42
3.2.1 INTRODUCCIÓN: ¿POR QUÉ DIGITALIZAR EL VÍDEO?	42
3.2.2 CONVERSIÓN DE LA SEÑAL ANALÓGICA EN DIGITAL.....	42
3.2.3 CODIFICACIÓN DE VÍDEO: CONVERSIÓN DE VÍDEO AL FORMATO DE MUESTREO.....	44
3.2.4 CODIFICACIÓN DE VÍDEO: MPEG.....	45
3.2.4.1 COMPRESIÓN ESPACIAL.....	47
3.2.4.2 COMPRESIÓN TEMPORAL.....	48
3.2.4.3 COMPRESIÓN MPEG-2.....	48
3.2.4.4 MPEG-4.....	51
3.3 CODIFICACIÓN DE CANAL.....	51
3.3.1 INTRODUCCIÓN.....	51
3.3.2 DISPERSIÓN DE ENERGÍA.....	52
3.3.3 CODIFICACIÓN DE REED-SOLOMON (O EXTERNA).....	53
3.3.4 DISPERSIÓN TEMPORAL DE ERRORES (ENTRELAZADO O FORNEY CONVOLUTIONAL INTERLEAVING)	53
3.3.5 CODIFICACIÓN CONVOLUTIVA (CODIFICACIÓN “INTERNA”).....	54

3.4 MODULACIONES DIGITALES.....	55
3.4.1 INTRODUCCIÓN.....	55
3.4.2. MODULACIONES DIGITALES PARA SATÉLITE Y CABLE.....	56
3.4.2.1 MODULACIÓN BPSK.....	57
3.4.2.2 MODULACIÓN QPSK.....	57
3.4.2.3 MODULACIÓN QAM.....	59
3.4.2.4 MODULACIÓN OFDM.....	60
Capítulo 4: ASPECTOS DE LA PLANIFICACIÓN, DIFUSIÓN Y MEDICIÓN DE LA SEÑAL DE TDT.....	63
4.1 INTRODUCCIÓN.....	63
4.2 DIFUSIÓN DE LA TDT.....	64
4.2.1 REDES DE DIFUSIÓN.....	64
4.2.2 SINCRONIZACIÓN SFN.....	65
4.2.3 SEÑAL ASI.....	66
4.2.4 CENTROS DE EMISIÓN. TRANSMISORES.....	66
4.2.5 CENTROS DE EMISIÓN. REEMISORES.....	67
4.3 EQUIPAMIENTO.....	68
4.3.1 EQUIPAMIENTO EN REDES SFN.....	69
4.3.2 EQUIPOS DE CODIFICACIÓN. MÚLTIPLEX DE PROGRAMA.....	69
4.3.3 EQUIPOS DE MULTIPLEXACIÓN.....	71
4.3.4 EQUIPOS PARA LA SINCRONIZACIÓN DE REDES SFN.....	71
4.3.5 MODULADOR COFDM.....	73
4.3.6 AMPLIFICACIÓN DE POTENCIA.....	74
4.3.7 ELEMENTOS RADIANTES.....	75
4.4 PLANIFICACIÓN DE LA DIFUSIÓN.....	77
4.4.1 OBTENCIÓN DE COBERTURAS.....	77
4.4.2 CÁLCULO DE COBERTURAS MEDIANTE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS.....	78

4.4.3 FACTORES QUE LIMITAN LA COBERTURA	79
4.4.4 POTENCIAS.....	80
4.5 PARÁMETROS DE MEDIDA DE CALIDAD	81
4.5.1 BER.....	81
4.5.2 GANANCIA DE CÓDIGO.....	82
4.5.3 MER.....	82
4.5.4 RELACIÓN SEÑAL A RUIDO.....	82
4.5.5 INTERVALO DE GUARDA	83
4.6 MÉTODOS DE MEDIDA DE CALIDAD	83
4.6.1 NIVEL DE SEÑAL.....	83
4.6.2 VISUALIZACIÓN DEL ESPECTRO.....	84
4.6.3 MEDIDA DE LA C/N	84
4.6.4 MEDIDA DEL VER	85
4.6.5 JUZGAR LA CALIDAD DE LA IMAGEN DE TELEVISIÓN.....	85
4.7 RECEPCIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL.....	86
4.7.1 CONSTITUCIÓN DE UN RECEPTOR/DECODIFICADOR DE TV DIGITAL.....	87
4.7.2 EL RECEPTOR/DECODIFICADOR DE SATÉLITE.....	88
4.7.3 EL RECEPTOR DIGITAL POR CABLE.....	90
Capítulo 5: CENTRO EMISOR DE TITAGUAS	91
5.1 INTRODUCCIÓN.....	91
5.2 CARACTERIZACIÓN DE CENTROS TIPO GAP-FILLER.....	91
5.2.1 EL GAP-FILLER.....	91
5.2.2 CARACTERÍSTICAS A TENER EN CUENTA EN LA PLANIFICACIÓN....	93
5.2.3 REQUERIMIENTOS PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE UN GF	94
5.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS MARCA TREDESS	96
5.4 SISTEMA RADIANTE Y EQUIPAMIENTO EXISTENTE.....	98

5.4.1 SISTEMA RADIANTE.....	98
5.4.2 CADENAS MULTIPLEXORAS.....	100
5.4.3 EQUIPAMIENTO.....	100
5.4.4 SISTEMA DE RECEPCIÓN.....	101
5.4.5 CROQUIS DEL SISTEMA RADIANTE.....	101
5.4.6 DIAGRAMA DE RADIACIÓN	104
5.4.6 PLOT DE COBERTURA.....	106
5.5 APLICACIÓN REAL.....	107
5.5.1 SIMULACIÓN.....	107
5.5.2 MEDIDAS DE CAMPO.....	109
Anexo I: LISTADO DE CANALES Y FRECUENCIAS EN TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE.....	112
Anexo II: HOJA DE CARACTERÍSTICAS GAP-FILLERS TREDESS.....	113
Anexo III: HOJA DE CARACTERÍSTICAS MULTIPLEXORES TREDESS.....	114
Anexo IV: TELEVISIÓN EN ALTA DEFINICIÓN O HDTV.....	115
Anexo V: TELEVISIÓN INTERACTIVA EN ESPAÑA.....	117
Listado de figuras y tablas.....	124
Referencias bibliográficas.....	126
Bibliografía.....	127

DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS

Con el presente Proyecto Final de Carrera se pretende tratar de profundizar en el ámbito de la difusión de la TDT (Televisión Digital Terrestre), a través de un amplio análisis de diversos aspectos: el proceso de transmisión de la TDT en España, la metodología de recepción en los diversos centros, y el análisis de múltiples equipos para ello. Además, y como aplicación práctica y fundamento básico de este PFC, se va a tratar de adecuar unos equipos del centro emisor del municipio de Titaguas (provincia de Valencia) que en la actualidad no están siendo utilizados. Por tanto, habrá que distinguir entre dos partes claramente diferenciadas.

Este Proyecto Final de Carrera se ha pensado a raíz de una propuesta que surgió del Ayuntamiento de Titaguas, concretamente del alcalde Ramiro Rivera Gracia, al encontrarse en el repetidor del municipio unos equipos que estaban en perfecto estado pero sin ser utilizados en la actualidad. Él mismo comunicó la posibilidad de aprovecharlos, y es ahí donde surge el Proyecto, ya que el autor se encontraba precisamente realizando las prácticas en la empresa *Abertis Telecom*, encargada del mantenimiento de las instalaciones de recepción y emisión de TDT de los centros repetidores de España, y es Sergio Diago, tutor del alumno en la empresa, quién propone realizar e incluir las comprobaciones necesarias como parte de un Proyecto Final de Carrera.

Se han dado, por tanto, todas las mejores condiciones para que se realice este Proyecto, ya que se va a disponer del material técnico necesario para poder hacer las medidas pertinentes, y también del material informático para poder plasmar esas medidas en gráficos, mapas, etc.

Como objetivos, se podría decir que el Proyecto Final de Carrera tiene dos grandes objetivos:

En primer lugar, situar al lector en el escenario en el que nos encontramos: la situación actual de la emisión de televisión digital en España. Para ello se optará por hacer una descripción de la historia, de la TV analógica y por supuesto de la situación actual, profundizando en los aspectos técnicos de emisión y recepción utilizando el material que proporciona la empresa, además de todo lo aprendido hasta el momento.

Seguidamente, en segundo lugar se plasmarán los resultados técnicos o prácticos de todas las comprobaciones realizadas con los equipos del centro emisor, de forma sencilla y entendible. Para ello se utilizarán las herramientas tanto técnicas como informáticas que sean necesarias para mostrar los resultados finales en el Proyecto.

ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El trabajo a realizar en este Proyecto Final de Carrera se puede dividir en dos grandes bloques: en primer lugar un estudio de fundamentos e historia de la televisión, e introducción a la televisión digital terrestre; y en segundo lugar se analizará el caso concreto en el que estamos centrando el objetivo del Proyecto.

Dentro del primer bloque se incluye en primer lugar una introducción, con la que se pretenderá introducir al lector en los fundamentos básicos de emisión de televisión, tanto digital como analógica, con lo que se pondrá en situación con una breve descripción de la historia de la emisión analógica, y de los sistemas que se utilizaban.

En segundo lugar, se hace hincapié en todos los aspectos de legislación técnica que atañen en general a la televisión digital y su distribución, y en particular a nuestro caso concreto.

En el siguiente apartado se describe al lector en profundidad los aspectos técnicos más importantes de la televisión digital, y que va a ser necesario conocer para el correcto seguimiento y desarrollo de este Proyecto.

Más tarde se hace un análisis minucioso de todas las posibilidades de planificación, difusión y medición de televisión digital terrestre, a la hora de poner en funcionamiento un nuevo centro o planear la modificación de un centro existente.

Finalmente, el segundo bloque es el caso concreto de Titaguas, donde se realiza un estudio, con medidas teóricas y prácticas, para poder utilizar los equipos existentes y comprobar que sería posible dicha tarea.

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

1.1 MARCO DEL PROYECTO

Para poder llegar al segundo bloque experimental del Proyecto, se ha considerado necesario introducir una serie de apartados en los que se explicarán varios conceptos importantes, que van desde la introducción a la historia e hitos más importantes que se han desarrollado en la corta vida de la televisión digital, hasta la asimilación de los conceptos más importantes del aspecto técnico de la transmisión de la señal de televisión, desde que se producen contenidos hasta que se recibe en cualquier hogar.

La gran demanda que existe hoy en día en el mundo audiovisual se debe, en mayor medida, a la televisión digital. La televisión digital es la difusión de las señales de TV que utiliza la más moderna tecnología. Ha revolucionado el concepto que hasta ahora se tenía de la televisión, con una gran capacidad de imagen y sonido, mayor poder de participación e interactividad.

Existen numerosas ventajas, entre las que se pueden encontrar: un mayor número de emisoras y/o canales, por consiguiente nuevos contenidos y servicios, calidad de imagen y sonido similar al DVD, posibilidad de emisión en formato panorámico 16:9, sonido digital multicanal 5:1, incorporación de la versión original de los contenidos extranjeros, posibilidad de elección del idioma y subtítulos, servicios interactivos, guías electrónicas de programación,... Es en definitiva un gran avance audiovisual.

Además, se pueden encontrar tres modalidades de TV Digital:

- TV Digital Terrestre o Terrenal (TDT).
- TV Digital por satélite.
- TV Digital por cable.

Dentro de estas tres modalidades, existen dos con programación en abierto:

- TDT (DVB-T): Comenzó sus emisiones en abierto en abril de 2002 y convivió con la TV Analógica durante un período de tiempo, hasta que las emisiones en analógico desaparecieron por completo (en España, hasta el 1 de abril de 2010). Su recepción se realiza a través de la antena de TV convencional (UHF) existente en las azoteas de los edificios.
- TVD por satélite (DVB-S): Además de la oferta de TV de pago ofrecida por las plataformas de TV digital, cuenta con canales de TV en abierto y comenzó sus emisiones en España en 1997. Su recepción se realiza a través de una antena parabólica.

1.2 LOS PRIMEROS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN

1.2.1 ORÍGENES: EL BLANCO Y NEGRO

Debemos recordar previamente que todas las normas vigentes y no vigentes (NTSC, PAL, SECAM, D2MAC,...) se derivan, directa o indirectamente, de los estándares en blanco y negro definidos en los años 40 y 50, de los que se puede decir que surgió la base de la televisión.

Ha habido tres fases en la historia de la televisión:

- Fase electromecánica: desde finales del siglo XIX hasta 1935 aproximadamente.
- Fase electromecánica analógica: desde principios del siglo XX hasta la década de 1990.
- Fase electromagnética digital: a partir de la década de 1990 en adelante.

1.2.2 LA FASE ELECTROMAGNÉTICA

Las primeras pruebas de televisión electromecánica utilizaban el llamado *Disco de Nipkow* para la exploración y reproducción de la imagen. Dicho disco es una circunferencia plana y circular con una serie de perforaciones en forma de espiral desde el centro hacia el exterior. Haciendo girar el disco, cada perforación describe una circunferencia de radio diferente, lo cual es equivalente a una línea de exploración de imagen en una televisión moderna: cuantas más perforaciones tuviese, mayor número de líneas (y resolución) contendría la imagen final. La exploración era secuencial o progresiva, es decir, las líneas se exploraban una detrás de otra. Sin embargo, este sistema tenía grandes desventajas, en las que no se entrará a profundizar (el lector interesado puede encontrar más información en [www1]).

Las pruebas que se hicieron con este disco se remontan a finales de los años 20, con una definición inicial de 30 líneas y 12'5 imágenes por segundo. Ésta minúscula definición permitía transmitir imágenes con un emisor de radio AM corriente (la banda de paso era inferior a 10 kHz).

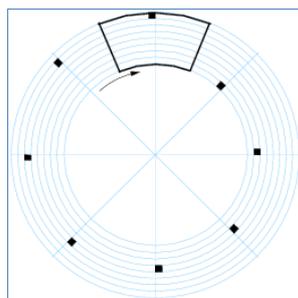


Figura 1. Esquema de un Disco de Nipkow.

Rápidamente la definición fue aumentando hasta llegar a las 60, 90, 120 y después, 180 líneas (Alemania, Francia) y 240 líneas (Inglaterra, EE.UU.) hacia 1935.

Estas definiciones – límite para el disco de exploración de Nipkow – son con las que se empezaron las primeras emisiones regulares, después de haber aparecido el tubo de rayos catódicos como dispositivo de visualización.

Estas primeras emisiones utilizaban un barrido progresivo (todas las líneas de la imagen se barren consecutivamente).

Por razones de orden práctico (radiaciones debidas a fugas magnéticas de los transformadores de alimentación, filtrados imperfectos), pareció indispensable utilizar una frecuencia de imagen que estuviera relacionada con la frecuencia de la red alterna (60Hz en EE.UU., 50 Hz en Europa) para minimizar el efecto visual de estas imperfecciones; la frecuencia de exploración fue, por tanto, de 25 imágenes/segundo en Europa y de 30 imágenes/segundo en EE.UU. Además de su deficiente definición espacial, estas primeras imágenes adolecían de un parpadeo bastante molesto (también llamado *flicker* de campo).

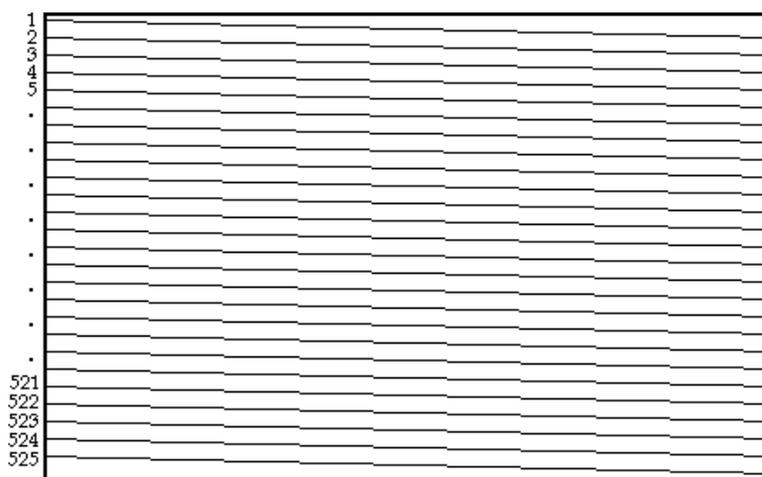


Figura 2. Barrido progresivo

Poco antes de la Segunda Guerra Mundial, la captación de la imagen se hizo electrónica gracias al iconoscopio, haciendo que las definiciones alcanzasen las 405 líneas en Inglaterra, 441, líneas en EE.UU. y Alemania, o 455 líneas en Francia, gracias al barrido entrelazado.

Este genial truco ideado en 1927 (transición de un primer campo compuesto por las líneas impares de la imagen y a continuación el segundo formado por las líneas pares), permitiría duplicar la frecuencia de refresco de la pantalla (50 o 60 Hz en lugar de los 25 o 30 Hz) sin aumentar la banda de paso para un número total de líneas dado.

El hecho de seguir manteniendo la relación entre frecuencia de red y frecuencia de campo condujo inevitablemente a la diferenciación de los estándares entre los dos continentes, incluso para un mismo número de líneas de exploración (como el caso de los sistemas de 441 líneas americano y alemán, por ejemplo).



Figura 3. Barrido entrelazado

Sin embargo, estos sistemas tenían ya en común características como las siguientes:

- Una única señal de imagen compuesta (abreviado con las sigla VBS, para *Video Baseband Signal*, que combina el vídeo propiamente dicho con las señales de sincronismo).
- Un barrido entrelazado de orden 2, reconocido como el mejor compromiso entre el parpadeo y la banda de paso necesaria para transmitir una señal de vídeo.

Poco después, teniendo en cuenta factores tales como el aumento del tamaño de los tubos, el poder resolutivo del ojo y las condiciones de observación, la definición de estos sistemas pareció insuficiente. Por tanto, una exploración con una definición vertical de 500 a 700 líneas contaría con una aprobación mayoritaria.

En 1941, fueron aprobadas una serie de características para el estándar monocromo americano (1941), que más tarde se convertirían en el sistema NTSC, del cual se hablará más adelante. Las características eran:

- 525 líneas, barrido entrelazado (2 campos de 262,5 líneas).
- Frecuencia de campo $f_v = 60$ Hz (59'94 Hz a partir de la introducción de color NTSC).
- Frecuencia de línea $f_h = 15.750$ Hz (60x265'5); 15.734 Hz a partir del color (59'94x265'5).
- Banda de paso de vídeo: 4'2 MHz.
- Modulación de vídeo negativa, sonido FM (a más de 4'5 MHz de la portadora de vídeo).

Tras la guerra (1949), la mayoría de los países de Europa (con la notable excepción de Francia e Inglaterra) adoptaba el estándar monocromo "Gerber", más conocido bajo el nombre "CCIR", con una frecuencia de campo de 50 Hz, una frecuencia de línea lo más cercana posible a la del sistema americano y con modulaciones similares, a fin de poder aprovechar al máximo la experiencia americana acerca de los principios básicos de los receptores.

Esto implicaba, pues, un número de líneas superior (en una proporción aproximada de 60/50) y, como consecuencia, una banda de paso de vídeo más ancha para obtener una resolución horizontal coherente con la resolución vertical. De ahí, las principales características que se mantuvieron fueron:

- 625 líneas, barrido entrelazado (2 campos de 312'5 líneas).
- Frecuencia de campo: $f_v = 50$ Hz.
- Frecuencia de línea: $f_h = 15.625$ Hz (50x312'5).
- Banda de paso de vídeo: 5 MHz.
- Modulación negativa de vídeo, sonido FM (a más de 5'5 MHz de la portadora de vídeo).

Partiendo de esta base, se definieron a continuación los sistemas PAL y SECAM, para seguir con D2MAC y PAL+.

Hasta los comienzos de los años 80, Inglaterra (con 405 líneas, impuesto antes de la guerra) y Francia (con 819 líneas, sistema desarrollado por Henri de France, inventor también del SECAM) han venido utilizando diferentes sistemas.

La llegada del color supuso el fin de estos sistemas, principalmente debido a la práctica imposibilidad – para los recursos técnicos de la época – de intercambiar imágenes en color entre estándares con normas de barrido diferentes.

1.2.3 LA FASE ELECTROMECAÁNICA ANALÓGICA

Esta fase se inició a principios del siglo XX con los trabajos sobre la fotoelectricidad y sobre el desarrollo del tubo de cámara, o tubo de rayos catódicos, basado en la exploración de la imagen por medio de un haz de electrones.

El primer tubo de cámara, llamado "iconoscopio", fue fruto del trabajo previo de diversos investigadores, aunque se le reconoce la paternidad al ruso Zworykin. Éste viajó desde Rusia a los Estados Unidos para trabajar con la conocida multinacional RCA (Radio Corporation of America) y aquí, en 1939, presentó al público el primer iconoscopio, que pronto logró la exploración de imágenes con más de 400 líneas de definición gracias al barrido entrelazado que, además, evitaba el parpadeo de la imagen en la pantalla.

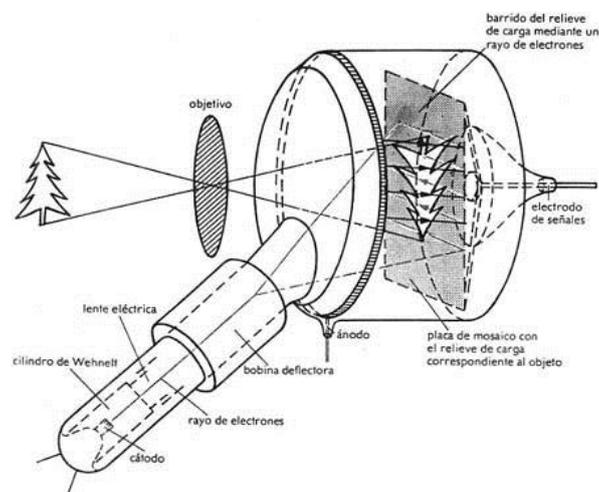


Figura 4. Esquema de un iconoscopio

Al igual que en el sistema electromecánico de Nipkow, la frecuencia con la que se renovaban las imágenes en la pantalla, o de *refresco*, era múltiplo de la frecuencia de la corriente alterna. Varios países se lanzaron al desarrollo de la televisión electromagnética analógica por exploración entrelazada con este tipo de frecuencia de refresco. Así, lograron definiciones de imagen en torno a las 450 líneas, pero la II Guerra Mundial paralizó todas las investigaciones.

Precisamente, la característica de que la exploración entrelazada de la imagen fuera equivalente a la frecuencia de la corriente alterna (AC) originó la primera y gran diferencia entre los sistemas de televisión de Europa y EE.UU. De todas formas, todos coincidían tanto en el barrido entrelazado, como en el tipo de señal compuesta de vídeo, formada por la señal de vídeo propiamente y los impulsos de sincronismo (la llamada VBS). (Ver Figura 5 en apartado 1.2.5)

Las bases de la televisión moderna estaban establecidas. Los estadounidenses adoptaron el sistema NTSC basado en su propio sistema de TV en blanco y negro, y lo mismo hicieron en Europa con el sistema PAL o el SECAM.

1.2.4 LA FASE ELECTROMECAÁNICA ANALÓGICA

Es la nueva fase que se ha abierto en la década de 1990 con la difusión digital de la radio y la televisión. Aunque la producción digital en vídeo está en marcha desde la década de 1980, la transmisión digital de televisión al público no se inició en Europa hasta 1996, año en que los espectadores europeos pudieron recibir la primera difusión digital de televisión y radio vía satélite. En cambio, la televisión y la radio digital terrestre iniciaron su andadura en el año 2000 aproximadamente, dependiendo de cada país o gobierno.

Durante la década 2000-2010 la televisión analógica y digital conviviría en una transición que, al final, traerá la desaparición de la primera.

En España, el período de transición se extendió desde la aprobación del nuevo Plan Técnico (Real Decreto 944/2005, de 29 de julio) hasta el momento del apagado analógico (realizado el 3 de abril del 2010, fecha que se hizo coincidir con el período de concesión de los radiodifusores nacionales). Sin embargo, en realidad este escenario empezó a aplicarse en 2005, desde la aparición de la directiva europea sobre cese de emisiones analógicas en Europa.

Más adelante, se procederá a explicar el Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre, incluido en el apartado donde se entrará más en profundidad en la multiplexación de emisión de televisión digital.

1.2.5 LOS SISTEMAS DE TELEVISIÓN A COLOR

Ya desde principios de los años 50, largos trabajos previos acerca de la percepción de los colores, junto con buenas dosis de ingenio, permitieron llegar a los estándares NTSC, PAL,..., los cuales están basados en una triple señal de vídeo en color (rojo, verde y azul) suministrada por el dispositivo captador de imagen, que debía ser transformada a una señal visualizable sin demasiados defectos sobre un televisor monocromo y además, debía caber en un canal de televisión existente, garantizando así una imagen en color con una calidad satisfactoria.

La idea básica fue, por tanto, transformar por combinación lineal las tres componentes RVA o RGB (en inglés: Red, Green, Blue) en otras señales equivalentes:

- Luminancia: Y. Es la señal que conforma la cantidad de luz en la escena. La señal estaba compuesta por: $Y = 0'3R + 0'59G + 0'11B$.

- Crominancia: C. Es la señal que conforma el color en la escena. Sólo se transmiten dos colores, el otro se extrae de Y, con el objetivo de solucionar ciertos problemas de retrocompatibilidad: $Y + (R-Y)$, $Y + (B-Y)$.

La combinación elegida para la señal de luminancia representa la luminosidad de la imagen, lo que permite a un televisor en blanco y negro considerarla como una señal monocroma.

En cuanto a las señales de crominancia, representan la coloración de la imagen monocroma transmitida por Y, permitiendo volver a restaurar las señales RGB en el aparato receptor en color mediante la combinación lineal con Y.

Dado que la resolución del ojo es menor para las transiciones de colores que para las transiciones de luminosidad, las señales de crominancia pueden satisfacerse con una banda de paso reducida (entre la cuarta parte y la mitad de la banda de paso de la que utiliza la luminancia).

El conjunto de señales formado por Y y por C es el punto común de todos los sistemas de televisión en color, incluso para los sistemas digitales más recientes. Las opciones escogidas por los pioneros de la televisión en color fueron, sin duda, bastante sensatas.

Para poder transportar estas señales por un canal monocromo existente (6 MHz en EE.UU., 7 u 8 en Europa), se pensó en añadir a la señal compuesta monocroma VBS, formada por Y más los sincronismos, una subportadora modulada por las señales de crominancia para formar una nueva señal llamada CVBS (Color Video Baseband Signal), tal como se muestra en la siguiente figura:

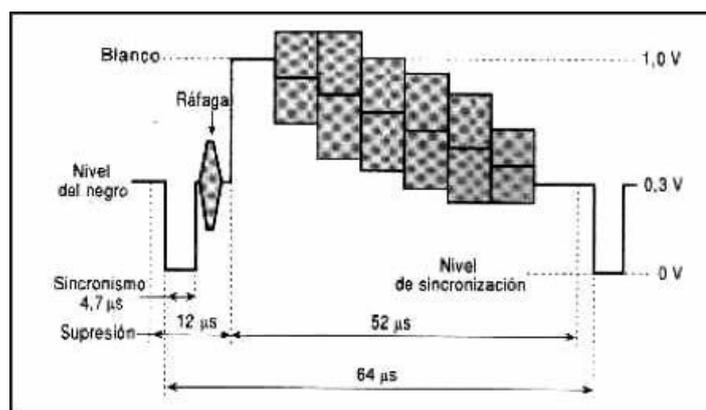


Figura 5. Representación de una señal de vídeo compuesto

Esta subportadora se sitúa en la parte superior del espectro con el fin de no interferir en el parque de receptores en blanco y negro instalados ni modificar demasiado la banda de paso de luminancia, al mismo tiempo que permanece en los límites de la banda de paso de vídeo existente (4,2 MHz en NTSC, de 5 a 6 en SECAM o PAL).

Hasta aquí no se aprecia ninguna diferencia en cuanto al principio de funcionamiento de los tres estándares NTSC, PAL y SECAM. Las diferencias entre estos sistemas estriba fundamentalmente en la manera de modular esta subportadora y en el valor de su frecuencia, como se verá a continuación.

1.2.6 NTSC

El NTSC o National Television System Committee se crea en Estados Unidos, y se utilizará en países como Canadá, la propia EE.UU., Japón, y Centro América. El número de líneas es de 525, el ancho de banda es de 4 MHz (aunque en realidad es una subportadora a aproximadamente 3'579545 MHz), y la frecuencia de línea es de 15750 Hz (es decir, 30 imágenes/segundo x 525 líneas/imagen).

Utiliza una subportadora enclavada sobre la frecuencia de línea, y modulada de amplitud en cuadratura o QAM según dos ejes ortogonales por las dos señales I (In phase) y Q (Quadrature). Estas dos señales son dos combinaciones lineales de R-Y y de B-Y, que corresponden a una rotación de 33º en los ejes de modulación con respecto a la fase de la ráfaga de referencia (eje B-Y).

Para entender mejor todo esto, se incluye a continuación una figura que representa el vector resultante de todos los datos anteriores:

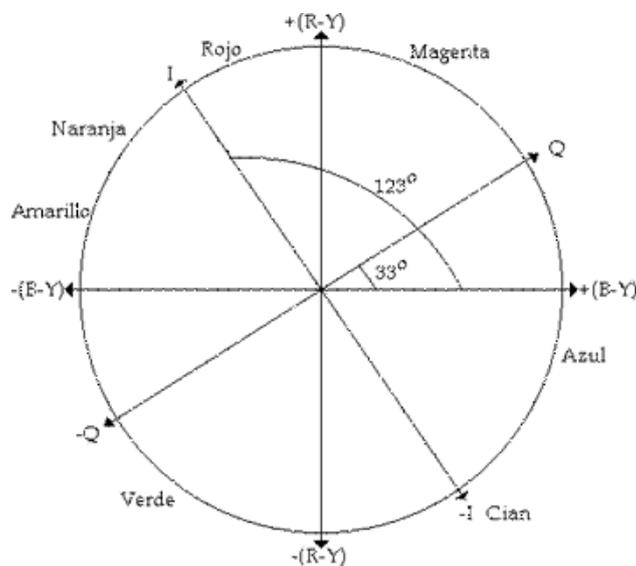


Figura 6. Representación vectorial de los colores en NTSC

Una ráfaga, o *burst*, de referencia en el umbral del negro permite reconstruir en el receptor la portadora necesaria para desmodular estas señales.

La elección de un múltiplo de la mitad de la frecuencia de línea para la subportadora hace que los espectros de luminancia y crominancia se intercalen, lo que permite una separación casi perfecta mediante un filtrado tipo "peine" (*comb filter*, poco utilizado en los receptores debido a su elevado coste económico).

Sin embargo, el NTSC resulta muy sensible a las rotaciones de fase debidas a la transmisión, lo que provoca desvíos de color importantes, particularmente con los colores "carne". Esto ha llevado a que las siglas NTSC se ganaran el sobrenombre de "*Never Twice The Same Color*", que traducido del inglés podría significar algo como "Nunca aparece dos veces el mismo color".

Por tanto, los europeos tuvieron que buscar soluciones, unos diez años más tarde, que dieron como resultado los sistemas SECAM y PAL.

1.2.7 SECAM

El SECAM (o *SEquentiel Couleur À Mémoire*) evita este inconveniente de fase, utilizando para la subportadora la modulación de frecuencia, insensible a las rotaciones de fase. Sin embargo, no permite la modulación simultánea por dos señales, como ocurriría con la modulación en cuadratura.

Este sistema representa en 625 líneas, con una frecuencia de línea de 15625 Hz y una frecuencia de campo de 25 imágenes/segundo.

Partiendo de dos líneas consecutivas que se consideran lo suficientemente parecidas como para poder ser calificadas de idénticas, se modula secuencialmente de línea a línea la subportadora por las señales de forma alternativa, corriendo por cuenta del receptor la recuperación de las dos señales simultáneamente.

Se utilizan además unas señales de identificación, las cuales se introducen al principio de cada campo, cada una en su línea correspondiente, y que se usan para que el receptor sincronice de manera correcta, y así comprobar que las señales que se reciben son las correctas (R-Y ó B-Y), a través de un circuito conmutador para disponer simultáneamente de todas las señales.

Este sistema es bastante eficaz, pero tiene los inconvenientes de que la subportadora, siempre presente incluso en zonas de la imagen sin color, es más visible que en NTSC o PAL, y que la restitución de las transiciones entre colores saturados es mediocre debido a la necesidad de truncar las excursiones máximas de frecuencia para no "morder" demasiado la banda de luminancia. Además, el filtrado *peine* no es posible debido al espectro continuo de la señal de FM.

1.2.8 PAL

El sistema PAL (Phase Alternating Line) es el sistema utilizado en España. Es un “pariente cercano” del NTSC, cuyo objetivo principal es solucionar los errores de todo del NTSC debido a los errores de fase, transformando estos en errores de saturación, menos apreciables al ojo humano.

En cuanto a los parámetros del sistema, son idénticas a los de SECAM: el número de líneas es de 625, la frecuencia de línea es de 15625 Hz y la frecuencia de campo de 25 imágenes/segundo.

Para evitar los inconvenientes derivados de la rotación de fase, se invierte la fase de la portadora V en una línea de cada dos, lo que permite, gracias a una línea de retardo de 64 μ s en el receptor, anular los eventuales errores de fase al sumar las señales V de dos líneas consecutivas.

La fase de la ráfaga de referencia se alterna de una línea a otra entre $+135^\circ$ y -135° con respecto a la fase de la portadora U, que es 0° , para poder sincronizar el demodulador en el receptor.

El sistema PAL tiene diversas ventajas, ya que soluciona el problema de NTSC, la compatibilidad del receptor en B/N es buena, y es más fácil mezclar sin demodular. Sin embargo, no todo son ventajas, ya que el receptor, por ejemplo, es menos económico que en el resto de casos, y en la fase de edición de los contenidos a emitir hay que mantener siempre la fase.

Además del PAL estándar (llamado **PAL B/G**), existen otras dos variantes menos conocidas, utilizadas en América del Sur, donde los canales son de 6 MHz, como en NTSC:

- PAL M (Brasil, 525 líneas/60 Hz).
- PAL N (Argentina, 625 líneas/50 Hz).

En los años 80, los europeos intentaron mejorar la calidad de las imágenes y del sonido de cara a los nuevos servicios de televisión vía satélite, evitando los principales inconvenientes de los sistemas compuestos, y adoptando el sonido digital, lo que dio nacimiento a los sistemas MAC.

A continuación se muestra una señal PAL de un canal cualquiera, de 8 MHz de ancho de banda, con sus componentes y frecuencias típicos:

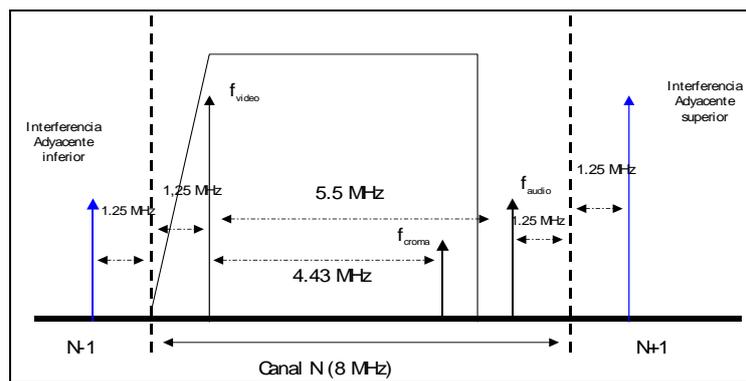


Figura 7. Perfil de un canal PAL en UHF (G-PAL)

1.2.9 PAL+

La norma PAL+ fue desarrollada entre 1990 y 1992 y, tras un período experimental de más de un año, las emisiones oficiales comenzaron en 1995 en Berlín. El PAL+ fue adoptado por la mayoría de los países que utilizaban el PAL, pero pronto fracasó y no fue implantado de manera continuada.

El sistema PAL+ estaba pensado para la transmisión de imágenes en formato 16/9, con definición mejorada, aunque al mismo tiempo compatible con los receptores PAL convencionales de relación 4/3. La mejora de la definición venía de que en el PAL+ se transmiten y reconstruyen en la pantalla del receptor las 576 líneas de la resolución vertical, cosa que no ocurría en el sistema convencional.

Concretamente, la imagen en PAL+ se obtiene mediante un filtrado paso bajo del vertical; el resultado del filtrado complementario (paso alto) se transmite sobre la subportadora a 4,43 MHz durante las 144 líneas negras no utilizadas, lo que permite al receptor PAL+ reconstruir una imagen con una completa resolución vertical de 576 líneas y con una perturbación relativamente pequeña en los receptores 4/3.

El hecho de que la fase de la subportadora de dos líneas contiguas de los dos campos que constituyen la imagen se transmite en oposición de fase, permite anular la diafonía de color en el receptor, sumando la parte superior del espectro de los dos campos así como anular la diafonía de luminancia sustrayéndolas, de ahí la necesidad de tener una memoria de campo, lo que contribuye a elevar el precio de los receptores PAL+.

La detección de movimiento permite evitar los defectos introducidos por este sistema – conocido con el nombre de “colorplus” – en los objetos de color en rápido movimiento.

De este modo, se obtiene una imagen 16/9 de calidad comparable a la del D2MAC, a condición, no obstante, de disponer de unas muy buenas condiciones de recepción (alta relación señal/ruido).

A fin de que el receptor sepa cuál es el formato de emisión que está recibiendo, se añaden en la primera mitad (que no se usa) de la línea 23 unos bits de indicación del tipo de formato (WWS, Wide Screen Signaling), de forma que el receptor pueda adaptar su formato de visualización.

1.2.10 D2MAC

Debido a que la calidad de la imagen y el sonido de las normal PAL y SECAM eran relativamente pobres, la Unión Europea de Radiodifusión (UER) desarrolló los sistemas MAC con el objeto de ofrecer una mejor calidad de imagen y sonido en la televisión por satélite. Para ello, introdujeron el sonido digital en los paquetes MAC, junto con varios canales de audio por señal de televisión. Así mismo, mejoramos el tratamiento de la señal de vídeo analógico, evitando los inconvenientes de la señal compuesta de vídeo de la televisión convencional.

Todas estas mejoras de imagen y sonido eran posibles porque la señal de satélite tenía un ancho de banda de 27 MHz por canal de televisión y, además, su modulación era por frecuencia (FM). Por tanto, los paquetes MAC fueron diseñados básicamente para mejorar la radiodifusión directa por satélite.

El D2MAC es el más conocido de los sistemas MAC, incluso sin haber alcanzado el éxito esperado. Sustituye el multiplexado de frecuencia (división de la banda de paso) entre luminancia, crominancia y sonido por un multiplexado temporal (división de tiempo), y puede ser considerado como una etapa hacia la transmisión totalmente digital de la señal de TV.

En la emisión, después del muestreo y la conversión A/D, las señales Y, U y V se comprimen en el tiempo, eventualmente cifradas, después reconvertidas a analógico de manera que puedan ser transmitidas secuencialmente sobre la línea. El período habitualmente ocupado por los sincronismos y la supresión de línea es sustituido por una ráfaga de datos codificados. Estos datos transportan el sonido digital, los sincronismos y otras informaciones (subtítulos, teletexto, formato de emisión 4/3 ó 16/9...) y, en caso de emisiones de pago, los datos de control de acceso al sistema EUROCRYPT que forma parte de la norma D2MAC.

Al igual que en SECAM, la componente U se transmite alternativamente sobre una línea y V sobre la siguiente, de forma que se reduce la banda de paso necesaria al tiempo que se obtiene una resolución igual a la mitad de la resolución de luminancia para ambos ejes de la imagen.

El multiplexado temporal se traduce en la ausencia total de diafonía de color (cross color) y diafonía de luminancia (cross luminance) después de su descodificación en el receptor con una banda de paso de luminancia de unos 5 MHz, lo que significa una resolución horizontal claramente mejorada con respecto al PAL o al SECAM.

Capítulo 2: MARCO REGULATORIO Y LEGISLACIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

En este apartado se va a introducir a la extensa legislación que atañe al sector de las telecomunicaciones, y en concreto al de la televisión digital o TDT. Existen muchos y muy diversos reales decretos, leyes, y demás documentación, sin embargo en este capítulo se intentará contar al lector los más importantes y los que más afectan al tema que se está desarrollando en este proyecto, además de hacer un repaso por los diferentes escenarios de implantación que ha tenido y está teniendo la TDT en España.

2.1 NORMATIVA INTERNACIONAL

A nivel internacional existen tres áreas de normalización: Europa, USA y Japón. En las tres áreas se utiliza la misma técnica de compresión de la señal de vídeo: MPEG-2 (definido por la norma ISO/IEC 13918-1,2,3). Las diferencias surgen en los métodos de modulación:

- USA: Normativa ATSC (Advanced Television System Committee) y modulación 8VSB (8 Vestigial Side Band).
- Japón: Normativa ARI, Sistema: ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial) y modulación BST-OFDM (Band Segmented Transmission – Orthogonal Frequency Division Multiplexing),
- Europa: Normativa DVB (Digital Video Broadcasting) que edita sus normas a través de ETSI. El DVB es un proyecto europeo, soportado por más de 300 organizaciones de 40 países.

Además, se establecen los siguientes foros de estandarización a nivel internacional:

- **ITU:** *International Telecommunication Union* (Unión Internacional de Telecomunicaciones o UIT).
- **CEPT:** *European Conference of Postal and Telecommunications Administrations* (Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones).
- **ETSI:** *European Telecommunications Standards Institute* (Instituto de Estándares de Telecomunicación Europeos).
- **EBU:** *European Broadcasting Union* (Unión Europea de Radiodifusión o UER).
- **DVB:** Digital Video Broadcasting (grupo de trabajo dentro de ETSI).

2.1.1 NORMATIVA EUROPEA

Acuerdo de Estocolmo (1961). En él se estableció una planificación para la zona Europea de Radiodifusión. Esta planificación incorporaba:

- Bandas I y III de TV en VHF.
- Banda II, para radiodifusión sonora en FM (solamente hasta 100 MHz).
- Bandas IV y V de TV en UHF.

La planificación inicial incluía del orden de 5.500 asignaciones de frecuencia de transmisores de TV y 2.500 de FM.

La cifra actual de transmisores de TV en esa zona se sitúa por encima de los 80.000, lo que demuestra la flexibilidad del Plan Técnico definido por el Acuerdo de Estocolmo para incorporar nuevas asignaciones.

Acuerdo de Ginebra (1984). Modificó la planificación de la Banda II de radiodifusión sonora, incorporando además las frecuencias entre 100 y 108 MHz. Este acuerdo incorporaba también a todo el continente africano y parte de Asia, y no afecta a la difusión de TV.

Acuerdo de Chester (1997). Se definieron criterios técnicos, principios de coordinación y procedimientos para la introducción de la TDT en Europa con el sistema DVB-T.

Define procedimientos a utilizar en adición a los Acuerdos de Estocolmo, para la introducción de la TV digital en las bandas III, IV y V.

Se incluyen provisiones para modificar una asignación ya existente de analógico a digital, para estudiar las interferencias entre analógico y digital, o entre dos estaciones digitales, así como para coordinar estaciones de diferentes servicios.

En el año 2000, la CEPT solicita a la UIT la convocatoria de una Conferencia Regional de Radiocomunicaciones cuyo objetivo es “la planificación del servicio de radiodifusión digital terrestre”, es decir, incluye la radiodifusión sonora y la televisión, en las bandas III, IV y V, para la mayor parte de las regiones de Europa, parte de Asia y África.

Se esperaba que dicha conferencia se cerrase al año siguiente con un nuevo Acuerdo y Plan Internacional que sustituyan a los de Estocolmo. A pesar de que los resultados de la conferencia fueron parciales, se puede destacar:

- Adopción del DVB-T como único estándar de la TDT.
- Compromiso de respetar las actuales adjudicaciones de DAB-T (*Digital Audio Broadcasting – Terrestrial*) en Europa.
- Utilización de un modelo de propagación basado en la Recomendación 1546 del UIT-R.

- Incorporación de otros estándares de radiodifusión que aparezcan en el futuro.

2.1.2 ESTÁNDARES ETSI

Existen muchos y muy numerosos estándares del ETSI involucrados en una red de Televisión Digital Terrestre. Nombrarlos todos sería extenderse demasiado, por tanto, se insta al lector interesado a buscar en la siguiente referencia cada uno de los estándares ETSI, que se encuentran íntegramente en [www9], donde se puede observar que es la empresa *AENOR* la encargada de formular dichos estándares en el caso de España.

2.2 NORMATIVA NACIONAL

La normativa nacional sobre televisión como parte de la regulación audiovisual es bastante extensa. Para comprender todos los campos necesarios desde el punto de vista ingenieril, se ahondará por un lado, en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) y, por otro lado, se listará la regulación sobre TDT en España.

2.2.1 CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS (CNAF)

La Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones establece, en su artículo 43 que “la gestión del dominio público radioeléctrico y las facultades para su administración y control corresponden al Estado”. Por su parte, el artículo 5 del Reglamento de Desarrollo de la Ley 11/1998, de 24 de abril, General de Telecomunicaciones, en lo relativo al uso del dominio público radioeléctrico, aprobado por la Orden de 9 de marzo de 2000, habilita para la aprobación mediante orden ministerial del CNAF para los diferentes tipos de servicios de radiocomunicación, definidos en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Radiocomunicaciones, definiendo la atribución de bandas, sub-bandas, canales y circuitos radioeléctricos correspondientes, así como las demás características técnicas que pudieran ser necesarias.

Por otra parte, habría que destacar el hecho de que, cuando una ley cualquiera sobre telecomunicaciones hace referencia al Estado, siempre estará referida tanto al **Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR)**, como a la **Secretaría de Estado de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (SETSI)**.

El CNAF, de acuerdo con la reglamentación internacional sobre atribución y adjudicación de bandas y asignaciones de frecuencia, las disponibilidades nacionales e

internacionales del espectro de frecuencias radioeléctricas y la demanda social, podrá establecer, entre otras, las siguientes previsiones:

- La reserva del parte del espectro para servicios determinados.
- Preferencias por razón del fin social del servicio a prestar.
- Delimitación de las partes del espectro dedicadas a los diferentes usos.
- Determinación de las partes del espectro de frecuencias radioeléctricas que el Estado se reserva para uso propio o cesión en uso a otras Administraciones.
- Previsión respecto de la utilización en el futuro de las distintas bandas de frecuencias.

La evolución tecnológica en materia de radiocomunicaciones en los últimos tiempos y las decisiones y recomendaciones de los organismos internacionales competentes de los que España forma parte, hicieron necesaria una nueva edición del CNAF, que sustituyera al aprobado mediante la Orden CTE/630/2002, de 14 de marzo y sus modificaciones, llevadas a cabo por Orden CTE/2082/2003, de 16 de julio. Esta Orden es la ITC/1998/2005, de 22 de junio.

En materia de televisión, en el CNAF, se puede comprobar que las antiguas bandas de televisión de VHF, es decir, la Banda I (47-68 MHz) y la Banda III (174-230 MHz), han sido atribuidas, a través de las notas de Uso Nacional, a otros servicios. Solamente se permite la “persistencia”, en condiciones restringidas, de antiguas estaciones que aún no hayan cesado sus emisiones (ver notas UN-15 y UN-26). Por lo tanto, la única banda en la que pueden autorizarse nuevas estaciones de televisión es la de UHF, formada por las bandas IV y V, que actualmente en España se extienden desde 470 hasta 862 MHz, con un total de 49 canales de 8 MHz cada uno. La utilización de esta banda está especificada en las notas UN-35 y UN-36:

- Nota UN-35: Banda de 470-830 MHz.

Según dicha nota, la banda de frecuencias 470 a 830 MHz se utilizará exclusivamente por las entidades habilitadas para la prestación de los servicios de televisión terrestre, tanto con tecnología analógica como digital, y su utilización será regulada conforme a los Planes Técnicos Nacionales, por el Plan Técnico Nacional de la Televisión Privada, por el Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre y por el Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Local.

Podrán asignarse frecuencias conforme con lo previsto en la Ley 46/1983, reguladora del tercer canal, para la gestión de un único programa de televisión con tecnología analógica.

Cabe destacar la postura favorable del cuadro ante la posibilidad de utilizar equipos de uso doméstico destinados a favorecer la recepción portátil de la Televisión Digital Terrestre en el interior de recintos cerrados (microreemisores de hogar). Se consideran conformes al Plan Técnico Nacional cuando sus canales de emisión coinciden con los canales de recepción, sin efectuar conversión de frecuencia, y la potencia radiada aparente

sea inferior a 1 mW. No obstante, estos equipos no deberán causar interferencias a otros aparatos radioeléctricos ni reclamar protección frente a la interferencia perjudicial. La utilización de estos equipos tiene la consideración de uso común.

- Nota UN-36: Banda de 830-862 MHz.

La banda de 830 a 862 MHz se utilizará exclusivamente por las entidades habilitadas para la prestación de los servicios de Televisión Digital Terrestre conforme al correspondiente Plan Técnico Nacional.

Los equipos de uso doméstico destinados a favorecer la recepción portátil de la Televisión Digital Terrestre en el interior de recintos cerrados se consideran conformes al Plan Técnico Nacional cuando sus canales de emisión coinciden con sus canales de recepción, es decir, de la misma manera que en la nota UN-35.

En el Anexo I se muestra la tabla con el listado oficial de la SETSI de canales y frecuencias en televisión digital terrestre.

2.2.2 REGULACIÓN DE LA TDT EN ESPAÑA

Resoluciones, leyes, órdenes,... más importantes de la televisión en España:

1. **Ley 4/1980**, de 10 de enero, de Estatuto de la Radio y la Televisión (B.O.E. 12/01/1980). Regula, esencialmente, el Ente RTVE, y define la televisión como servicio público esencial cuya titularidad corresponde al Estado, compuesta por 2 canales públicos.

2. **Ley 46/1983**, de 26 de diciembre, reguladora del Tercer Canal de Televisión (B.O.E. 05/01/1983). Puesta en funcionamiento de un tercer canal de televisión de titularidad estatal para otorgarlo, en régimen de concesión, en el ámbito territorial de cada Comunidad Autónoma.

3. **Ley 10/1988**, de 3 de mayo, de Televisión Privada (B.O.E. 05/05/1998). Regula los canales privados, en régimen de concesión de la gestión indirecta del servicio cuya titularidad sigue siendo pública. Se fija un número de tres concesionarios, atendiendo conjuntamente a cálculos de viabilidad económica para las empresas concesionarias, exigencias o limitaciones técnicas y al interés del público por una programación diversificada.

4. **Real Decreto 1362/1988**, de 11 de noviembre, por el que se aprueba el Plan Técnico Nacional de la Televisión Privada.

5. **Ley 35/1992**, de 22 de diciembre, de Televisión por satélite.

6. **Ley 41/1995**, de 22 de diciembre, de Televisión Local por Ondas Terrestres (B.O.E. 27/12/1995). Regula la televisión en el ámbito local. El ámbito territorial de las coberturas se ciñe a un municipio, o incluso a su núcleo urbano, principal, con un máximo

de dos concesiones, según disponibilidad espectral. Esta ley ha sido modificada posteriormente mediante *leyes de acompañamiento de los Presupuestos Generales del Estado 2003 y 2004*. Las modificaciones implican el paso a la tecnología digital, y el establecimiento de demarcaciones con una población superior a 25.000 habitantes, cuya definición se deja al correspondiente Plan Técnico, publicado en 2004.

7. **Ley 17/1997**, de 3 de mayo. Se incorpora al Derecho Español la directiva 95/47/CE, de 24 de octubre, del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre el uso de las normas para la transmisión de señales de Televisión, y se aprueban medidas adicionales para la liberalización del sector. (Derogada por la Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones, sin perjuicio de lo dispuesto en las disposiciones transitorias de la Ley 32/2003).

8. **Ley de acompañamiento de los Presupuestos Generales del Estado de 1998**. Incluye una disposición en la que se establece el régimen jurídico de la radiodifusión sonora digital terrestre y de la Televisión Digital Terrestre.

9. **Ley 66/1997**. Disposición Adicional Cuadragésima Cuarta, de 30 de diciembre. Se establece el régimen jurídico de la radiodifusión sonora digital terrestre y de la TDT.

10. **Real Decreto 2169/1998**, de 9 de octubre, por el que se aprueba el *Plan Técnico Nacional de la TDT (PTNTDT)* (B.O.E. 16/10/1998, corrección de errores en B.O.E. 24/10/1998):

- Se establecen canales de cobertura nacional: 2 programas de RTVE y 3 de los actuales concesionarios de televisión con cobertura nacional.
- Se reservan dos programas autonómicos para cada una de las entidades que explotan el denominado tercer canal.
- El resto de canales se asignarán por concurso público.
- Se establece para el momento de cese de las emisiones analógicas la asignación de un canal múltiple a cada una de las entidades públicas y privadas que actualmente operan en analógico.

11. **Orden de 9 de octubre de 1998**, por la que se aprueba el Reglamento Técnico y de Prestación del Servicio de la TDT (anulada por el Tribunal Supremo el 30 de diciembre de 2004).

12. **Orden de 4 de diciembre de 1998**, por la que se establece el plazo para las entidades gestoras del servicio público esencial de televisión ejerzan el derecho que les confiere la disposición transitoria primera del Real Decreto 2169/1998, de 9 de octubre, por el que se aprueba el Plan Técnico Nacional de la TDT, y se fija el número de programas del canal múltiple definido en el Anexo I del citado Plan.

13. **Orden de 16 de diciembre de 1998**, por la que se establecen las localidades a cubrir en las fases de introducción de la TDT.

14. **Resolución de 11 de enero de 1999**, de la Secretaría General de Comunicaciones (B.O.E. de 13 de enero de 1999) por la que se apruebe el pliego de bases y

preinscripciones técnicas por el que ha de regirse el concurso público para la adjudicación de una concesión para la explotación del servicio público de la TDT.

15. **Resolución de 22 de marzo de 1999**, de la Secretaría General de Comunicaciones, por la que se amplían los plazos establecidos en el calendario de pliego de bases y de preinscripciones técnicas por el que ha de regirse el concurso público para la adjudicación de una concesión para la explotación del servicio público de la TDT.

16. **Resolución de 21 de junio de 1999**, de la Secretaría General de Comunicaciones, por el que se habilita a las entidades gestoras del servicio público esencial de televisión analógica para que presten el servicio de televisión digital terrestre en los términos establecidos en la disposición transitoria primera del RD 2169/1998 (aprobación del PTNTD).

17. **Real Decreto 1206/1999 de 4 de julio**, por el que se modifica parcialmente el Real Decreto 1886/1996, de 2 de agosto de estructura orgánica básica del Ministerio de Fomento. Establece la coordinación de programas de la TDT.

18. **Resolución de 2 de septiembre de 1999**, de la Secretaría General de Comunicaciones, por la que se resuelve el concurso público convocado para la adjudicación de una concesión habilitante para la explotación del servicio de TDT. Se adjudica a la Sociedad Onda Digital, S.A., que posteriormente cambia la denominación a la de Quiero TV, siendo este un servicio codificado, la correspondiente concesión para poder prestar el servicio mediante la utilización de 14 programas.

19. **Ley 55/1999** de 29 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y de orden social, por el que se modifica el modo de explotación de los servicios de TDT y las desconexiones territoriales.

20. **Orden de 30 de diciembre de 1999**, por la que se introduce una disposición adicional única en el Reglamento Técnico y de Prestación del Servicio de TDT, aprobado por Orden del Ministerio de Fomento, de 9 de octubre de 1998, autorizando la emisión a las entidades adjudicatarias de las nuevas concesiones otorgadas para la prestación del servicio de televisión con tecnología digital terrestre, en régimen abierto y con carácter promocional, de uno de los programas cuya explotación se les permita.

21. **Real Decreto 1890/2000** de 20 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece el procedimiento para la evaluación de la conformidad de los aparatos de telecomunicaciones.

22. **Resolución de 13 de diciembre de 2000**, del Secretario de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información, por la que se hace público el acuerdo del Consejo de Ministros de 24 de noviembre de 2000, por el que se resuelve el concurso público convocado para la adjudicación de dos concesiones para la explotación en régimen de emisión en abierto del servicio público de la TDT. Las concesiones son adjudicadas a las sociedades SOCIEDAD GESTORA DE TELEVISIÓN NET TV, S.A., y VEO TELEVISIÓN, S.A.

23. **Ley 32/2003**, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones.

24. **Real Decreto 439/2004**, de 12 de marzo, por el que se aprueba el *Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Local* (PTNTDL).

- Abre paso a la legalización (o a la desaparición) de los operadores que emiten en este ámbito: televisiones locales, municipales, etc.
- Tras la reforma del Plan, reclamada especialmente por Cataluña y Andalucía, se establecen 275 demarcaciones y 281 múltiples.
- Desaparece la identificación cobertura local = cobertura municipal.
- Un programa de cada múltiple se reserva para la televisión pública local, lo cual se denominó gestión directa. El resto saldrá a concurso, si así lo decide el gobierno autonómico correspondiente, por lo que fue denominado gestión indirecta.

29. **Real Decreto 2268/2004**, de 3 de diciembre, por el que se modifica el RD 439/2004, de 12 de marzo (PTNTDL). Realiza ajustes en las demarcaciones, adjudica canales adicionales y cambia plazos.

30. **Ley 10/2005**, de 14 de junio, de Medidas Urgentes para el impulso de la Televisión Digital Terrestre, de Liberalización de la Televisión por Cable y de Fomento del Pluralismo.

- Introduce una serie de modificaciones en la Ley 41/1995 de televisión local por ondas terrestres. En lugar de que sólo se pueda reservar un programa de cada múltiple para la gestión directa de los ayuntamientos presentes en cada demarcación, se flexibiliza dejándolo a criterio de las respectivas comunidades autónomas.
- La norma prevé la posibilidad de que corporaciones que no hubiesen adoptado inicialmente el acuerdo de gestionar el servicio de televisión local de forma directa lo puedan hacer en el futuro.
- Por lo que respecta al ámbito de la televisión local digital también se introducen cambios que pretenden mejorar la gestión de las nuevas adjudicaciones de concesiones, como la prolongación del plazo de que disponen las comunidades autónomas para resolver esta cuestión.
- El presente texto también modifica la Ley General de Telecomunicaciones (Ley 32/2003), en el sentido de hacer efectiva la prestación en competencia de servicios de difusión de radio y televisión por cable, limitada hasta la fecha, así como la Ley de Televisión Privada, con el objeto de eliminar el límite de operadores de televisión de cobertura estatal, tanto en digital como en analógico (Ley 10/1988 de Televisión Privada).

32. **Real Decreto 944/2005**, de 29 de julio, por el que se aprueba el Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre (Nuevo PTNTDT). Deroga totalmente la norma anterior que lo regula (RD 2169/1998, de 9 de octubre, por el que se aprueba el Plan Técnico Nacional de la TDT) y establece los escenarios de transición y definitivo.

33. **Real Decreto 945/2005**, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento general de prestación del servicio de Televisión Digital Terrestre. Establece el régimen jurídico de prestación del servicio de TDT.

34. **Real Decreto 946/2005**, de 29 de julio, por el que se aprueba la incorporación de un nuevo canal analógico de televisión en el Plan Técnico Nacional de la televisión privada, aprobado por el Real Decreto 1362/1988, de 11 de noviembre. La Ley 10/2005 suprime el límite de 3 concesiones administrativas para la prestación de servicios de televisión terrestre analógica con cobertura nacional. En este real decreto se determinan, además, las condiciones de carácter técnico que son necesarias para la adecuada prestación del servicio de televisión en el nuevo canal (sistema de difusión de señales previsto, las bandas, canales, frecuencias y potencias para conseguir la cobertura de las diversas poblaciones y localidades). La concesión se ha realizado recientemente al consorcio de “La Sexta”.

35. **Orden ITC/2476/2005**, de 29 de julio, por la que se aprueba el Reglamento Técnico y de prestación del servicio de TDT. Es el complemento “técnico” del RD 946/2005: especificaciones de los transmisores, normas aplicables a la prestación de servicio de TDT mediante gestión indirecta.

36. **Resolución de 29 de julio de 2005**, de la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información (SETSI) por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros, de 29 de julio. Se aprueba el pliego de bases administrativas particulares y de preinscripciones técnicas por el que ha de regirse el concurso público para la adjudicación de una concesión para la explotación del servicio público de la televisión en régimen de emisión en abierto y se convoca el correspondiente concurso.

37. **Resolución de 29 de julio de 2005**, de la SETSI, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros, de 29 de noviembre de 2005, de modificación del contrato concesional con Sogecable, S.A., para la prestación del servicio público de televisión. Canal+ podrá emitir en abierto las 24 horas del día en analógico y digital.

38. **Resolución de 29 de noviembre de 2005**, de la SETSI, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros, de 25 de noviembre de 2005, por el que se amplía con canales digitales adicionales el contenido de las concesiones de las sociedades que gestionan el servicio público de TDT de ámbito estatal y por el que se asignan los canales que forman parte de los múltiples digitales en redes de frecuencia única.

39. **Resolución de 30 de noviembre de 2005**, de la SETSI, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros, de 25 de noviembre de 2005, por el que se resuelve el concurso público para la adjudicación de una concesión para la explotación del servicio público de la televisión en régimen de emisión en abierto, convocado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 29 de julio de 2005.

40. **Orden ITC/1077/2006, de 6 de abril**, por la que se establece el procedimiento a seguir en las instalaciones colectivas de recepción de televisión en el proceso de su adecuación para la recepción de la Televisión Digital Terrestre y se modifican determinados aspectos administrativos y técnicos de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones (ICTs) en el interior de los edificios.

41. **Orden ITC/2212/2007, de 12 de julio** (BOE 20-07-2007), por la que se establecen obligaciones y requisitos para los gestores de múltiples digitales de la televisión digital terrestre y por la que se crea y regula el registro de parámetros de información de los servicios de televisión digital terrestre.

42. **Resoluciones del 20 de enero de 2009**, de la SETSI (BOE 24-02-2009), por las que se publica el Convenio marco de colaboración, entre el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y cada comunidad autónoma, para la ejecución del Plan Nacional de Transición a la TDT.

43. **Real Decreto 365/2010, de 26 de marzo** (BOE 03-04-2010), por el que se regula la asignación de los múltiples de la Televisión Digital Terrestre tras el cese de las emisiones de televisión terrestre con tecnología analógica. (Modificado por el Real Decreto 169/2011, de 11 de febrero).

44. **Ley 7/2010, de 31 de marzo** (BOE 01-04-2010), General de la Comunicación Audiovisual. (Modificada por la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible).

45. **Resolución de 7 de abril de 2010**, de la SETSI (BOE 14-04-2010), por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 26 de marzo de 2010, sobre renovación, a las sociedades Antena 3 de Televisión, S.A., Gestevisión Telecinco, S.A. y Sogecable, S.A. de las concesiones para la prestación, en régimen de gestión indirecta, del servicio público de televisión terrestre.

46. **Real Decreto 691/2010, de 20 de mayo** (BOE 02-06-2010), por el que se regula la Televisión Digital Terrestre en alta definición. (Modificado por el Real Decreto 169/2011, de 11 de febrero).

47. **Resolución de 15 de octubre de 2010**, de la SETSI (BOE 08-11-2010), por la que se publica el Acuerdo de Consejo de Ministros de 1 de octubre de 2010, por el que se transforman las concesiones para la prestación, en régimen de gestión indirecta, del servicio público de la radiodifusión sonora en ondas medias (hectométricas), en licencias para la prestación del servicio de comunicación audiovisual radiofónica.

48. **Orden ITC/99/2011, de 28 de enero** (BOE 29-01-2011), por la que se determina la fecha de ejecución de la reordenación de canales de televisión digital terrestre prevista en el momento del tránsito entre las etapas 1 y 2 de la fase 1 del proceso establecido en el Real Decreto 365/2010, de 26 de marzo, por el que se regula la asignación de los múltiples de la televisión digital terrestre tras el cese de las emisiones de televisión terrestre con tecnología analógica.

49. **Real Decreto 169/2011, de 11 de febrero** (BOE 12-02-2011), por el que se modifican el Real Decreto 365/2010, de 26 de marzo, por el que se regula la asignación de los múltiples de la Televisión Digital Terrestre tras el cese de las emisiones de televisión terrestre con tecnología analógica y el Real Decreto 691/2010, de 20 de mayo, por el que se regula la Televisión Digital Terrestre en alta definición.

50. **Real Decreto 802/2011, de 10 de junio** (BOE 28-06-2011), por el que se modifica el Plan técnico nacional de la radiodifusión sonora digital terrestre, aprobado por el Real Decreto 1287/1999, de 23 de julio.

51. **Resolución de 13 de julio de 2011**, de la SETSI (BOE 27-07-2011), por la que se publica el Acuerdo de Consejo de Ministros de 10 de junio de 2011 por el que se aprueba el plan de digitalización del servicio de radiodifusión sonora terrestre.

2.3 ESCENARIOS DE IMPLANTACIÓN

2.3.1 INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Antes de analizar los escenarios pasados, actuales y futuros, se va a realizar una breve introducción teórica para entender algunos conceptos básicos de TDT, a pesar de que de muchos de los aspectos de los que se hablará a continuación están más desarrollados en los capítulos siguientes. En primer lugar, se clasificarán los tipos de redes de televisión, según dos criterios: el número de frecuencias utilizadas y la zona de cobertura a la que dan servicio. Posteriormente, se repasan unos conceptos aclarativos sobre la denominación oficial de los canales y los programas para la TDT.

Tipos de redes de TDT

A) SEGÚN EL NÚMERO DE FRECUENCIAS UTILIZADAS:

1.- Redes multifrecuencia (MFN, *Multi Frequency Networks*):

Cada transmisor transmite una frecuencia diferente. Se pueden realizar desconexiones de la programación a distintos niveles.

2.- Redes de frecuencia única (SFN, *Single Frequency Networks*):

Todas las estaciones del área de cobertura radian a la misma frecuencia. No se pueden realizar desconexiones, pues la señal debe ser la misma para todos los equipos transmisores del área de cobertura.

B) SEGÚN LA COBERTURA QUE CUBRAN:

1.- Estatales.

2.- Autonómicas.

3.- Locales.

Algunas definiciones sobre TDT:

- **Múltiple digital:** Señal compuesta para ser transmitida por un canal o frecuencia radioeléctrica y que, al utilizar la tecnología digital, permite la incorporación de las señales correspondientes a varios servicios asociados y a servicios de comunicaciones electrónicas.

- **Canal digital de televisión:** Parte de la capacidad de un múltiple digital que se utiliza para la incorporación en él de un programa de televisión.
- **Canal analógico de televisión:** Capacidad de transmisión que se utiliza para la difusión de un programa de televisión con tecnología analógica.
- **Programa de televisión:** Organización secuencial en el tiempo de contenidos audiovisuales, puesta a disposición del público de forma independiente, bajo la responsabilidad de una misma persona y dotada de identidad e imagen propias.
- **Área de cobertura:** Según varios factores del centro emisor, como el número de transmisores o la potencia, será objetivo el cubrir una determinada área geográfica para dar servicio a uno o varios municipios.
- **Área técnica:** Zona del territorio cubierta desde el punto de vista radioeléctrico por el centro principal de difusión, los centros secundarios que tomen señal primaria de dicho centro y los centros de menor entidad que no tomen señal primaria del centro principal pero tengan cobertura solapada con él o con alguno de sus centros secundarios. Un área técnica no tiene por qué coincidir con una red local, autonómica ni estatal.

2.3.2 ESCENARIO PASADO

El anterior escenario de la TDT, presente hasta hace unos meses, estaba basado en el anterior Plan Técnico Nacional de TDT (RD 2169/1998). De este plan técnico todavía se mantienen algunos aspectos. Por ejemplo, en dicho plan se establecía lo siguiente sobre las bandas de frecuencia:

- **Banda 470-758 MHz** (Canales 21 al 56), destinada al establecimiento de redes multifrecuencia y redes de transmisor único de ámbito local. Las emisiones analógicas presentes en esta banda debían cesar antes del 01/01/2012.
- **Banda 758-830 MHz** (Canales 57 al 65), destinada a redes de frecuencia única (SFN) de ámbito autonómico y provincial, así como transmisores únicos de ámbito local. No se permitirán nuevas asignaturas analógicas ni siquiera la puesta en servicio de estaciones ya asignadas cuyas frecuencias coincidan con las coberturas digitales previstas en el Plan. Con estos canales se establece una red multifrecuencia (de frecuencia única en cada provincia) de ámbito estatal y una red de frecuencia única en cada Comunidad Autónoma.
- **Banda 830-862 MHz** (Canales 66 al 69), se destina al establecimiento de 4 redes SFN de ámbito nacional. Se otorgaron 14 programas a Quiero TV y dos más a Veo TV y Net TV (uno a cada concesionario), considerando cuatro programas por canal.

Otros datos que aporta el Plan Técnico del 98 sobre la banda UHF son:

- La televisión digital sustituirá completamente a la analógica.
- La Banda III de VHF deberá abandonar los servicios de TV para el uso de T-DAB.
- SFNs: Extensión de la banda superior de UHF desde 830 a 862 MHz para proveer cobertura nacional.

- MFNs: Se introducirán en las bandas analógicas IV y V (470-830 MHz).
- Modificación de los canales analógicos en los reemisores.

De este modo, el escenario dibujado por dicha normativa y, que se mantenía hasta la aparición del RD 944/2005, era la siguiente:

- Un múltiple en red MFN (canales del 57 al 65) destinado a crear una red RGN (Red Global Nacional) con desconexiones provinciales.
- 4 múltiples SFN (canales 66, 67, 68 y 69) de cobertura estatal. La mayoría de los canales digitales de estos múltiples estaban sin ocupar al quedar libres tras la desaparición de Quiero TV. Los concesionarios Veo Televisión y Net TV son los únicos que ocupaban dos canales digitales del múltiple 66.

2.3.3 ESCENARIO DE TRANSICIÓN

El período de transición se extiende desde la aprobación del nuevo Plan Técnico (RD 944/2005, de 29 de julio) hasta el momento del apagado analógico (3 de abril de 2010, fecha que se ha hecho coincidir con el período de concesión de los radiodifusores nacionales). Realmente, este escenario empezó a aplicarse en el momento en que comenzaron las emisiones en los múltiples SFN nacionales (noviembre de 2005).

El Plan Técnico Nacional de la TDT establece los siguientes puntos para el período de transición:

- El Ente Público Radiotelevisión Española (RTVE) se reserva un múltiple digital de cobertura estatal con capacidad para efectuar desconexiones territoriales de ámbito autonómico (pero no provincial). Este múltiple se situará en una red MFN de ámbito estatal con desconexiones a nivel autonómico en los canales 57 a 65.
- El Ente Público RTVE se reserva otro canal digital de cobertura estatal, sin capacidad de desconexión, dentro de uno de los múltiples 66, 67, 68 ó 69.
- Cada una de las sociedades concesionarias de televisión privada con tecnología analógica, acceden a un canal digital dentro de un múltiple digital de cobertura estatal, para permitir que emita simultáneamente en analógico y digital. Estos canales digitales se situarán en los múltiples 66, 67, 68 y 69 en redes de frecuencia única. Además, podrán optar a la concesión de hasta 2 nuevos canales si cumplen los requisitos que se establecen en el nuevo Plan y sus propuestas son aceptadas.
- Los resultantes canales digitales de cobertura estatal integrados en los múltiples digitales 66, 67, 68 y 69 que no hayan sido otorgados con anterioridad y los no reservados con arreglo a los apartados precedentes, se adjudicarán mediante concurso público.
- Cada una de las comunidades autónomas dispondrá de un múltiple digital de cobertura autonómica con capacidad para efectuar desconexiones territoriales de ámbito provincial. Este múltiple se situará en varias redes MFN de ámbito autonómico con desconexiones a nivel provincial en los canales 57 a 65.

De este modo, teniendo en cuenta la configuración de múltiples que establece el Plan Técnico para el período de transición estuvo presente el siguiente escenario:

- Para el múltiple MFN se hizo un reparto de canales, a nivel nacional, con desconexiones a nivel provincial, y que fue sido concedido al ente público RTVE. Se determinó entonces que los canales de TVE irían en lo que se denominó **RGE**, y que correspondía a ciertos canales (cambiaban según la provincia) en los que emitiría TVE y sus canales de televisión digital. Cabe destacar que la mayoría de los canales coinciden con los que, en el anterior Plan Técnico, estaban asignados al establecimiento de las redes de carácter autonómico. En la *Figura 8*, de la siguiente página, se muestra el mapa estatal con el reparto oficial de canales, tanto para la RGE como para la TDT autonómica.
- Cabría destacar el caso de la Comunidad Valenciana, en la que el canal elegido para la RGE de RTVE fue el **58**, mientras que para la TDT autonómica cambiaba por provincia: el **60** para Castellón, el **57** para Valencia y el **62** para Alicante.
- De la misma forma, se hizo un reparto de canales destinados a crear redes MFN a nivel autonómico con desconexiones a nivel provincial. E igualmente, la mayoría de los canales que se establecen en el nuevo Plan Técnico para este MFN provienen de los canales asignados para el múltiplex nacional con desconexiones a nivel provincial que existía a raíz del anterior Plan Técnico.

Otra excepción a tener en cuenta son aquellas zonas que, por ser zonas limítrofes con otros países o por otras causas distintas, deben cambiar de canal. Es lo que se denomina Coordinación Internacional de Frecuencias, concepto que introdujo la SETSI en aquel momento.

Además, a nivel autonómico, se podía compartir un múltiple entre canales digitales públicos y privados tal y como lo decida la comunidad autónoma.

Portugal: 60-67-69 (algunos centros)

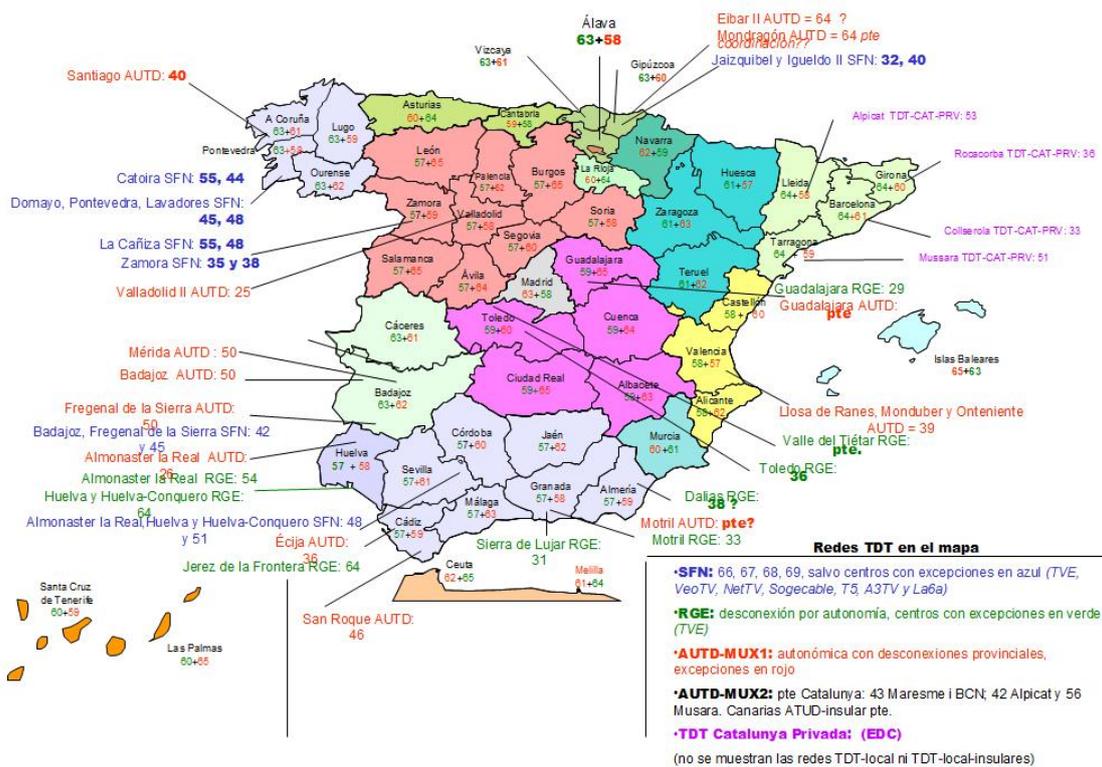


Figura 8. Mapa de España, con los canales de RGE y TDT-A para cada provincia.

2.3.4 ESCENARIO TRAS EL APAGÓN ANALÓGICO

El Real Decreto 944/2005, de 29 de julio, establece las medidas sobre el modo de realizar el apagado analógico y los objetivos de cobertura:

- **Apagón y PLAN DE TRANSICIÓN:**

Las emisiones de televisión terrestre con tecnología analógica de cobertura estatal o autonómica cesarán antes del **3 de abril de 2010**, y deberán realizar el cese de emisiones de manera progresiva por áreas técnicas y el Plan de Transición: de la televisión analógica a la televisión digital. Todo esto se llevó a cabo como se ha dicho, por áreas técnicas, y mediante una cantidad considerable de proyectos técnicos, lo cual supuso una gran cantidad de trabajo para el sector.

- **Objetivos de cobertura:**

RTVE en territorio nacional, y sus autonómicas en territorio de cada Comunidad (que se rigen por la Ley 46/1983):

- 80% de la población antes del 31 de diciembre de 2005.
- 90% de la población antes del 31 de diciembre de 2008.
- 98% de la población antes del 3 de abril de 2010.

Autonómicas explotadas por la entidad pública:

- A establecer en el instrumento de asignación por el Gobierno.

Sociedades concesionarias del servicio público de televisión estatal:

- 80% de la población antes del 31 de diciembre de 2005.
- 90% de la población antes del 31 de diciembre de 2008.
- 95% de la población antes del 3 de abril de 2010.

Nuevas sociedades a las que se les adjudique concesión (estatales o autonómicas):

- A establecer en el correspondiente pliego regulador de cada concurso.

Además, el Plan Técnico fija el siguiente escenario tras el cese de emisiones analógicas:

- Cada una de las sociedades concesionarias del servicio público de televisión de ámbito estatal existentes accederá a un múltiple digital de cobertura estatal sin desconexiones territoriales.
- El Ente Público RTVE, tras el cese de las emisiones de televisión analógica, accederá a dos múltiples digitales de cobertura estatal. Uno de ellos con capacidad para realizar desconexiones territoriales de ámbito autonómico.
- Cada una de las comunidades autonómicas dispondrá de dos múltiples digitales de cobertura autonómica (uno de ellos con capacidad para efectuar desconexiones territoriales de ámbito provincial y el otro, opcionalmente, podrá realizar desconexiones de ámbito insular o comarcal). Este múltiple se realizará utilizando el bloque de canales que va del 57 al 65.
- La obligación de emitir un mínimo de 4 canales por cada múltiple, salvo que el múltiple lo explote íntegramente un mismo operador, en cuyo caso podrá emitir el número que desee siempre que la calidad de imagen y sonido cumpla los requisitos, lo que permitiría la emisión de televisión de alta definición (HDTV).
- La limitación al 20% de la capacidad máxima de la ocupación del múltiple para la transmisión de contenidos distintos a la propia TV, como pueden ser aplicaciones interactivas, datos o actualizaciones de *software* para los receptores.
- Para los nuevos canales digitales que se puedan solicitar por parte de los actuales operadores, el compromiso de divulgar la TDT entre sus audiencias, emitir contenidos novedosos distintos a los emitidos en analógico, emisión de contenidos en diversos idiomas y con subtítulos, el desarrollo de servicios interactivos, etc.
- Obligación de aumentar la cobertura territorial y de población alcanzada por las señales de TDT para todos los operadores, tanto públicos como privados, hasta alcanzar el 80% de la población al finalizar el año 2005, el 90% de la población al finalizar 2008, y el 95% de la población (el 98% en el caso de RTVE) en el momento de llevar a cabo el apagón analógico.

El nuevo Plan Técnico indica que es posible proveer un nuevo múltiple de cobertura autonómica al finalizar las emisiones analógicas. Este segundo múltiple puede poseer desconexiones a nivel de demarcación, dependiendo de las condiciones.

En el caso de la Comunidad Valenciana, los objetivos de cobertura serían los siguientes:

- 70 % de la población, para cubrir entre el primero y segundo año de vigencia de la concesión.
- 80% de la población, para cubrir durante el tercer año de vigencia de la concesión.
- 95% de la población, para cubrir durante el cuarto y quinto año de vigencia de la concesión.

2.4 EXTENSIONES DE COBERTURA TDT PARA COMUNIDADES AUTÓNOMAS

Los correspondientes gobiernos de cada Comunidad Autónoma y el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio firmaron un Convenio Marco de colaboración para el desarrollo de los Proyectos de Transición del Plan Nacional de Transición a la TDT definidos en el ámbito del territorio de cada Comunidad.

El Convenio Marco tenía por objeto plasmar las condiciones con arreglo a las cuales se llevaría a cabo la colaboración entre la Administración General del Estado y el gobierno de la Comunidad para la realización de las actuaciones necesarias para cumplir con lo establecido en el Plan Nacional de Transición a la TDT, con el fin de alcanzar su objetivo último, que no es otro que el cese progresivo de las emisiones de televisión con tecnología analógica y su total sustitución por emisiones basadas en tecnología digital que garantice el tránsito pleno a la misma antes del 3 de abril de 2010.

- **El caso concreto de la Comunidad Valenciana:**

En la Comunidad se establecieron 3 fases (aunque la 2 y la 3 han ido prácticamente conjuntas). La Fase I comprendía unos pocos centros de poca envergadura, los cuales se citarían más tarde, y las Fases II y III ya abarcaban bastantes más centros.

El objetivo de dicho convenio es el suministro, instalación y puesta en marcha de equipos microtransmisores o microemisores y sus correspondientes elementos asociados de televisión digital terrestre en los centros emisores, así como sus correspondientes proyectos de legalización, para el desarrollo de los Proyectos de Transición del Plan Nacional de Transición a la TDT definidos en el ámbito del territorio de la Comunidad Valenciana. También están incluidas las actuaciones de desinstalación de los equipos o componentes obsoletos para la difusión en tecnología digital.

FASE I:

En el Anexo del citado Convenio Marco se estableció que el modelo de colaboración aprobado para el año 2008 está asociado a la Fase I del Plan Nacional de Transición a la TDT, con el objetivo de igualar la cobertura digital a la analógica preexistente en los Proyectos de Transición de la Fase I. En concreto, la cobertura digital supondrá el suministro e instalación en un conjunto de centros de difusión de televisión actualmente existentes con tecnología analógica, de equipos con tecnología digital, con el fin de asegurar que el 30 de junio de 2009 los centros de la Fase I del Plan de Transición ubicados en la Generalitat Valenciana puedan difundir las emisiones de Televisión Digital Terrestre.

Los centros de los que se compone la Fase I son los siguientes:

- Venta del Moro.
- Alpuente I.
- Aras de los Olmos.
- Venta Gaeta (Cortes de Pallás).
- TITAGUAS.
- Alpuente II (Baldovar).
- Benagéber I.
- Benagéber II.
- Jalance.
- Puebla de San Miguel.

FASES II y III:

Tanto la Fase II como la Fase III tienen como objeto el suministro, instalación y puesta en marcha de las infraestructuras y equipamiento necesarios para la extensión de la cobertura de la TDT al mayor número posible de habitantes de la Comunidad Valenciana, es decir, lo más cercana posible al 100% de la población.

Los trabajos o actuaciones incluidas eran por ejemplo: el suministro, instalación y puesta en funcionamiento del equipamiento necesario para la difusión de los múltiplex digitales, así como del sistema de telecontrol y gestión remota de dichos múltiplex; la adecuación de las infraestructuras existentes o, en su caso, construcción de nueva infraestructura; la desinstalación y retirada de los equipos en tecnología analógica existentes, y que no sean necesarios para la difusión de la TDT y traslado de los mismos a un lugar determinado por la Dirección del Proyecto. En definitiva, prácticamente los mismo objetivos que en la Fase I, sólo que esta vez haciendo referencia a una lista mucho más amplia de centros, que no se indicarán debido a la excesiva extensión del listado.

2.5 CONCURSOS AUTONÓMICOS Y LOCALES

Según el último Plan Técnico Nacional de la TDT (RD 944/2005) y el de la TDT Local (RD 439/2004), es la comunidad autónoma la que decide el modo de gestión de los múltiples autonómicos y locales. En este apartado se analizará el estado de los concursos que realizan las comunidades autónomas para la concesión de canales digitales.

2.5.1 CONCURSO DE ADJUDICACIÓN DE CONCESIONES

Conviene previamente definir algunos conceptos jurídicos relacionados con los concursos para la adjudicación de explotación de canales digitales:

Licitación pública: acto de subastar o someter a concurso público los contratos de obras o servicios, compras, adquisiciones, etc., de la Administración Pública con el propósito de obtener la mejor oferta en calidad y precio de los contratistas o proveedores.

Licitador: Persona u organización que licita (el que concursa).

Concesión: Licencia, permiso, asignación o autorización. Derecho concedido por la Administración para explotar bienes de dominio público, o para proporcionar servicios al público en general.

Concesionario: Persona a quien se da una concesión.

Adjudicación: Acto administrativo a través del cual la Administración Pública, una vez cubiertas las formalidades del procedimiento, asigna a una persona física un contrato para la adquisición de bienes, prestación de servicios o realización de obras. La adjudicación es por convocatoria pública, cuando proviene de un concurso público convocado para elegir la mejor propuesta técnico-económica y con la mejor garantía de su ejecución.

2.5.2 REDES LOCALES Y POSIBLES LÍNEAS DE ACTUACIÓN

A continuación se describe a grandes rasgos el proceso de concesión de canales digitales de televisión local (el formato de los concursos puede variar de una comunidad a otra):

1. La Comunidad Autónoma saca a concurso los programas de gestión indirecta o privada. Normalmente se trata de un múltiple por demarcación, del cual, un canal digital se reserva para compartir a su vez entre los Ayuntamientos de la demarcación. La Comunidad establece una serie de requisitos para las propuestas que, generalmente, incluyen:
 - Datos relativos a la programación que se va a emitir.
 - Viabilidad económica del concesionario.

- Propuesta técnica: equipamiento de los estudios; y propuesta de red y equipos para cursar el múltiple (recogida, multiplexación, distribución y difusión).
- 2. Los distintos licitadores (normalmente emisoras privadas de carácter local o zonal) presentan sus propuestas.
- 3. Se resuelve el concurso, normalmente mediante sistemas de puntuación basados en la calidad de las propuestas, méritos y mejoras diferenciadoras de los demás proyectos.
- 4. Los ayuntamientos deberían también formar una “sociedad gestora de programa” para acordar la forma de generar los contenidos en el programa que comparten.
- 5. Si el licitador resulta ser ganador de una concesión, ha de ponerse de acuerdo con el resto de emisoras y Ayuntamientos para formar una “sociedad gestora del múltiple”. Esta sociedad deberá tomar decisiones en cuanto a la solución técnica global a tomar (proceso de multiplexación, sede de la cabecera, red de distribución, difusión, multiplexación, sede de la cabecera, red de distribución, extensión de cobertura, tareas de monitorización y mantenimiento del múltiple, etc.).
- 6. Antes de prestar el servicio, la estación o estaciones radiodifusoras deben presentar un proyecto técnico. Los proyectos técnicos de las estaciones de radiodifusión (sonora y de televisión) se presentan por la entidad habilitada para prestar el correspondiente servicio de radiodifusión o, alternativamente, por su operador del servicio de portador, debidamente habilitado con arreglo a la Ley General de Telecomunicaciones, actuando en nombre de aquella. Los proyectos técnicos de las estaciones de radiodifusión (sonora y de televisión) se presentarán debidamente visados por el colegio correspondiente ante el órgano competente de la Comunidad Autónoma cuando éste haya otorgado la correspondiente concesión para la prestación del servicio y, directamente, ante el órgano competente de la Administración General del Estado, en caso contrario.
Con carácter previo a la utilización del dominio público radioeléctrico, se exigirá, perceptivamente, la inspección o el reconocimiento de las instalaciones con el fin de comprobar que se ajustan a las condiciones previamente autorizadas.
Los operadores que establezcan redes soporte de servicios de radiodifusión sonora y de televisión, presentarán un estudio detallado, realizado por un técnico competente, que indique los niveles de exposición radioeléctrica en áreas cercanas a sus instalaciones en las que puedan permanecer habitualmente personas.
- 7. La ampliación de cobertura mediante equipos reemisores debe también presentarse con un proyecto técnico (disposición adicional duodécima del RD 944/2005). El proyecto de las instalaciones debe entregarse en las jefaturas

provinciales de inspección de telecomunicaciones, a través de la comunidad autónoma correspondiente, y posteriormente, un certificado de que la instalación se ajusta al proyecto técnico, firmados ambos por un ingeniero o ingeniero técnico de telecomunicación, y visados por el colegio correspondiente. Asimismo, deberá entregarse el boletín de instalación firmado por la empresa instaladora de telecomunicaciones que haya realizado dicha instalación.

El estado de los concursos autonómicos y locales está cambiando constantemente en la actualidad. Las Comunidades lanzan los concursos en fechas totalmente dispares y algunos incluso ya han sido adjudicados. Es posible encontrar información sobre algún concurso en concreto en la página web del COIT (www.coit.es).

2.6 REGULACIÓN DE PROYECTOS TÉCNICOS

El nuevo Plan Técnico Nacional de la TDT (RD 944/2005) establece los siguientes puntos sobre los proyectos técnicos:

1. **Las solicitudes de aprobación de los proyectos técnicos** de las instalaciones necesarias para la adecuada prestación del servicio de televisión, que deberán cumplir las características técnicas establecidas en el Plan Técnico de la TDT y las “Normas básicas para la realización de proyectos técnicos de estaciones de radiodifusión (sonora y de televisión)”, publicadas por la SETSI, se presentarán ante la Agencia Estatal de Radiocomunicaciones con carácter previo al comienzo de la prestación del servicio. El plazo para examinar los proyectos técnicos y notificar la resolución será de tres meses.
2. Cuando las características técnicas de las **instalaciones deban ser modificadas** por compatibilidad radioeléctrica, por uso eficiente del espectro radioeléctrico o por coordinación radioeléctrica internacional, se tramitará el correspondiente procedimiento administrativo de acuerdo a la Ley 11/1998.
3. **Inspección técnica:** finalizadas las instalaciones y con carácter previo al comienzo de la prestación del servicio, se solicitará la inspección técnica de las instalaciones ante la Agencia Estatal de Radiocomunicaciones.
4. **Iniciativa local en la extensión de cobertura:** los órganos competentes de corporaciones locales podrán acordar las instalaciones en zonas de baja densidad de población de su término municipal de estaciones en red de frecuencia única para la difusión de TDT siempre y cuando:
 - Se obtenga la conformidad de las sociedades concesionarias y entidades habilitadas.

- Se preste el servicio portador sin contraprestación económica.
- Se comunique previamente a la CMT.
- No suponga una distorsión a la competencia del mercado.
- Sea conforme con el Plan Técnico Nacional de TDT. La potencia radiada aparente máxima (PAR máx) no podrá ser superior a un Vatio (W) y no podrán causar interferencias perjudiciales a otras estaciones.
- Se presente en la correspondiente Jefatura Provincia de Inspección de Telecomunicaciones, a través de la comunidad autónoma correspondiente, el proyecto técnico de las instalaciones y, posteriormente, un certificado de que la instalación se ajusta al proyecto técnico, firmados ambos por un ingeniero o ingeniero técnico de telecomunicaciones, y visados por el colegio oficial pertinente. Asimismo, deberá presentarse el boletín de instalación firmado por la empresa instaladora de telecomunicaciones que haya realizado dicha instalación.

2.7 GESTIÓN DEL MÚLTIPLE

Según las especificaciones de la ETSI, se pueden distinguir:

- a) Proveedor de servicios audiovisuales (radiodifusor).
- b) Operador de red de recogida.
- c) Gestor del múltiple, es decir, la organización que opera y gestiona un múltiple. Uno de ellos podría gestionar varios múltiples a la vez, pero dicha gestión la realizaría de modo independiente.
- d) Operador de Red de transporte (distribución).
- e) Operador de Red de Radiodifusión.
- f) Operador de Red de Retorno.

A priori, parece no haber impedimento para que una misma organización o entidad pueda desempeñar varias de las funciones descritas anteriormente.

- La poca definición de la figura del gestor del múltiple en la legislación viene recogida en:
 - El actual Anteproyecto de Ley General Audiovisual.
 - El Real Decreto 439/2004 (PTN de la televisión digital local).
 - El Real Decreto 944/2005 (PTN de la TDT).
- Las especificaciones técnicas del gestor del múltiple aparecen en:
 - ETSI EN 300 468: "Specification for Service Information (SI) in DVB systems".
 - ETSI TR 101 211: "Guidelines on implementation and usage of Service Information (SI)".
 - AENOR 133 300: "Navegación y acceso. Información de los contenidos en las emisiones de Televisión Digital Terrestre (TDT)".

Del Anteproyecto de Ley General Audiovisual se desprende que cuando se atribuya a varios titulares la utilización compartida de la capacidad de transmisión de un canal

radioeléctrico múltiple, deberán acordar la gestión de todo lo que afecte al canal múltiple en su conjunto o establecer conjuntamente las reglas para esa finalidad, designando a la entidad responsable de la gestión del canal múltiple, que deberá inscribirse en el correspondiente Registro de Radio y Televisión.

Además, la entidad a la que se atribuya la gestión del canal múltiple será responsable de las instalaciones técnicas de codificación de la señal y del cumplimiento de las normas de telecomunicaciones que resulten de aplicación, así como de las aplicables a la codificación de los servicios conexos e interactivos compartidos.

- A pesar de todo esto, la Administración General del Estado ha dejado para posteriores desarrollos reglamentarios los aspectos técnicos y de servicio ligados a dicha gestión. Esta situación origina un clima de incertidumbre en lo que concierne a las tareas y responsabilidades de la figura del Gestor de Múltiple, que no se concretarán hasta que no se publique y desarrolle la futura normativa.
- El Foro Técnico de la Televisión Digital (en [www10] se pueden encontrar los trabajos realizados en este foro) ha intentado sentar las bases sobre las funciones y responsabilidades que deben corresponder al Gestor del Múltiple.

Según diversas opiniones de los agentes del sector, vertidas en el Foro nombrado anteriormente, algunas tareas y responsabilidades que podría asumir el Gestor son:

- Definir y supervisar la integración de un sistema de gestión del múltiple con todo el equipamiento necesario, y decidir la ubicación del mismo.
- Definir primero y tener acceso posterior a un sistema de supervisión y alarma que permita monitorizar las componentes de vídeo, audio y datos aportadas por los diversos concesionarios del múltiple, así como la DVB-SI.
- Gestionar la capacidad resultante neta del múltiple entre los diversos adjudicatarios que integran el mismo, aspecto especialmente crítico cuando la capacidad es variable (multiplexación estadística).
- Seleccionar el operador u operadores de red de recogida y transporte, en el supuesto que fuesen distintos.
- Garantizar que los interfaces de cada elemento del sistema de la red es correcto (recogida, gestión del múltiple, distribución y difusión).
- Determinar las condiciones y parámetros de difusión.
- Responsabilizarse de la sincronización de la red de difusión.
- Interlocutor único con la Administración competente, en todo lo relacionado con las actividades, gestión y normativa del múltiple.

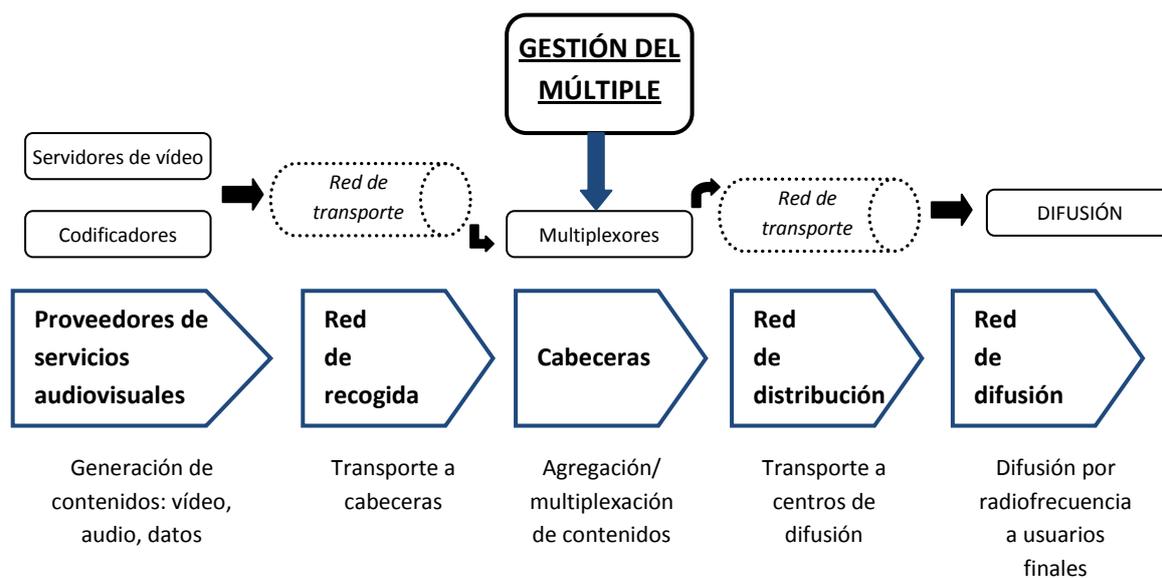


Figura 9. Localización y ámbito de actuación de la gestión del múltiple

Capítulo 3: ASPECTOS TÉCNICOS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

3.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se pretende profundizar un poco más en el tema que nos atañe: la televisión digital.

La Televisión Digital es el resultado de la aplicación de la tecnología digital a la señal de televisión, para luego transmitirla por medio de ondas hercianas terrestres, es decir, aquellas que se transmiten por la atmósfera sin necesidad de cable o satélite, y se reciben por medio de antenas UHF convencionales.

La Televisión Digital (o TDT) significa, desde un punto de vista tecnológico, la sustitución del estándar de transmisión y difusión de la señal de televisión analógica terrestre por el sistema digital basado en el estándar DVB-T (*Digital Video Broadcasting Terrestrial*) [Para más información sobre el estándar, se recomienda visitar la página web que indica la referencia www2]. Este cambio tecnológico aporta grandes ventajas respecto a la televisión analógica.

Entre otros avances, conlleva una inherente mejora de la calidad de imagen y sonido, una mayor robustez de la señal, un mayor número de canales dado que por un canal radioeléctrico la TDT permite multiplexar diversos programas (concretamente es posible transmitir 4 canales digitales en el mismo espacio que se necesita para emitir un canal analógico), así como la posibilidad de desarrollar servicios interactivos asociados al contenido televisivo. Se aumentará también la oferta de canales, y, por tanto, la oferta de programación. Aporta una gran calidad de imagen, similar al DVD, y podemos ver los contenidos en formato panorámico (16:9), sin cortes ni bandas negras. No habrán ruidos, ni interferencias (en teoría), y el sonido es de gran calidad.

Se añaden más servicios, como por ejemplo la posibilidad de elección del idioma (si se trata de un contenido de origen extranjero), en versión original con subtítulos. Se introduce también una guía electrónica de programación, con toda la oferta de canales digitales.

En definitiva, la TDT introduce grandes ventajas y avances, inclusive nuevas posibilidades, todavía no instauradas del todo, como múltiples servicios interactivos y de acceso a la sociedad de la información, como la realización de trámites administrativos, participación en concursos y/o encuestas, visión multicámara para, por ejemplo, acontecimientos deportivos, etc.

3.1.1 INTRODUCCIÓN A LA TRANSMISIÓN DE TDT

La cadena de difusión y recepción de la TDT se divide en tres grandes bloques: la contribución de la señal desde los estudios de producción a la cabecera, la distribución y posterior difusión de la señal, y la fase de recepción en la instalación de recepción.

En la fase de contribución, y a través de distintas modalidades, la señal que se produce en estudios se codifica y multiplexa en cabecera, añadiéndose la información de servicio y generándose el *transport stream*. La problemática asociada a esta fase puede aparecer principalmente por incidencias del equipamiento de cabecera o problemas de coordinación en la gestión técnica del múltiple (normalmente relacionados con la señalización). Los actores principales son los generadores de contenidos y el gestor del múltiple.

Durante la fase de distribución y difusión, la señal se transporta desde cabecera a los centros emisores (ya sea por fibra, radioenlace o satélite) realizándose la modulación y amplificación previa a la difusión vía el sistema radiante al territorio. La problemática típica asociada a esta fase se corresponde con incidencias en el equipamiento de red, interferencias o problemas de sincronización de red. Es el operador de red el agente principal en esta fase.

En las instalaciones de recepción en los edificios la señal se recibe en RF, se distribuye por las viviendas y en el equipo receptor se demodula, descodifica y presenta al usuario final. La problemática asociada puede ser variada, desde niveles de señales inadecuados, instalaciones inadecuadas, apuntamiento incorrecto de antenas, hasta incidencias en los algoritmos de enganche de los descodificadores. El proceso simplificado podría quedar estructurado de la siguiente manera:



Fruto de los compromisos adquiridos por el sector, del desarrollo técnico de la red, de la situación espectral fruto del modelo de implantación existente, de la convivencia actual con las emisiones analógicas, así como los índices de penetración adquiridos se plantea la necesidad de asegurar la **calidad** de la cadena de difusión y recepción TDT (tema del cual se hablará en los capítulos posteriores).

A continuación se tratará de explicar el proceso de generación de la señal de televisión digital, incidiendo, aunque no demasiado, en todos los pasos y sistemas utilizados en general en dicho proceso.

3.2 CONCEPTOS BÁSICOS

3.2.1 INTRODUCCIÓN: ¿POR QUÉ DIGITALIZAR EL VÍDEO?

Desde hace años, los profesionales del vídeo vienen utilizando en los estudios de las cadenas de televisión diversos formatos digitales para la grabación, manipulación, montaje y copia de las señales de vídeo.

Con el fin de facilitar la compatibilidad entre los equipos de intercambio de programas, el CCIR (*Comité Consultatif International des Radiocommunications*) ha normalizado las condiciones de digitalización (recomendación CCIR 601) y de interfaz (recomendación CCIR 656) de las señales de vídeo digital en componentes (Y, Ca, Cr) del formato 4:2:2.

Las principales ventajas de estos formatos digitales normalizados son las de permitir múltiples copias sin ninguna degradación de la calidad de las imágenes, crear efectos especiales imposibles de realizar en analógico, así como facilitar los montajes de cualquier tipo y el intercambio entre países, independientemente del estándar utilizado después para la difusión (NTSC, PAL, SECAM, D2MAC, MPEG...).

3.2.2 CONVERSIÓN DE LA SEÑAL ANALÓGICA EN DIGITAL

Para realizar la transformación de señal de televisión analógica en señal digital, se deben llevar a cabo diversos procesos.

En primer lugar, el muestreo, que no es más que el proceso de obtención del nivel de la señal en unos instantes predeterminados. Generalmente, el muestreo se realiza con el objetivo de digitalizar la señal.

El dispositivo que muestrea la señal se compone de dos elementos: un circuito que mantiene y genera las muestras, y un reloj que define los instantes en que las muestras son obtenidas. En este proceso aparece la frecuencia de muestreo, parámetro fundamental que definirá la transmisión de la señal, como ya se ha dicho anteriormente. En la práctica no se pueden utilizar velocidades de muestreo indiscriminadamente altas, ya que esta determina la cantidad de información que se envía por segundo, y por tanto, el ancho de banda necesario para su transmisión. En cualquier canal de propagación, el costo por MHz es elevadísimo, por tanto, para poder enviar la señal resulta fundamental conocer cual es la frecuencia de muestreo mínima que garantice su correcta reconstrucción.

Nyquist, científico sueco y prolífico inventor cuyas contribuciones al mundo de las telecomunicaciones han sido fundamentales, estudió esta problemática y determinó, a partir del análisis del espectro de la señal muestreada, que la frecuencia mínima de muestreo debe ser el doble del ancho de banda de la señal a muestrear, pudiéndose reconstruir esta a partir de la señal muestreada.

La señal muestreada es la señal analógica original de la que solo se transmiten ciertos valores, pero sigue siendo una señal analógica. Para convertirla en digital será necesario codificar digitalmente cada una de las muestras. Esta codificación es función de la cuantificación elegida para cada nivel muestreado, entendiéndose como cuantificación el número finito de valores que se consideren para cada muestra.

El encargado de codificar digitalmente la señal se denomina conversor analógico/digital y en función de sus características (número de bits por muestra) se obtendrá la cuantificación elegida. Así pues, si la cuantificación se realiza con un byte (8 bits) el número de valores que puede tener el nivel muestreado será de 2^8 , es decir, 256 valores. La elección de la cuantificación depende del tipo de señal y de la calidad deseada, ya que este proceso aporta un tipo de ruido denominado ruido de cuantificación.

Una vez codificadas las muestras, se genera una trama de bits en serie cuya frecuencia depende del número de bits por muestra y de la frecuencia de muestreo. La cantidad de bits por segundo generados se denomina la tasa binaria.

Seguidamente, habrá que transmitir esta trama de bits, la cual será representada de una forma general como una secuencia de unos y ceros lógicos, representados, por ejemplo, por niveles de tensión $+V$ y $-V$ respectivamente.

La expresión $\text{sen } x/x$, también conocida como función **sync(x)**, muestra la distribución de energía con la frecuencia para un pulso cuadrado. Para una señal digital, el espectro es ilimitado, por tanto el tratamiento de este tren de pulsos requeriría un ancho de banda, a priori, infinito. Sin embargo, no solo no se dispone en sistemas de comunicaciones de un ancho de banda infinito, sino que, debido a una serie de diferentes consideraciones en los sistemas de transmisión, el ancho de banda debe de ser lo más pequeño posible, siempre que se garanticen las condiciones de comunicación del enlace.

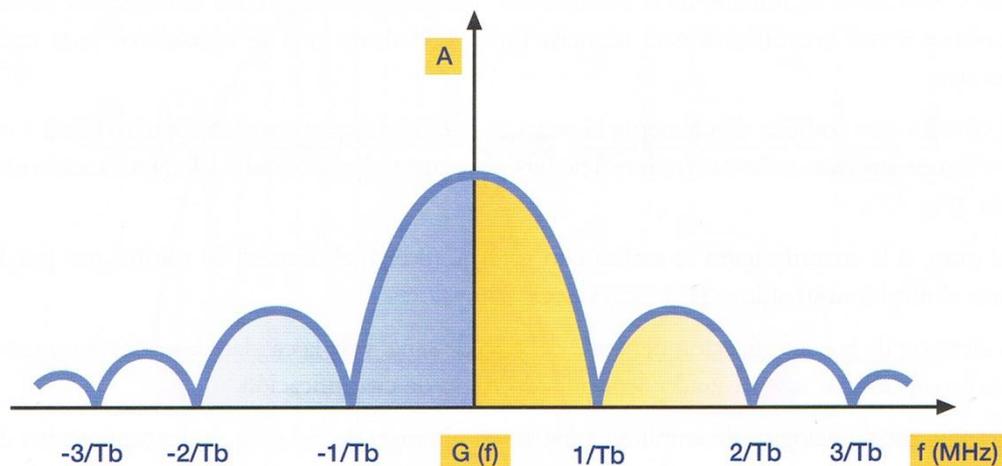


Figura 10: Señal SYNC

Si tomamos el tren de pulsos de la figura 7 y lo hacemos pasar a través de un filtro paso bajo, la forma de los pulsos se verá alterada. Como ejemplo, consideremos el efecto de pasar el tren de pulsos rectangulares por un filtro paso bajo muy sencillo, formado por una sola sección RC. La forma de onda resultante de la carga y descarga del condensador C mostrará que el pulso de caída de una transición se extiende al siguiente pulso, es decir, el resultado será una forma de onda tipo *peine*.

Si la transición binaria es 10 ó 01, la amplitud del segundo pulso en el instante de muestreo se ha visto reducida por la versión retardada del pulso precedente. Esta señal digital tiene que ser modulada para su transmisión. Y en este proceso, dependiendo del tipo de modulación, un bit o conjunto de bits generarán una característica de la portadora que se denomina **símbolo**. Si suponemos el símbolo por bit esta versión retardada del bit (símbolo), puede generar interferencia en el siguiente bit (símbolo). Esto se denomina **interferencia entre símbolos**, y ocurre siempre que una señal digital es limitada en banda.

En presencia de ruido en la comunicación, la interferencia entre símbolos aumenta la probabilidad de que el receptor detecte un bit incorrectamente, produciéndose un error de bit. Esta interferencia entre símbolos puede evitarse eligiendo apropiadamente el filtro paso bajo conformador de banda.

Nyquist propuso una técnica que, teóricamente, puede producir interferencia nula entre símbolos y es conocida como el *criterio de Nyquist*. Básicamente, el objetivo es crear en el receptor un pulso del tipo $\text{sen } x/x$, de forma que cruce el eje del tiempo a intervalos de T_b , siendo este el período de bit. De esta forma, en el instante en el que un pulso es muestreado, las colas de los pulsos precedentes son cero, produciéndose una interferencia nula entre símbolos.

Los filtros que cumplen esta condición pueden ser sintetizados de varias maneras. Nyquist propuso un filtro conocido como de "coseno alzado", con un parámetro denominado "roll-off" o exceso de banda del filtro, y una frecuencia de corte mínima de la mitad de la máxima velocidad de transmisión.

3.2.3 CODIFICACIÓN DE VÍDEO: CONVERSIÓN DE VÍDEO AL FORMATO DE MUESTREO

Para codificar la señal de televisión de forma correcta, se debe seguir el estándar básico del CCIR (recomendación 601) para televisión. Éste estándar describe el proceso a través de unos pasos a seguir, los cuales se tratará de detallar a continuación.

El vídeo se representa como una sucesión de imágenes individuales, pudiéndose tratar cada imagen como un conjunto (*array*) de elementos de imagen (píxeles) en dos dimensiones. Según el formato estándar de muestreo de señal en banda base, para conseguir una calidad convencional PAL, muestreando la imagen, cada línea se tiene que cuantificar con 720 píxeles, como el número de líneas es de 576 (625 líneas menos líneas de borrado y sobreexploración), la densidad de muestreo de un cuadro es de 720 x 576.

Por otro lado, respecto a la digitalización de los componentes de la imagen, habría que recordar el hecho de que cada píxel de una imagen de televisión se compone de información de luz (luminancia) e información de color (crominancia). Para la codificación PAL, la información se compone de luminancia (Y) y croma en dos componentes. Si se quiere tener la misma información para cada una de las componentes, se deben muestrear utilizando la misma frecuencia (13'8 MHz). Sin embargo, este dato no es del todo real, ya que la que realmente se utiliza es la de 13'5 MHz, debido a que esta última cifra es múltiplo entero de 2'25 MHz, que es a su vez el mínimo común múltiplo de las frecuencias de línea para los estándares definidos por el CCIR (PAL) y FCC (NTSC).

El muestreo anteriormente descrito para Y, U, V está determinado en las recomendaciones de la BT601 y BT635 de la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones), y está definido como muestreo 4:4:4. Si eligen estos números para poder configurar todas las posibilidades de muestreo para todo tipo de servicios.

Este muestreo 4:4:4 no considera que el ojo humano tiene una sensibilidad menor al color que a la luminancia. La recomendación 601 prevé otros tipos de muestreo, como 4:1:1 y 4:2:0.

Las señales analógicas RGB, una vez matricadas son filtradas con filtros paso bajo. El ancho de banda de filtrado de la señal de luminancia es 5'75 MHz, y el de las señales de color es de 2'75 MHz.

Las señales resultantes del proceso de filtrado son muestreadas a una velocidad de 13'5 MHz para luminancia, y de 6'75 MHz (mitad de muestras) para las señales diferencia de color. Si cada muestra se cuantifica con 8 bits (1 byte), la cantidad de información que se envíe será 216 Mbps. El muestreo elegido para el estándar de la televisión digital es el submuestreo 4:2:0, ya que el ojo humano no es capaz de identificar una resolución de color mayor. La cantidad de información necesaria para enviar una señal con esta codificación será en este caso de 162 MHz.

3.2.4 CODIFICACIÓN DE VÍDEO: MPEG

Para enviar la señal de televisión, es imprescindible reducir la tasa binaria, en primer lugar debido al excesivo ancho de banda que se necesita para su transmisión, y en segundo lugar a la dificultad que plantea el tratamiento y almacenamiento de un volumen de información semejante. Para este problema se plantean dos diferentes codificaciones que podrían comprimir la señal:

- Codificación estadística: esta codificación, previa a la codificación MPEG, se puede realizar debido al funcionamiento y definición del estándar para la televisión, donde los sincronismos de cuadro, los de línea y los pórticos de sincronismo son claramente predecibles. Estos pueden codificarse de forma sencilla, de tal manera que no suponen un incremento apreciable de ancho de banda.

- Codificación MPEG: el MPEG, grupo de expertos en imágenes en movimiento (*Moving Picture Expert Group*), comenzó en 1988 como el grupo de trabajo 11, subcomité 29 del comité técnico consultivo número 1 de la Organización Internacional de Estandarización y de la Organización Electrotécnica Internacional (ISO/IEC JTC1) (Para más información visitar [www3]). Su propósito final fue definir los estándares para la compresión digital de señales de audio y vídeo. Tomó como base el estándar de la UIT para vídeo conferencia y vídeo telefonía, y el estándar del grupo de expertos en fotografía JPEG (*Joint Photographies Expert Group*), que había sido desarrollado para la compresión de imágenes fijas, como la fotografía electrónica. (Ver página oficial JPEG: [www4]).

La tarea básica de MPEG fue tomar las señales de audio y vídeo y convertirlas en paquetes de información digital, de forma que pudieran ser transportadas en redes de comunicaciones con mayor eficiencia. El MPEG comprime las señales de audio y vídeo, desechando gran parte de la información redundante, consumiendo menos ancho de banda y manteniendo la calidad de transmisión desde la generación de la señal hasta la decodificación y presentación de la misma. La codificación MPEG determina una estructura de información de vídeo digital, audio y datos asociados.

Normalmente, cuando se habla de televisión digital, se refiere al estándar MPEG-2, que es la continuación del MPEG-1, desarrollado inicialmente para aplicaciones de CD interactivo. La codificación denominada MPEG-1 reduce el estándar de televisión americano NTSC y los europeos PAL y SECAM al formato SIF (4:2:0 reducido). Aunque MPEG-1 puede codificar imágenes hasta 4096 x 4096 píxeles y 60 tramas por segundo, muchas aplicaciones utilizan el formato llamado CPB (Constrained Parameter Bitstream, algo así como un limitador de flujo de bits), con una tasa binaria máxima de 1,86 Mbps (para aplicaciones en CD-i) y comprime adecuadamente la resolución SIF.

MPEG-2 es el sucesor de MPEG-1, y está optimizado para la transmisión de televisión al conseguir muy pequeña degradación en calidad de imagen para velocidades entre 1,5 y 6 Mbps. Soporta diferentes relaciones de aspecto (4:3, 16:9), formatos de vídeo (progresivo, entrelazado) y definiciones y mejora de la señal ("scalability").

MPEG-4, nace como un estándar de compresión para aplicaciones multimedia (vídeo-conferencia e Internet) y posibilita la eficiente transmisión y almacenamiento de vídeo.

La compresión de información de vídeo se realiza desde dos vertientes, espacial y temporal. La primera explota la existencia de información redundante dentro de una imagen y la pequeña sensibilidad del ojo humano al color, y la segunda se basa en el hecho de la alta correlación entre imágenes consecutivas. Mediante el uso combinado de ambas se consiguen altos niveles de compresión.

En cualquier caso, se trata de conseguir que, en función del nivel de calidad elegido, la pérdida de información sea imperceptible para el usuario.

Los bloques son trasladados al dominio de la frecuencia espacial (H y V), y mediante el uso de la transformada discreta del coseno (similar a la transformada de Fourier), convierte los datos en una serie de coeficientes que representan las amplitudes de las funciones coseno en frecuencias crecientes.

La transformada del coseno, tiene la característica de concentrar la mayor parte de la información en un reducido número de coeficientes. Aplicando un proceso de cuantificación se eliminan los menos significativos, reduciéndose considerablemente la información contenida.

En el decodificador, el proceso de transformada de coseno inversa restaura matemáticamente los coeficientes en una aproximación cercana al valor original.

Esta compresión sólo elimina información redundante de campo, pero una de las propiedades de la televisión es que los campos sucesivos apenas cambian. Se reduciría la información a enviar si no se repitiera la información de imagen que es común; es por esto que se utiliza otra compresión que se denomina compresión temporal.

3.2.4.2 Compresión temporal

Los bloques y macrobloques anteriormente definidos, que no cambien en cuadros sucesivos, se agrupan formando rodajas ("*slices*") para poder sincronizarlos, y no se vuelven a codificar. Esta estructura le permite al receptor volver a sincronizarse al principio de cada rodaja en el caso de errores en transmisión, puesto que cada una de ellas comienza con una cabecera única.

Otra compresión temporal que se realiza es la compresión de movimiento. Se basa en la uniformidad de los movimientos en la naturaleza. Esta uniformidad los hace fácilmente predecibles ya que no se producen cambios bruscos de dirección. Este hecho es el que se aprovecha para reducir la información. La técnica que se utiliza consiste en asociar a los bloques o macrobloques en movimiento un vector que nos indica la trayectoria, es decir, cuanto se desplaza y hacia donde se desplaza.

3.2.4.3 Compresión MPEG-2

El estándar MPEG-2 se ha desarrollado como una herramienta flexible, soportando un gran rango de aplicaciones. Con este objetivo, diferentes algoritmos han sido desarrollados con objeto de abarcar una serie de aplicaciones que van desde el vídeo de baja definición (videoconferencia) hasta el vídeo en alta definición, utilizando el mismo estándar. Como no sería práctica la implementación de todo el conjunto de algoritmos en todos los decodificadores, por razones de tipo comercial fundamentalmente, un determinado número de dichos perfiles han sido definidos como subconjuntos del total. Al mismo tiempo, dentro de cada perfil, se definen una serie de particiones denominadas

niveles que definen una serie de limitaciones como la máxima densidad de muestreo (número de píxeles de la imagen y número de líneas por segundo).

Sin embargo, habría que definir antes que nada los diferentes tipos de imagen en las que se basa el MPEG-2 para conseguir las compresiones antes mencionadas, y estas son las intra-ímagenes, las imágenes predictivas y las imágenes predictivas bidireccionales:

- Las **intra-ímagenes (I)** son codificadas sin referencia a otras imágenes. Alcanzan una tasa de compresión moderada, ya que eliminan solamente redundancia espacial. Sin embargo, son importantes ya que proporcionan puntos de acceso a la trama binaria, es decir, puntos de referencia para que el decodificador pueda empezar su tarea sin necesidad de referenciarse a imágenes previas.
- Las imágenes **predictivas (P)** son codificadas utilizando algoritmos de predicción a partir de una imagen anterior, que puede ser I o P, y pueden ser utilizadas como referencia para posteriores predicciones. Al eliminar redundancia espacial y temporal, las imágenes P consiguen mayor tasa de compresión que las imágenes I.
- Las imágenes **predictivas bidireccionales (B)** usan para la predicción imágenes I y P, tanto pasadas como futuras, y obtienen la mayor tasa de compresión. Para permitir predicción hacia atrás a partir de imágenes futuras, el codificador debe ordenar las imágenes de forma que las imágenes B sean transmitidas después de las imágenes pasadas o futuras a las que están referenciadas.

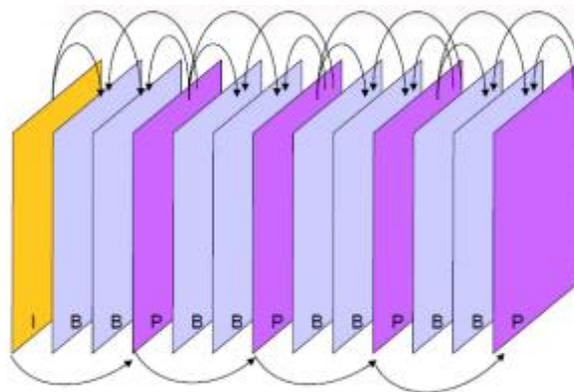


Figura 12: Secuencia típica de imágenes MPEG. En el proceso de compresión, los fotogramas son codificados según una pauta denominada GOP (Group Of Pictures), que por ejemplo podía ser IBBPBBPBBPBBPBI. Este patrón se repite periódicamente hasta que la secuencia de vídeo se codifica completamente.

Seguidamente, una vez comentada la secuencia de imágenes MPEG, y las que la componen, se pasará a explicar los diferentes perfiles MPEG-2 que se pueden encontrar, dependiendo de la utilidad que se le vaya a dar al vídeo comprimido. Es de destacar que solo está permitido un número determinado de combinaciones de niveles y perfiles:

- **Perfil Simple SP** (*Simple Profile*): Este perfil no utiliza imágenes B, y por consiguiente no realiza interpolación bidireccional. Consecuentemente, no es necesario un reordenamiento de las imágenes por parte de un retardo mínimo, como vídeo conferencia.
- **Perfil principal MP** (*Main Profile*): Este perfil usa las herramientas del perfil anterior e introduce además imágenes B, consiguiendo una mayor capacidad de compresión a costa de introducir un retardo mayor. Es el perfil que se utiliza en difusión de señales de vídeo y está soportado por la mayoría de circuitos integrados decodificadores de MPEG-2 comerciales.
- **Perfil según relación señal-ruido. Escalable** (*SNR Profile*): Este perfil incorpora una herramienta más al perfil anterior, que es la posibilidad de separar los datos en dos partes, los cuales pueden ser considerados como dos capas, una capa base o inferior y una capa de realzamiento o superior.

La capa inferior es una versión de la señal con una relación señal ruido pequeña que sólo requiere una pequeña fracción de la capacidad total. La capa superior, al introducirse en la capa inferior, mejora la relación señal a ruido dando prácticamente el mismo nivel de calidad que el perfil principal (MP) sin necesidad de un aumento de la tasa binaria. Al tener la posibilidad de poder partir la información en capas, podría hacerse más inmune al ruido la capa inferior de forma que pudiese ser recibida en condiciones de relación señal a ruido baja. Más aún, podría transmitirse una versión de la señal con menor relación señal a ruido aunque inteligible en el caso de que circunstancialmente no hubiese capacidad suficiente para la transmisión de la tasa binaria total.

- **Perfil espacial** (*Spatial Profile*): Este perfil incorpora al perfil anterior un nuevo método de partir los datos en términos de resolución. De forma análoga al perfil anterior, existe una capa superior y una capa inferior, si bien en este caso las dos capas representan la misma imagen aunque con resoluciones diferentes. La suma de ambas da como resultado la resolución total de la imagen. Este perfil, en contraposición al perfil anterior, necesita una tasa binaria extra entre 10% y 20%, para conseguir la misma resolución que el perfil principal.
- **Perfil alta calidad HP** (*High Profile*): Los perfiles anteriores utilizan un formato de vídeo 4:2:0, que explota al máximo la menor sensibilidad del ojo humano al color, codificando en píxeles consecutivos muestras alternativas de las señales diferencia de color. El perfil alto (*“high”*) introduce la posibilidad de codificación de imágenes de vídeo en formato 4:2:2 y está pensado para aplicaciones donde la calidad es importante, como puede ser en los estudios y en enlaces de contribución. La calidad se incrementa aumentando la resolución de color.

3.2.4.4 MPEG-4

Esta codificación de vídeo, si bien no parece por el momento que vaya a sustituir al MPEG-2 en la transmisión del servicio de televisión, está teniendo cada vez mas campo de aplicación en el mercado.

Como se ha dicho anteriormente nace para aplicaciones multimedia, con unos resultados prácticos sorprendentes, de tal forma que se puede decir que la compresión conseguida es 4 veces mayor que en el MPEG-2. Este sistema de compresión no se basa en la DCT (transformada discreta del coseno) sino en la codificación Wavelet, Fractal y segmentación de la imagen. El MPEG-4, junto con WMP9, han sido evaluados por el DVB como estándares para las aplicaciones multimedia, en el caso de MPEG-4 se denomina H.264/AVC (*Advance Video Code*) y se han definido perfiles y niveles de forma similar al MPEG-2.

3.3 CODIFICACIÓN DE CANAL

3.3.1 INTRODUCCIÓN

Una vez realizadas las operaciones de codificación de la fuente, según los procesos estudiados anteriormente, tenemos un tren de transporte constituido por paquetes de 188 bytes que hay que transmitir vía radiofrecuencia (satélite, cable, emisión terrestre) hacia los usuarios. Se debe saber, sin embargo, que estos canales de transmisión desgraciadamente no están exentos de errores, debido a toda clase de perturbaciones que se añaden a la señal útil (ruido, interferencias, ecos,...).

Ahora bien, una señal digital, especialmente cuando se le ha quitado cualquier tipo de redundancia durante el proceso de compresión, requiere una tasa de errores (BER o *Bit Error Rate*) extremadamente pequeña para obtener un rendimiento satisfactorio (BER de 10^{-10} a 10^{-12} , es decir, del orden de un error por hora para un flujo útil de 30 Mbits/s). Un canal que garantice esta tasa de errores recibe el nombre de QEF (*Quasi Error Free* ó “Casi Sin Error”), aunque a veces también se utiliza la expresión de “súper canal”.

Por tanto, conviene tomar ciertas medidas de prevención antes de la modulación para permitir la detección y la corrección en el receptor de la mayoría de los errores que pueda llevar el canal de transmisión en condiciones normales de utilización. Estas medidas, donde la principal consiste siempre en introducir una redundancia calculada en la señal, disminuyendo por consiguiente la eficacia del proceso de compresión, se llaman *Forward Error Correction* (FEC) y constituyen la esencia de la codificación de canal. Por supuesto, éstas deberían estar adaptadas a las especificaciones del canal de transmisión.

Estas operaciones se detallan en los siguientes apartados, aunque sin entrar realmente en profundidad en los complicados entresijos de los códigos de corrección de errores utilizados.

3.3.2 DISPERSIÓN DE ENERGÍA

Comentar esta parte del tratamiento no es hablar de la corrección de errores propiamente dicha, sino que está especificada como paso previo a la emisión para uniformar el espectro de RF.

Los paquetes de transporte tienen una longitud de 188 bytes, donde el primer byte es de sincronización cuyo valor es 47 (valor hexadecimal), es decir, 01000111, transmitiéndose los bits de mayor peso al principio. A fin de evitar series largas de 0 o de 1, la señal debe hacerse casi aleatoria (*randomized*) para asegurar la dispersión de energía del espectro de radiofrecuencia radiado, es decir, el **reparto uniforme de la energía** en el canal de emisión. Esto se consigue desordenando o mezclando los datos por medio de una secuencia pseudoaleatoria (PRBS. *Pseudo Random Binary Sequence*), generada por el polinomio $1 + X^{14} + X^{15}$.

El esquema correspondiente al generador pseudoaleatorio, que es el mismo para ordenar y desordenar, es relativamente sencillo y se presenta en la siguiente figura:

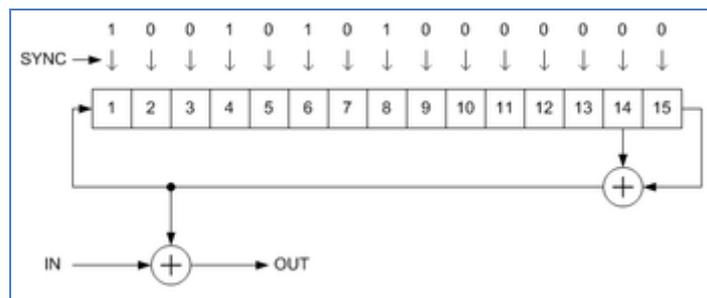


Figura 13: Esquema correspondiente del generador pseudoaleatorio.

El generador se reinicializa cada 8 paquetes de transporte cargando la secuencia "100101010000000" en su registro. A fin de poder indicar el principio de la secuencia, el byte de sincronización del primer paquete del grupo de 8 al que se aplica la desordenación está invertido (47 hex. se convierte entonces en B8 hex.). Los bytes de sincronización no se ven afectados por la desordenación, aunque la secuencia no se interrumpa durante este tiempo (sólo la entrada ENABLE que valida la salida del generador no está activa durante los bytes de sincronización).

Este dispositivo debe estar activo incluso en ausencia de datos o en presencia de datos que sean conformes con MPEG-2 en su entrada, para evitar la emisión de una portadora pura en cualquier circunstancia.

3.3.3 CODIFICACIÓN DE REED-SOLOMON (O EXTERNA)

Para poder corregir la mayor parte de los errores introducidos por el canal de transmisión, hemos indicado anteriormente que era necesario introducir una redundancia en la señal que permitiera detectar y, hasta cierto punto, corregir estos errores.

DVB especifica para todos los modos de transmisión una codificación llamada “externa” (*outer coding*), por oposición a la codificación complementaria “interna” (*inner coding*) que se describe más adelante cuando hablemos de la transmisión vía satélite y terrestre.

Este código es el de Reed-Solomon, el cual permite, en combinación con el entrelazado que le sigue, la corrección de los errores de ráfaga introducidos por el canal. Esta codificación se aplica individualmente a cada uno de los paquetes de datos, incluyendo los bytes de sincronización. Añade, además, 16 bytes de paridad a los bytes de información de los paquetes de transporte, haciendo que el decodificador del canal sea capaz de corregir hasta 8 bytes erróneos. Por encima de 8 bytes erróneos, el paquete se marcará como erróneo e incorregible por el decodificador del canal, dejando a los circuitos siguientes del receptor como encargados de transportar o no la información errónea. [Para una mayor profundización en el tema de Reed-Solomon, se recomienda ver REF5].

3.3.4 DISPERSIÓN TEMPORAL DE ERRORES (ENTRELAZADO O FORNEY CONVOLUTIONAL INTERLEAVING)

Esta etapa sirve para aumentar la eficacia de la codificación Reed-Solomon. A fin de repartir en el tiempo los errores introducidos por el canal, que a menudo se producen a ráfagas que afectan a varios bytes consecutivos, sobrepasando de esta forma la capacidad de corrección del código Reed-Solomon (8 bytes por paquete), se procede a un entrelazado temporal de los bytes modificando su orden de transmisión. Este proceso se conoce como *Forney convolutional interleaving*.

De forma esquemática, por medio de un banco de 12 FIFO (*First In, First Out*, que es una disposición de datos en la cual estos van siendo atendidos por orden de “llegada”) y un dispositivo de encaminamiento de 12 vías, consiste en transmitir 12 bytes sucesivos, cada uno a través de un FIFO de longitud $M \times j$ (con $M = L/I = 204/12 = 17$), donde L es la longitud del paquete protegido e I la profundidad del entrelazado. De esta forma, un byte se encuentra desplazado en el tiempo desde 0 hasta 187 posiciones. El proceso inverso tiene lugar de forma sincronizada en la recepción, el byte retardado en la emisión se retarda en la recepción, de forma que al final todos se vuelven a encontrar en el orden original. De esta manera, una ráfaga de errores, después de su recolocación temporal en el receptor, se encontrará repartida entre dos paquetes consecutivos, y permanecerá la mayoría del tiempo dentro de los límites de capacidad de corrección del código Reed-Solomon.

El tratamiento descrito hasta el momento es común a todos los modos de transmisión previstos en la actualidad (satélite, cable, terrestre), cualquiera que sea el tipo de modulación utilizada.

En el caso del cable (modulación 64-QAM), la única operación que hay que efectuar antes del filtrado y modulación será la conversión del tren de bits serie en 2 señales I y Q de 3 bits cada una, representando símbolos de 6 bits. Sin embargo, más adelante se entrará en profundidad en temas de las diversas modulaciones que nos podemos encontrar.

Para el satélite y las emisiones terrestres, la codificación de canal comporta una operación suplementaria, llamada codificación interna. Está designada a corregir el máximo de errores aleatorios provocados por una baja relación señal/ruido. La corrección de error permitida por esta codificación de tipo convolutivo es complementaria a la realizada por el conjunto entrelazado+codificación de Reed-Solomon. Su objetivo es obtener, a partir de una tasa de error (BER) de unos 10^{-2} a la salida del demodulador QPSK, una tasa de error máximo del orden de los 10^{-4} a la entrada del decodificador R-S, para garantizar una recepción casi sin error.

Este código no se limita solamente a los modos de transmisión ya nombrados, ya que se usa también en muchas aplicaciones, como por ejemplo DVDs, CDs, etc. Lo que pasa es que en almacenamiento (DVD, CD) normalmente los dos códigos son de bloque y en transmisión se suele usar uno de bloque y otro de flujo (convolutivo).

3.3.5 CODIFICACIÓN CONVOLUTIVA (CODIFICACIÓN “INTERNA”)

La gran redundancia introducida por este código permite una corrección de errores muy potente, indispensable en caso de transmisiones con una baja relación señal/ruido, aunque reduce a la mitad la eficacia espectral del canal. En este caso, las señales X e Y obtenidas a la salida del codificador se aplican directamente a las respectivas entradas I y Q del modulador QSPK, siendo la velocidad útil del canal (en bits por segundo) la mitad de la utilizada realmente para la transmisión.

La codificación convolutiva permite, sin embargo, la no transmisión de todos los bits de las salidas X e Y, efectuando una operación llamada “picado” (*puncturing*) de los trenes de salida, reduciendo así la redundancia del código. El principio consiste en suprimir un bit de una de las 2 salidas mientras que el bit simultáneo de la otra salida sí se transmite. Las señales I y Q se obtienen entonces alternando las salidas X e Y de manera que forman dos trenes binarios equilibrados. De esta forma se obtienen los valores “picados” de la tasa de emisión especificada por la norma DVB.

Esta operación aumenta la capacidad de transmisión del canal a costa de una reducción de la distancia límite, por tanto, de la capacidad de corrección de los errores aleatorios debidos al ruido.

3.4 MODULACIONES DIGITALES

3.4.1 INTRODUCCIÓN

Una vez efectuadas las diferentes operaciones que constituyen la codificación de la fuente (codificación MPEG de audio y vídeo, inserción de datos, multiplexado, eventual cifrado), después las que constituyen la codificación de canal (dispersión de energía, codificación externa de Reed-Solomon, entrelazado y, para la transmisión vía satélite y terrestre, etc.), se tiene un flujo de datos listo para que module una portadora y se emita a los usuarios.

Según el medio utilizado (satélite, cable, ondas hercianas terrestres) se dispondrá de un ancho de banda determinado por las consideraciones tanto técnicas como administrativas, derivándose estas últimas en gran medida de las primeras.

Las condiciones técnicas (relación señal/ruido y ecos, principalmente) son en realidad muy diferentes si las señales de recepción proceden de satélites, estables, pero débiles, ya que provienen de un emisor poco potente (unas cuantas decenas de vatios) situado a 36.000 km de distancia, o si provienen de una red cableada, donde generalmente se tienen señales relativamente potentes y estables, o si su procedencia viene de ondas hercianas, donde las condiciones pueden ser muy diversas. Por ello:

- La relación señal/ruido (C/N, S/R) de una recepción vía satélite es muy pequeña, del orden de los 10 dB, aunque la señal recibida está prácticamente desprovista de eco.
- A la inversa, en la recepción por cable, la relación S/R es relativamente elevada, superior a los 30 dB, aunque esta señal puede estar afectada por ecos cortos debidos a desadaptaciones en la línea.
- En recepción herciana terrestre, las condiciones son más difíciles que en las del cable, sobre todo si se cuenta con antenas rudimentarias y recepción móvil (agravación de los ecos, interferencias, variaciones importantes de la señal,...).

Por esta razón, las técnicas de modulación diferían para adaptarse lo mejor posible a las condiciones impuestas por el canal de transmisión así como para garantizar su coexistencia con las emisiones analógicas.

- Vía satélite, en general los canales tienen una anchura de 27 MHz (satélite Astra por ejemplo) a 36 MHz (satélite Télécom, por ejemplo), de ahí la necesidad de emplear la modulación de frecuencia (FM) para transmitir una emisión de TV analógica (banda de paso de 6 a 8 MHz con el, o los, sonidos asociados) con las débiles condiciones de relación señal/ruido indicadas anteriormente.
- Por cable o emisión terrestre, la anchura de los canales se escalonan desde 6 MHz (EE.UU.) hasta 7 u 8 MHz (Europa) (8MHz en España), debido al empleo de modulación de amplitud con banda lateral residual (BLR o VSB,

Vestigial Side Band) para el vídeo, con una o varias portadoras de sonido asociadas.

Las emisiones digitales también heredan esta situación y, en general, deberían utilizar las mismas anchuras de canal que sus homólogas analógicas, debido, entre otras razones, a la coexistencia de dos tipos de emisiones en un mismo medio (satélite, red de cable u ondas hercianas) y al deseo de mantener cierta compatibilidad con los equipos de emisión y distribución existentes.

Ahora bien, ¿qué se puede hacer para emitir las señales de TV a través de los distintos medios? Las señales digitales codificadas necesitan de una modulación para adecuarse al medio de difusión; este es el fundamento básico de la modulación.

En televisión digital se utilizan tres tipos de modulaciones, dos modulaciones “básicas” y una modulación multiportadora (con portadoras utilizando modulaciones básicas). Las modulaciones son: modulaciones de fase xPSK, modulaciones combinadas de amplitud y fase xQAM y la modulación multiportadora COFDM.

En los siguientes apartados se tratarán de un modo básico las modulaciones xPSK y xQAM, dejando la modulación multiportadora OFDM para tratarla en detalle a continuación de estas últimas, ya que es la utilizada para la televisión digital terrestre.

3.4.2. MODULACIONES DIGITALES PARA SATÉLITE Y CABLE

Como ya se ha comentado, la modulación no es más que una técnica para adecuar el mensaje al medio de transmisión. Las modulaciones tipo xPSK (BPSK, QPSK, etc.) son modulaciones de fase y no transportan información en la amplitud. Esta característica las hace muy adecuadas a medios de transmisión con compromisos en el consumo de energía, usualmente con dispositivos de amplificación no lineales en amplitud, como puede ser, por ejemplo, el satélite.

En la modulación siempre hay un compromiso entre la robustez y el ancho de banda ocupado, mayor robustez implica mayor ancho de banda. La modulación xPSK consume una gran cantidad de ancho de banda a costa de una gran robustez frente a interferencias y ruido.

La modulación xQAM, modulación combinada en amplitud y fase, es una modulación mucho más eficiente en el consumo de ancho de banda, pero la información también se transporta en la envolvente por lo que no soportan grandes alinealidades de amplitud. Es la modulación adecuada para la transmisión de televisión por cable.

3.4.2.1 Modulación BPSK

La modulación BPSK no se utiliza en los servicios de televisión. En este tipo de modulación digital, la fase de la portadora adopta dos valores, es decir, dos símbolos, por lo tanto se genera un símbolo por cada bit.

La realización física de este tipo de modulación sería un simple multiplicador de una portadora y de la señal digital.

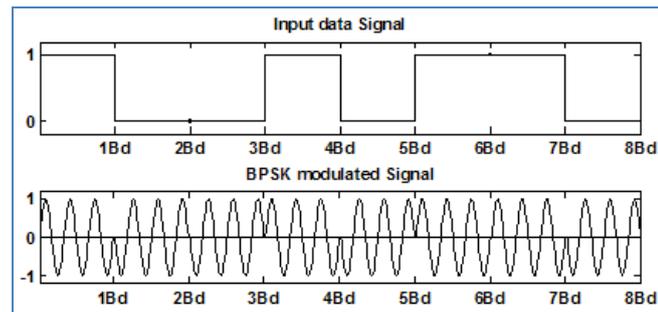


Figura 14: Modulación BPSK

3.4.2.2 Modulación QPSK

Es la modulación que se utiliza en el servicio de radiodifusión por satélite. Para la obtención de la modulación QPSK se siguen los siguientes pasos:

- Primeramente, a partir de la trama original se generan dos señales mediante un codificador convolucional que incorpora protección contra errores. Una se denomina trama **I** y la otra trama **Q**.
- En segundo lugar se generan dos portadoras, una en fase (0°) que se multiplica por la trama I, y otra en cuadratura (90°) que se multiplica por la trama Q y se suman los productos resultantes.

En esta modulación los símbolos, es decir, las diferentes fases que puede tomar la portadora, están determinadas por dos bits, por lo que cada dos bits generan un símbolo, como las combinaciones posibles de dos bits son cuatro, se generarán cuatro símbolos posibles.

Este esquema de modulación es de amplitud constante (la información va incluida en la fase) y presenta un alto grado de robustez frente a interferencias y ruido.

Hay dos formas diferentes de representar la modulación QPSK:

- La **constelación** muestra las relaciones entre los diferentes estados de amplitud y fase (símbolos de las señales moduladas en I/Q, es decir, en fase y cuadratura).

Esta representación, que no es más que la generación de un mapa de códigos sobre un plano cartesiano, se conoce como *código Gray*.

Existe una representación denominada representación fasorial (es decir, vectorial), que no es más que la representación en el tiempo de las diferentes fases. Este tipo de representación nos da una idea de la posibilidad de que se produzca interferencia entre símbolos.

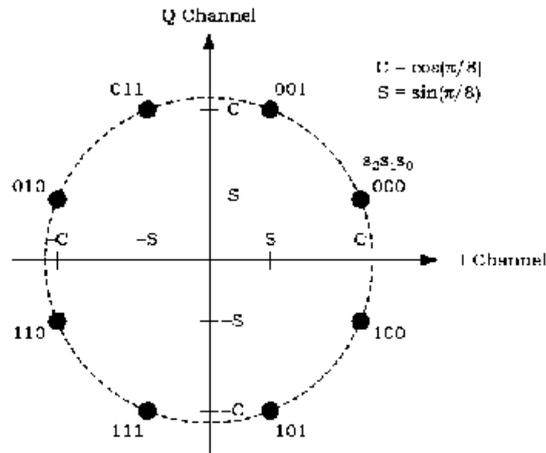


Figura 15: Constelación QPSK

- El **diagrama de ojo** consiste en la representación de todas las transiciones posibles de las señales en fase y cuadratura durante un período de tiempo determinado. Este parámetro se cuantifica con un coeficiente que representa los cambios de amplitud y se expresa en tanto por cien. El 100% representa la transmisión ideal.

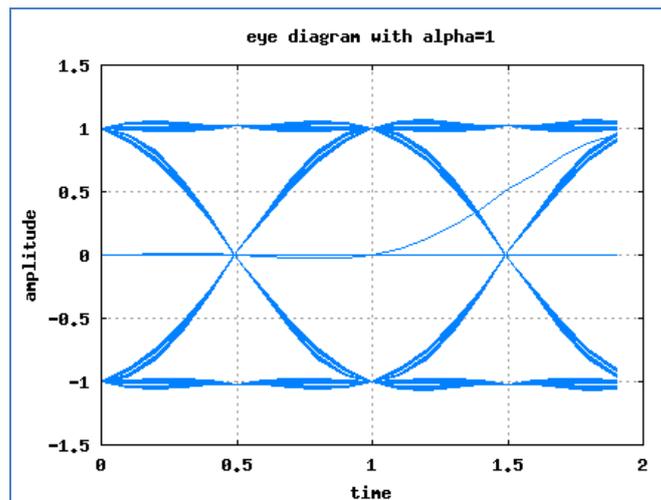


Figura 16: Diagrama de ojo QPSK

3.4.2.3 Modulación QAM

Con el fin de aumentar la eficacia espectral del proceso de modulación, existen diferentes formas de modulación de amplitud en cuadratura (QAM), la cual fue inicialmente desarrollada para transmitir dos señales analógicas sobre una sola portadora. En condiciones dadas de relación señal/ruido, las modulaciones QAM son dos veces más eficaces que las modulaciones simples de amplitud (AM), por ejemplo.

Básicamente, en las modulaciones QAM, los símbolos de entrada al sistema, codificados sobre n bits, se convierten en dos señales I y Q, codificados sobre $n/2$ bits, es decir, $2^{n/2}$ estados, para cada una de las señales I y Q. La señal I se utiliza para modular una salida sin desfase del oscilador local, y la señal Q modula una salida desfasada $\pi/2$ (90 grados) de este mismo oscilador.

Para QAM, al igual que para QPSK, hay dos formas de representar la modulación, y las dos representaciones son las mismas que en el anterior caso.

- La modulación 64 QAM es la elegida como de utilización masiva en las distribuciones de cable. Dicha modulación se genera en un símbolo por cada 6 bits, lo que representan 64 posibles combinaciones amplitud/fase, por lo que en cada cuadrante de la constelación habrá 16 posibles combinaciones. Pues bien, todo ello se puede representar también en una **constelación**, la cual se puede ver a continuación:

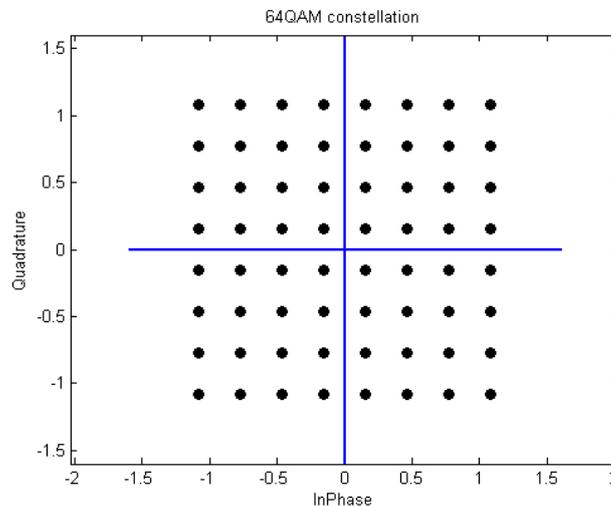


Figura 17: Constelación 64 QAM

- Como se acaba de comentar, el diagrama de constelación de la modulación 64 QAM tiene en cada cuadrante de la constelación 16 posibles combinaciones, por lo que tendremos 8 posibles estados, 4 para Q y 4 para I, respectivamente. Dependiendo del esquema de modulación que se desee (16, 32, 64, 256 QAM), diferente número de bits forman un símbolo (4 para 16 QAM, 5 para 32 QAM, 6 para 64 QAM y 8 para

256 QAM). Se habla incluso de utilizar 1024 QAM. Todo ello es representable en un **diagrama de ojo**:

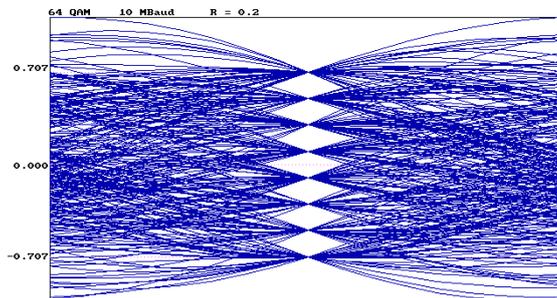


Figura 18: Diagrama de ojo 64 QAM

3.4.2.4 Modulación OFDM

Este tipo de modulación, cuyo principio consiste en repartir un tren binario de alta velocidad entre gran número de portadoras “ortogonales” (es decir, de varios cientos a varios miles) de forma que cada una transporte un pequeño flujo, ha sido adoptado especialmente para la futura radio digital DAB. [Para mayor conocimiento del concepto de radio digital DAB, se recomienda visitar la página web a la que hace referencia www6].

Su principal ventaja es su excelente comportamiento en caso de una recepción de trayectos múltiples, lo que es frecuente durante una recepción terrestre móvil o portátil, el retardo de los trayectos múltiples resulta en este caso muy inferior al período de un símbolo.

El principio de modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) consiste en modular (en QPSK o QAM, dependiendo del compromiso robustez/flujo perseguido) un gran número N de portadoras por símbolos de duración T_s (igual a su período), la frecuencia de dos portadoras consecutivas que distan $1/T_s$.

Sin embargo, en las condiciones de recepción terrestre reales, las señales procedentes de trayectos múltiples que se añaden a la señal directa hacen que las condiciones de ortogonalidad entre portadoras no sean ya respetadas, lo que tiene como consecuencia la presencia de interferencias intersímbolos. La solución a este problema se encuentra en hacer preceder la duración del símbolo T_s por un intervalo de seguridad para obtener un nuevo período de símbolo.

En la recepción, se efectúa una trasposición de frecuencia a partir de un oscilador local de frecuencia, la cual será la frecuencia central de la banda OFDM. De este modo, se obtiene un espectro centrado sobre 0, que se muestrea al doble de la frecuencia máxima. En la práctica, para simplificar el filtrado y evitar cualquier repliegue del espectro durante el muestreo, hay que reducir la banda de paso a un valor inferior a la mitad de la frecuencia de muestreo, lo que conlleva suprimir cierto número de portadoras en los

extremos de la banda. A continuación se realiza una transformada de Fourier rápida, que debe hacerse en un tiempo inferior al período de símbolo T'_s .

Para la televisión digital terrestre, el grupo DVB ha recomendado una modulación OFDM para 8.192 (8 K) o 2.048 (2 K) portadoras. En la siguiente figura (Figura 17) se resumen en una tabla los principales parámetros, para un canal de 8 MHz:

Parámetro	Modo 8 K	Modo 2 K
Número de portadoras	6818	1706
Duración del símbolo (T_s)	896 μ s	224 μ s
Intervalo de seguridad	$T_s/4$, $T_s/8$ o $T_s/32$	$T_s/4$, $T_s/8$ o $T_s/32$
Espaciado de las portadoras	1.116 Hz	4.464 Hz
Diferencia entre portadoras extremas	7,61 MHz	7,62 MHz
Modulación de las portadoras	QPSK, 16-QAM o 64-QAM	QPSK, 16-QAM o 64-QAM

Figura 19: Tabla-resumen aspectos modulación OFDM.

Para ayudar a que el receptor pueda encontrar la señal e informarle de los parámetros de modulación y de codificación de canal, el múltiplex OFDM incluye portadoras piloto continuas (*continual pilot carriers*) que transportan la información TPS (*Transmission Parameter Signalling*), así como portadoras “dispersas” (*scattered pilot carriers*) transmitidas al doble de la potencia nominal y moduladas por una secuencia de referencia.

La norma DVB-T prevé también la posibilidad de codificación jerárquica por medio de una modulación QAM no uniforme, caracterizada por una mayor distancia entre los estados adyacentes situados en cuadrantes diferentes que entre los estados que pertenecen al mismo cuadrante. Esto permite la difusión simultánea de una *bitstream* prioritaria modulando los bits de menor peso, de forma que se requiera una demodulación QAM menos sólida. De esta forma se puede difundir por el mismo canal programas que pueden ser recibidos en diferentes condiciones de recepción, o un mismo programa con características de resolución distintas, dependiendo de las condiciones de recepción.

En modo 8 K, el largo período del símbolo (896 μ s), utilizado con el intervalo de seguridad máximo (224 μ s), posibilita una recepción satisfactoria incluso en presencia de ecos muy largos, lo que permite una buena recepción móvil así como la creación de redes de cobertura nacional por un solo canal, con emisores alejados varias decenas de kilómetros entre sí (SFN, *Single Frequency Network*) (Sobre este tema se profundizará más adelante en el proyecto).

El modo 2 K es más sencillo de realizar a nivel del receptor, pero esta simplificación se paga con una sensible reducción en la resistencia a los ecos prolongados, lo que hace que este modo esté peor adaptado a las redes de amplia cobertura por canal único así como para la recepción móvil.

Capítulo 4: ASPECTOS DE LA PLANIFICACIÓN, DIFUSIÓN Y MEDICIÓN DE LA SEÑAL DE TDT

4.1 INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar con la planificación del centro emisor que nos atañe, habría que definir ciertos aspectos técnicos de la TDT y de la planificación de esta, aparte de todo lo contado en el apartado anterior de la televisión digital.

En este apartado se introducirá al lector en conceptos más concretos de la transmisión, y sobre todo de la medición de la señal de televisión, los cuales nos serán necesarios para la planificación de nuestro centro emisor.

En la transmisión, la gama de agresiones que puede sufrir una señal digital es muy amplia, ocurriendo a diferentes niveles de la transmisión, básicamente en el transmisor, en el soporte de la transmisión y en el receptor.

Por un lado, si el soporte es vía satélite, la gran atenuación de la señal debida a la propagación en espacio libre (205 dB en los 36.000 km que separan el satélite de la Tierra), deja a dicha señal a la merced de los ruidos radioeléctricos generados por numerosas fuentes, propiciando errores entre los bits de la señal digital. Estas fuentes son el sol (sobre todo cuando está alineado con el satélite y la antena), el cosmos, la atmósfera, la meteorología (lluvia, nieve, polvo en suspensión, tormentas, etc.) y el propio receptor que además puede introducir distorsiones en la señal.

Por otra parte, si la transmisión es vía terrestre, los ruidos que degradan la señal provienen de, por ejemplo, tendidos de alta tensión, motores eléctricos, y otras emisiones radioeléctricas. Además, se producen reflexiones de la señal en obstáculos (edificios, colinas, etc.) que provocan interferencias y por consiguiente degradación de los bits.

Finalmente, si la señal es transportada por cable, siendo esta la vía más protegida de todas, puede sufrir interferencias provenientes de desadaptaciones de impedancias en la red de cables. También, los preamplificadores de línea, que por razones económicas, funcionan casi en la saturación, pueden distorsionar e intermodular la señal.

En el emisor, es el modulador el mayor perturbador de la señal a causa de que puede distorsionar en amplitud y en fase las modulaciones, si la supresión de las portadoras de dichas modulaciones es insuficiente o no están correctamente en cuadratura. El modulador también puede introducir ruido, en especial ruido de fase.

Por tanto, la señal en banda base digital, que es la denominada trama de transporte, y a diferencia de la señal analógica de vídeo compuesta, necesita de nuevos parámetros para medir su calidad. En la señal analógica son los parámetros de vídeo (ganancia diferencial, fase diferencial, retardo de grupo, etc.) los que nos permiten valorar su calidad.

4.2 DIFUSIÓN DE LA TDT

4.2.1 REDES DE DIFUSIÓN

Una vez generada la señal de televisión digital, será necesario pasar la señal a la banda de trabajo UHF asignada y elevarla al nivel de potencia deseado. Para ello, es necesario añadir una etapa de Radiofrecuencia (RF) que realiza estas dos funciones. Esta etapa de amplificación se conectaría directamente a la antena que difunde la señal. Existen dos tipos de redes de difusión DVB-T:

- **Redes MFN** (*Multi Frequency Network*). Se cambian las frecuencias entre áreas adyacentes para evitar interferencias. Los transmisores emiten programas (iguales o diferentes) en frecuencias diferentes. Para cubrir una zona extensa se necesitan varios canales. El número de canales necesarios en sistemas MFN es semejante al de redes analógicas.
- **Redes SFN** (*Single Frequency Network*). Diversos transmisores se modulan de forma síncrona con la misma señal (múltiple TS) y en la misma frecuencia. El sincronismo impone limitaciones en la distribución de la señal a los diferentes transmisores. Si un receptor recibe señales de diferentes transmisores con diferencias de retardo inferiores al intervalo de guarda (parámetro del cual se hablará mas adelante) no se producen fenómenos de autointerferencia.

Las redes SFN pueden ser de cualquiera de los cuatro tipos siguientes:

- SFN de gran cobertura: Muchos emisores de alta potencia muy espaciados, referido a emisiones SFN entre sí.
- SFN Regional: Pocos emisores de alta potencia muy espaciados.
- Red MFN con redes locales SFN alrededor de cada emisor. Los transmisores SFN son de media potencia y separación media.
- SFN de relleno (gap-fillers): Baja potencia para rellenar pequeños huecos carentes de cobertura.

Debido a la longitud del intervalo de guarda, el modo 8K vale para todas las SFN. El modo 2K tiene limitaciones excepto en SFN gap-fillers. El modo 8K ha sido escogido en toda Europa, excepto el Reino Unido.

En SFN, es requisito encontrar un canal libre y no interferente en todo el país, en el caso de ser necesaria la cobertura nacional. Suele implicar que los canales se sitúen en zonas UHF de alta frecuencia: canales **66, 67, 68, 69**. El ahorro de espectro por utilizar un único canal para la cobertura de una zona grande hace que muchos países, entre ellos España, opten por la red SFN.

4.2.2 SINCRONIZACIÓN SFN

Para que un receptor funcione en un entorno SFN en el que puede recibir señales de diversos transmisores, es necesario que las señales de los diferentes transmisores estén sincronizadas, de forma que las señales se reciban con diferencias de retardo inferiores al intervalo de guarda para no producir fenómenos de auto-interferencia. Las siguientes sincronizaciones son necesarias entre los diferentes emisores de una red SFN:

- Sincronización de Bit: la portadora K tiene que ser modulada exactamente por los mismos bits en cada estación. La tolerancia a fallo de este sincronismo es cero.
- Sincronización de Frecuencia: La precisión de frecuencia está ligada a la separación entre portadoras. La frecuencia de la subportadora K de todos los transmisores debe tener un valor $f_k \pm \Delta f$ (siendo $\Delta f \ll 1/100$ de la separación entre dos subportadoras adyacentes).
- Sincronización en el Tiempo: Los transmisores deben emitir el mismo símbolo al mismo tiempo, con independencia de la red de distribución empleada. La tolerancia escogida es de $\pm 1 \mu s$. A veces se introducen time-offsets deliberadamente en algunas estaciones.
- Sincronización de la dispersión de energía (*scrambling*): Los datos del MPEG-2 siempre se aleatorizan a la entrada del modulador DVB-T. Se hace sumándolos a una señal PRBS (*Pseudorandom Binary Sequence*) estandarizada que se resetea cada 8 paquetes de MPEG-2. El mecanismo es determinístico y todos los emisores deben activar la misma aleatorización sobre los mismos bits de entrada.

Se puede conseguir sincronización de todos los emisores remotos utilizando referencias GPS (10 MHz y 1 pulso por segundo) junto con módulos denominados adaptadores SFN, en ambos extremos de la red de distribución.

A continuación se adjunta diagrama de bloques (*Figura 17*) que muestra la estructura más común de una red de distribución SFN:

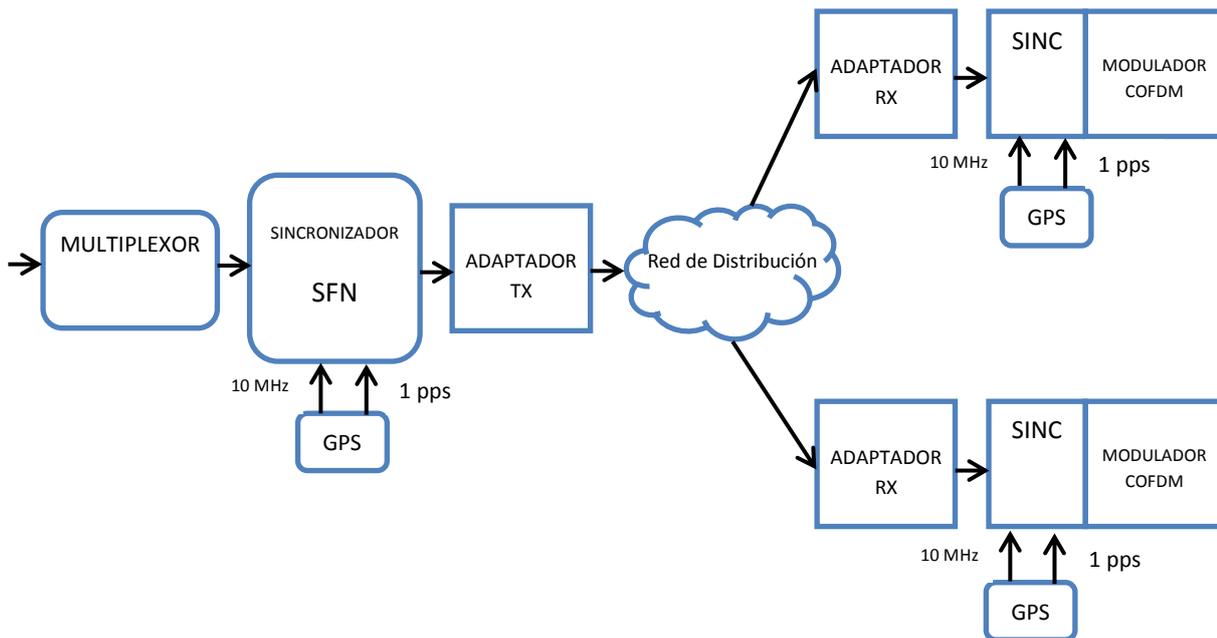


Figura 20: Estructura típica de una red SFN

4.2.3 SEÑAL ASI

La señal ASI (Asynchronous Serial Interface) es un formato de transmisión de datos, el cual transporta normalmente señales en codificación MPEG.

La señal ASI puede transportar uno o varios programas SD, HD o de audio que van comprimidos, en diferentes velocidades de transmisión, y es completamente dependiente de las necesidades del uso que se le vaya a dar. Generalmente, la señal ASI es el producto final de realizar una compresión de vídeo, bien sea con MPEG2 o MPEG4, preparado para su transmisión a través del transmisor o sistema correspondiente.

Existen dos formatos ASI de transmisión más comunes: el de 188 bytes y el de 204 bytes. El formato de 188 bytes es el más común en señales ASI.

4.2.4 CENTROS DE EMISIÓN. TRANSMISORES

En lo que a centros emisores respecta, cabe diferenciar dos configuraciones posibles: **transmisores** o emisores; y **gap-fillers** o **reemisores**.

En primer lugar, habría que recordar que las frecuencias de emisión de la señal TDT pertenecen a las bandas VHF y UHF. En concreto en España sólo se utiliza la banda 470-862 MHz, con espaciado de canales de 8 MHz. Espaciados de 6 ó 7 MHz son posibles escalando los parámetros del sistema, pero no son para nada habituales.

La señal de salida de un transmisor TDT está formada por miles de subportadoras de banda estrecha, con comportamiento semejante al de un ruido gaussiano. El espectro de salida es la suma de los espectros de todas las subportadoras. En la forma del espectro interviene el hecho de que, debido a la inserción del intervalo de guarda, la duración T_s del símbolo es mayor que el inverso de la separación entre las portadoras, por lo que el lóbulo principal de cada subportadora es más estrecho que el doble de la separación entre ellas, dando lugar a una densidad espectral no constante dentro del ancho de banda nominal.

Si se observa el espectro de salida con un analizador de espectros de alta resolución, será posible identificar las distintas subportadoras que componen una señal DVB-T. Más concretamente, las subportadoras piloto (continuas, dispersas o TPS) sobresaldrán sobre las subportadoras de datos debido a la dispersión espectral que sufren estas últimas por el hecho de estar moduladas por señales pseudoaleatorias.

Las subportadoras de mayor nivel son los pilotos continuos seguidos de los pilotos dispersos y de los pilotos TPS. Las portadoras más densas pero de menor nivel relativo son las de datos de carga útil. Sin embargo, no todos los pilotos continuos se muestran como portadoras espectrales puras, pues algunos muestran una cierta modulación de fase debido a la inserción del tiempo de guarda. Además los pilotos dispersos están continuamente cambiando su posición, por lo que su espectro se superpone en el tiempo con el de subportadoras de datos, viéndose además ambos espectros afectados por el intervalo de guarda.

En una señal de este tipo se producen picos de muy alta potencia, aunque en porcentajes limitados en el tiempo. Los amplificadores limitan los picos de potencia y generan productos de intermodulación que, además de una degeneración intrínseca en la propia señal OFDM, extienden el espectro transmitido en canales adyacentes dando lugar a las llamadas hombreras o *shoulders*.

Es, por tanto, necesario utilizar amplificadores con un grado de linealidad elevado y que empleen pre-correctores sobre la señal OFDM para limitar las hombreras. A la salida del amplificador se añade un filtrado adicional para evitar efectos indeseados.

La relación entre el nivel de señal en el centro de un canal cualquiera, y a ± 4.25 MHz debería ser de 50 dB en condiciones críticas y superior a 36 dB en condiciones normales.

4.2.5 CENTROS DE EMISIÓN. REEMISORES

La antena emisora es la que consigue la cobertura deseada, y es en caso de no garantizarse la cobertura deseada cuando se deben instalar nuevos emplazamientos **reemisores**.

En general, la potencia de salida viene limitada por la Administración, incluyendo también la ganancia de la antena (PRA). Es normal, para reducir costes, compartir

emplazamientos ya utilizados por emisiones analógicas obsoletas. Esto, junto con el uso de canales adyacentes, facilita la recepción desde las antenas residenciales actuales.

La señal DVB-T puede generarse en un solo emisor principal o en varios emisores, a los que llega la señal procedente del múltiple a través de la red de distribución. En el caso de varios emisores, se deben instalar moduladores que deben estar sincronizados según la normativa vigente de DVB-SFN.

Otra opción para cubrir zonas de orografía complicada, como pueden ser valles estrechos, es la utilización de reemisores tipo gap-filler. En una zona con cobertura se capta señal con una antena directiva, después de filtrar dicha señal, se amplifica y se reemite hacia la zona sin cobertura. Las dos antenas del gap-filler deben estar lo suficientemente desacopladas entre sí para evitar fenómenos de oscilación en el amplificador.

Se emplean dos tipos de gap-fillers:

- Gap-fillers profesionales. El aislamiento entre antenas depende de la altura de la torre donde se instale el repetidor, de la posición de las antenas, de los diagramas de las antenas, de la posición de la zona sin cobertura, de los rebotes en el entorno del repetidor,... Aislamientos de 80 dBs son posibles con una correcta planificación.
- Gap-fillers residenciales. Se trata de una retransmisión vía aire de la señal recibida en la antena para permitir recepción portátil en interiores. La regulación limita la potencia a utilizar. Debe prestarse atención a las emisiones radioeléctricas.

4.3 EQUIPAMIENTO

Desde la concepción hasta la puesta en marcha de cualquier red de difusión de TDT, se realizarán una serie de tareas que ayudarán a que dicha red cumpla con los parámetros de cobertura y de calidad de servicio deseados. Dichas tareas serán:

- Especificaciones de la red.
- Dimensionado y definición de equipamiento.
- Planificación.
- Generación del proyecto técnico.
- Cálculo de emisiones radioeléctricas.
- Despliegue de red.
- Certificación y puesta en servicio.
- Aceptación de las estaciones.

Respecto al equipamiento, debe recordarse que la gran mayoría de redes TDT a instalar serán del tipo SFN, puesto que incluso las redes que son de tipo MFN a nivel

nacional o autonómico se compondrán de secciones de red SFN en su nivel inferior (nivel autonómico o nivel provincial, comarcal o local).

4.3.1 EQUIPAMIENTO EN REDES SFN

Las redes SFN regionales y/o nacionales utilizan los equipos básicos de una red TDT, que son los equipos de codificación de audio y vídeo, los equipos de multiplexado, los equipos moduladores DVB-T y los equipos de up-converter (los cuales trasladan la señal modulada a la banda de UHF) y amplificadores de potencia.

Cuando existan diversos emplazamientos de emisión, se deben utilizar también equipos que permitan la sincronización de los diversos transmisores DVB-T.

En una red compleja también se utilizarán equipos de transporte en la red de recogida y en la red de distribución de señal, y en función de las características de dichos medios de transmisión, se usarán equipos adaptadores a la red de transporte.

Finalmente, si la cobertura deseada no se consigue con los emisores mencionados, es posible la utilización de los ya nombrados gap-fillers, para cubrir demarcaciones más remotas.

Las redes SFN locales son redes más sencillas y, por lo general, no usarán todos los dispositivos mencionados. Se distinguen los dos siguientes casos:

- Redes con varios emisores de alta potencia. Son redes donde se necesita sincronización SFN, pero el número de puntos a sincronizar es muy inferior al de una red SFN provincial.
- Redes con un único emisor principal. No necesitan sincronización SFN y suelen usar gap-fillers para incrementar la cobertura.

La disponibilidad de equipos comerciales para conformar redes TDT de tipo SFN es muy elevada. La organización DVB incluye en su página web [www8] un buscador de equipos que cumplen con la normativa especificada en sus estándares.

4.3.2 EQUIPOS DE CODIFICACIÓN. MÚLTIPLEX DE PROGRAMA

Los equipos de codificación son los encargados de convertir las señales analógicas de audio y vídeo en señales de tipo digital, comprimidas según la normativa MPEG. Asimismo, realiza el multiplexado en el tiempo de todos los componentes de un programa de TV, generando una señal de salida digital que incluye la información de vídeo, de audio y de datos. Una señal de salida de este tipo se suele denominar SPTS (*Single Program Transport Signal*).

Por lo general, estos equipos codificadores también admiten señales de entrada de audio y vídeo digitales tipo SDI (*Serial Digital Interface*), para ser comprimidas según normativa MPEG.

Algunos equipos codificadores admiten entradas de varios programas digitales de TV y generan una señal de salida con el múltiplex en el tiempo de dichas señales, formando un múltiplex de transporte. En este caso, la señal de salida se denomina MPTS (*Multiple Program Transport Signal*).

El formato de la señal de salida típico de un codificador MPEG es del tipo ASI (*Asynchronous Serial Interface*), aunque es normal que también ofrezcan salidas en formatos normalizados según recomendación (2 Mbps, 8 Mbps, 34 Mbps,...) que son más adecuados para ser transmitidos por medios de transporte estándar (tipo radioenlace o fibra óptica).

Los equipos codificadores normalmente se ubican en cada uno de los estudios técnicos existentes, de los diversos proveedores de servicios, y se conectarán a la red de recogida que lleva el flujo DVB al multiplexor común del múltiplex digital. También es posible, aunque poco frecuente, que todos los codificadores digitales estén situados en un emplazamiento común junto al multiplexor de transporte, y en dicho caso la red de recogida transportaría señales sin codificar y sería una red de transporte de tipo analógico.

Las siguientes características típicas han sido obtenidas de catálogo de un equipo adecuado para la codificación MPEG-2 de una señal SDTV.

- Varias entradas para vídeo analógico y para vídeo digital (señal SDI de Audio/Vídeo).
- Varias entradas para audio analógico y para audio digital (embebido en señal SDI).
- Diversas opciones para entrada de datos (síncronos y asíncronos).
- Vídeo compresión 4:2:0 MPEG-2 desde 0,25 a 8 Mbps.
- Codificación de audio MPEG-1 Layer 2.
- VBR (Variable Bit-Rate) / CBR (Constant Bit-Rate).
- Generación y gestión de tablas PSI/SI.
- Modos de transmisión 4:3 y 16:9.
- Dos salidas de señal multiplexada en formato ASI (conector BNC).
- Otras opciones para señal de salida...
- Facilidades de control local y remoto.

Aunque el equipo codificador presentado es capaz de multiplexar señales de diferentes programas digitales de TV (MPTS), su capacidad de salida máxima no le hace adecuado para ser el múltiplex de transporte de una red DVB-T.

4.3.3 EQUIPOS DE MULTIPLEXACIÓN

El multiplexor es el equipo encargado de multiplexar en el tiempo las señales digitales procedentes de los codificadores MPEG de los distintos programas de TV. Este equipo recibe los flujos digitales DVB enviados desde los estudios de producción y los debe multiplexar en un solo flujo DVB, que será enviado a la torre de difusión correspondiente. Es conveniente que el multiplexor tenga capacidad de re-multiplexado y multiplexado estadístico; la capacidad de re-multiplexado permite modificar las tablas de sistema en caso de combinar programas de ámbito nacional (o autonómico) con programas de ámbito autonómico (o provincial, local,...).

En el multiplexor se deben realizar, además, otras funciones adicionales, en el caso en el que sea necesario. Por ejemplo, añadir información de control y de servicio necesaria para el correcto funcionamiento del sistema global. La conexión de los aparatos de gestión de red, de inyección de carrusel MHP, de inserción de guía EPG o de cifrado, para ofrecer programas con acceso condicional, también se suele realizar en este punto.

La salida del multiplexor se conectará a la red de distribución, que lleva el flujo digital MPEG a los moduladores DVB-T cercanos a las torres de difusión.

Las siguientes características pertenecen al catálogo de un equipo estándar para la multiplexación MPEG-2 de varias señales de SDTV:

- 10 entradas MPTS-SPTS DVB ASI (conector BNC).
- 3 salidas de múltiple DVB ASI (conector BNC).
- Capacidad de "bit-rate transcoder" para cambio de calidad de la señal de entrada.
- Bit-rate de salida > 100 Mbit/s.
- Salidas adecuadas para redes de distribución G703 (E2, E3,...).
- Salida TCP-IP para *streaming* sobre redes IP.
- Multiplexado estadístico (*Statistical Multiplexing*).
- Re-multiplexador.
- Generación y gestión de tablas PSI/SI.
- Inyección de carrusel MHP (alta flexibilidad).
- Compatibilidad "*simulcrypt*" para uso de servidores de acceso condicional diferentes.
- Facilidades de control local y remoto.

4.3.4 EQUIPOS PARA LA SINCRONIZACIÓN DE REDES SFN

En el caso de que el múltiple de transporte y el modulador DVB-T no estén co-ubicados, es necesario añadir el transporte de la señal desde el multiplexor hasta la torre (o torres) de difusión. Al igual que la red de recogida, esta red de distribución puede ser propia o alquilada a terceros. En función de la red de transporte utilizada, se deben considerar distintas opciones del sincronismo:

- El primer sincronismo necesario es el de capacidad de transmisión. Es necesario que el bit-rate de salida del multiplexor esté sincronizado con el bit-rate transmitido por el modo de modulación DVB-T COFDM elegido.
- En caso de modulador COFDM y multiplexor MPEG-2 colocados (COFDM centralizada), el reloj master es el del modulador COFDM. En caso de modulador COFDM y multiplexor MPEG-2 distantes, existen tres posibilidades:
 - El modulador COFDM tiene un re-multiplexor que añade paquetes nulos para adecuar ambos bit-rates, El bit-rate del multiplexor tiene que ser inferior a la capacidad de transmisión del modulador. Al cambiar el bit-rate de la señal se debe recolocar la señal PCR de cada servicio. Si el modulador es parte de una SFN, el “relleno de paquetes” y re-temporización tiene que ser único en todos los moduladores.
 - El múltiple es el máster. En este caso, el modulador tiene un gran *buffer* y su velocidad de salida se engancha a la señal de entrada.
 - Multiplexor y modulador se enganchan a un reloj (señal CK) externo que puede ser la referencia de 10 MHz del GPS (u otras referencias externas).

Si existen varios moduladores COFDM situados en lugares diferentes (red SFN con varios emisores principales), es además necesario sincronizar los diversos moduladores para que emitan exactamente la misma señal al mismo tiempo. Es necesario que cada subportadora individual de los distintos moduladores emita exactamente los mismos bits que sus correspondientes en las otras localizaciones (sincronización de bit), usando la misma frecuencia (sincronización de frecuencia) y al mismo tiempo (sincronización de tiempo). Además, todos los moduladores deben tener también sincronizado el comienzo de la aleatorización de la señal digital (utilizada para la dispersión de energía) y usar la misma palabra de aleatorización.

De esta forma, un receptor doméstico recibiría una señal principal, procedente de su emisor más cercano, y señales eco con las mismas características que la señal principal, contra las cuales el sistema DVB-T está protegido.

Una trama DVB-T se compone de 68 símbolos COFDM. Una “supertrama” está formada por 4 tramas. En las redes SFN, para garantizar sincronismo en el mecanismo de dispersión de energía, se ha definido el concepto de “megatrama”.

El bloque ‘adaptador SFN’ es el encargado de formar las megatramas, que consisten en n paquetes MPEG TS (8 tramas COFDM en modo 8K y 32 en modo 2K) más la inserción de un paquete de inicialización de megatrama denominado MIP. El MIP de la megatrama M ayuda a identificar el comienzo de la megatrama $M+1$.

MIP lleva marcas de tiempo (*Synchronization Time Stamps*), que indican la diferencia de tiempo entre el último impulso de la referencia de un impulso por segundo del GPS y el primer bit de comienzo de la megatrama M+1.

Las siguientes características típicas pertenecen a un equipo adecuado para adaptar la salida de un multiplexor de transporte a una red SFN con varios transmisores:

- Inserción de MIP según estándar TS 101 191.
- Operación jerárquica y no jerárquica.
- Facilidades de control local y remoto (SNMP).
- Compatible con transmisores DVB-T (5, 6, 7, 8 MHz).
- Opciones para señal de entrada: ASI, DVB sobre G-703 ó DVB sobre IP.
- Salidas: ASI+MIP, DVB sobre G-703, DVB sobre IP.
- Entrada de sincronismo según SFN TS101191.
- 10 MHz – 100 mV a 3 Vpp – BNC (compatible con GPS).
- 1 PPS – 0/5V positive transition – BNC (compatible con GPS).
- Receptor GPS interno o externo (10 MHz, 1 PPS).
- Precisión de retardo SFN $< \pm 100$ ns.

Si el equipo no incluye un receptor GPS interno, es necesario incluir un receptor GPS externo que proporcione las señales de sincronismo de 10 MHz y de 1 PPS (1 Pulso por Segundo).

En el otro extremo de la red de distribución se instalará un sistema recuperador de sincronismo previo a los moduladores DVB-T, que debe compensar los tiempos de propagación por la red. Añade un retardo adicional que se calcula comparando la marca de tiempo (STS) con su referencia de tiempo local GPS.

4.3.5 MODULADOR COFDM

El siguiente elemento, una vez transportada la señal a través de la red de distribución, es el modulador COFDM. Este equipo toma el flujo digital DVB-ASI y lo adapta según el estándar de DVB-T para ser difundido a través del interfaz radio. Este modulador tiene además una señal de entrada opcional (SFN opt in), que se usa en las redes SFN en las cuales existe más de un modulador DVB-T. En caso de una red de TDT Local con un solo modulador principal y varios reemisores de tipo gap-filler, no es necesario usar dichas técnicas de sincronización especial.

El modulador COFDM tiene las siguientes características típicas:

- Modulación COFDM > 31.4 Mbps.
- 2 Entradas ASI MPTS/SPTS (BNC) para permitir operación jerárquica o conmutación automática.
- Constelaciones: QPSK, 16-QAM, 64-QAM.
- Soporte de operación SFN (extracción de MIP del ASI TS).

- Capacidad de re-multiplexor (añade paquetes nulos) para adecuar los bit-rates entre modulador y multiplexor hasta 45 Mbps.
- Codificación convolucional: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8.
- Modos IFFT: 2K / 4K / 8K.
- Intervalos de guarda: 1/4, 1/8, 1/16, 1/32.
- Anchura de banda: 5, 6, 7, 8 MHz (seleccionable).
- Salida IF de 36.15 MHz con nivel ajustable entre +4 y -10 dBm.
- Armónicos y espurias < -65 dB.
- Calidad MER > 47.5 dB.
- Control local y remoto.
- Salida RF en banda UHF (opcional).

Lo lógico es utilizar moduladores preparados para soportar la transmisión en corto plazo de señales de TV digital terrestre para dispositivos móviles portátiles (DVB-H), ya que de esta manera se logra, a la larga, un ahorro de costes.

4.3.6 AMPLIFICACIÓN DE POTENCIA

Finalmente, será necesario pasar la señal de salida del modulador, típicamente en baja frecuencia, a la banda de paso UHF asignada y elevarla al nivel de potencia deseado. Para ello, es necesario añadir una etapa de Radiofrecuencia (RF) que realiza ambas funciones. Las señales DVB-T que utilizan modulaciones multinivel (64-QAM) tienen requisitos de linealidad más restrictivos y requieren de etapas de mayor coste. La salida del amplificador de radiofrecuencia se conectaría directamente a la antena que difunde la señal DVB-T.

Los amplificadores de potencia tienen las siguientes características típicas:

- Consumo: 960W, 150 Wrms DVB-T, 650 MHz.
- Voltaje: 110/220 VAC – 50/60 Hz.
- Ganancia > 58 dB.
- Pérdidas de retorno entrada aprox. -20 dB.
- Pérdidas de retorno salida aprox. -22 dB.
- Potencia de salida 150 Watts RMS DVB-T.

Como se ha mencionado, los equipos amplificadores de señal COFDM deben poseer características de linealidad elevadas para evitar distorsión espectral durante los momentos en que se emite la potencia de pico. Cuando es necesaria la transmisión de altas potencias, suelen acoplarse las salidas de diferentes módulos amplificadores de potencia más baja.

En general, la potencia de salida de un amplificador TDT viene limitada por la Administración. Lo normal es que dicho límite incluya también la ganancia de antena emisora (Potencia Radiada Aparente, PRA, limitada).

4.3.7 ELEMENTOS RADIANTES

La antena emisora es la que consigue la cobertura deseada. Combinando paneles en horizontal y en altura, se obtienen diagramas directivos de acuerdo con las necesidades del proyecto.

Es normal el uso de emplazamientos ya utilizados por emisiones analógicas. En el caso de usar una antena de transmisión común con la TV analógica hay dos opciones para combinar ambas señales:

- Opción A. Combinador R, para transmisión de alta potencia.
- Opción B. Amplificador Multicanal, transmisores secundarios. Para completar la cobertura de los transmisores principales. Combina los canales digitales y analógicos antes de la amplificación.

En caso de usarse una nueva antena para transmitir la señal TDT, no se necesita combinador de alta potencia. En este caso, las áreas de cobertura serán diferentes y debe considerarse que el coste de la nueva antena puede ser alto.

Si no se garantizase la cobertura desde un solo punto de emisión, se deben instalar nuevos emplazamientos emisores. Si en una red SFN se instalasen moduladores DVB-T en distintos emplazamientos, deben estar sincronizados según la normativa.

Otra opción para cubrir zonas de orografía complicada, es la utilización de los ya nombrados gap-fillers. En una zona con cobertura se capta señal con una antena directiva, después de filtrar dicha señal, se amplifica y se reemite hacia la zona sin cobertura.

A continuación se muestran algunos ejemplos de elementos y sistemas radiantes:

○ Los **paneles UHF** son elementos rectangulares que se sitúan en las antenas del centro emisor, y son los que emiten o radian la señal de televisión digital. Se utiliza el mismo o los mismos para cada cadena multiplexora, y dependerá del objetivo de cobertura la cantidad, orientación (azimut) e inclinación con la que se va a configurar el conjunto de paneles. La cantidad de paneles que se utilicen influirá a la hora de distribuir la potencia con la que emiten los equipos del centro emisor, ya que dos paneles harían que la potencia radiada en cada panel fuese la mitad ($1/2$) que si se emitiese con la misma potencia pero por un solo panel; lo que es lo mismo, se disminuirían 3 dB el nivel de señal, y así sucesivamente, según el número de paneles. En cuanto al azimut, dependerá del objetivo a cubrir, y es una cantidad numérica en grados (de 0° a 360°) respecto a la antena sobre la que se sitúe. Finalmente, la inclinación es la cantidad de grados que se inclina el panel respecto al eje horizontal, situado en 0° , para poder obtener una mejor directividad o simplemente, para llegar mejor a nuestro objetivo de cobertura.



Figura 21: Ejemplos de paneles UHF de difusión de TDT.

○ Las **antenas Yagi** son unas antenas directivas, constituidas por un elemento alimentado conectado al receptor formado por un dipolo simple o por un dipolo doblado. Además de este elemento, suelen tener uno o varios elementos aislados. En el caso de los sistemas radiantes de TDT, sirven para recepcionar señales de otros centros emisores cuando el propio centro es un gap-filler.



Figura 22: Ejemplos de antenas Yagi

○ Las **antenas** parabólicas de **recepción satélite** son reflectores parabólicos que pueden servir tanto como antenas transmisoras como antenas receptoras. Sin embargo, en el caso de la televisión digital, son las antenas más utilizadas para la recepción por satélite de la señal de televisión, captando estas de los satélites geoestacionarios y distribuyendo la señal a través de los paneles UHF.



Figura 23: Ejemplos de antenas parabólicas de recepción satélite.

4.4 PLANIFICACIÓN DE LA DIFUSIÓN

4.4.1 OBTENCIÓN DE COBERTURAS

Ya se conoce la estructura de la señal en cuanto a modo de transmisión, equipamiento, modulaciones, etc. Uno de los pasos siguientes sería determinar el tipo de recepción que se va a utilizar como referencia para el cálculo de la cobertura.

Se pueden diferenciar tres tipos de recepción:

- **Fija.** Utilizando una antena directiva fija situada en el tejado del edificio. Tradicionalmente se toma como referencia una altura de 5 - 10 metros sobre el suelo, en esta configuración.
- **Portátil tipo A.** Receptor portátil con antena incorporada, situado en el exterior, con una altura de 1,5 m. A diferencia del caso anterior, la antena no puede ser muy directiva, o por lo menos no puede tener una directividad muy acusada.
- **Portátil tipo B.** Receptor portátil con antena incorporada, situado en el interior, en habitación en planta baja con ventana a la calle, con una altura de 1,5 m.

Cabe destacar que la configuración de antena fija es la más utilizada, y raras veces se utilizan las otras dos configuraciones a la hora de hacer la planificación o el proyecto de un centro emisor.

Por otro lado, para definir la condición de cobertura, se establecen tres niveles de estudio de las superficies cubiertas:

Ubicación:

- No se considera una ubicación puntual, sino una unidad superficial de extensión 0,5 x 0,5 m. Se entiende que la antena puede moverse en ese espacio para buscar una posición óptima.
- Se considera cubierta si, en esa posición óptima, los valores de C/N y C/I superan los umbrales mínimos para la recepción durante más del 99% del tiempo.

“Área pequeña”:

- Es el segundo nivel y tiene dimensiones similares al píxel de los modelos digitales de terreno. Se fija como referencia una superficie de 100 x 100 metros.
- La cobertura de esta área se califica como “buena” si más del 95% de las ubicaciones están cubiertas. Es “aceptable” si están cubiertas más del 70% de las ubicaciones.
- Estos criterios se traducen en niveles de intensidad de campo que deben garantizarse. Debe tenerse en cuenta que ni las herramientas informáticas, ni los cálculos manuales, darán resultados precisos ni exactos, ya que hay

ciertos parámetros ajenos a dichos métodos, que podrían variar el resultado esperado.

Zona de cobertura de un transmisor o red:

- Es la combinación de todas las áreas pequeñas en que se obtiene un determinado nivel de cobertura.
- Debe especificarse el tipo de recepción y el nivel de cobertura de cada centro.
- En general, la zona de cobertura tendrá diversas discontinuidades.

4.4.2 CÁLCULO DE COBERTURAS MEDIANTE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS

Cabe hacer mención del creciente uso de las herramientas informáticas como ayuda al cálculo de coberturas. En casos muy sencillos podría hacerse cálculos manuales, utilizando mapas topográficos de papel. Sin embargo, cada día más, se tiende al uso de software informático de planificación, ya que presenta diversas ventajas:

- Posibilidad de utilización de mapas digitales de terreno. De este modo, resultan mucho más fáciles el acceso a la información y los cálculos.
- Posibilidad de aplicar modelos de propagación complejos.
- Posibilidad de organizar bases de datos de equipos e instalaciones.
- Cálculos de interferencias múltiples más detallados.
- Y, naturalmente, todas las ventajas conocidas de la informática: gestión, almacenamiento, disponibilidad y tratamiento de la información, etc.

Las dos herramientas software de planificación de coberturas más conocidas podrían ser SIRENET e ICS-Telecom. Ambas incluyen los procedimientos necesarios para la planificación de televisión digital.

En el caso que nos atañe, se va a utilizar la herramienta SIRENET.

SIRENET (SIMulation of RadioElectric NETworks) es una aplicación informática que facilita la planificación y gestión de redes radio. Complementa en un mismo programa un sistema de información geográfica que permite la representación de entidades y simulaciones radioeléctricas sobre cartografía digital, con los algoritmos de cálculo más difundidos y reconocidos a nivel internacional en materia de comunicaciones inalámbricas.

La herramienta se encuentra estructurada en "estudios" que ofrecen distinta funcionalidad. La complejidad de estos estudios pasa desde el simple análisis de la propagación radioeléctrica entre dos puntos, a la asignación automática de frecuencias en una red compuesta por cientos de estaciones base o la comprobación del nivel de interferencia producida en todos los puntos del área cubierta por dicha red.

Es también una herramienta de planificación genérica que permite trabajar con todo tipo de servicios radioeléctricos y tecnologías, siendo una aplicación idónea para el diseño de redes de radiodifusión, servicios móviles, servicio fijo, etc.

Los resultados de los estudios realizados pueden ser almacenados, impresos y exportados a formatos de las aplicaciones más comunes del mercado. El sistema de almacenamiento y estructura en Base de Datos que aporta SIRENET permite la gestión de todos los estudios y elementos radioeléctricos de manera ordenada, permitiendo establecer grupos de estudios, emplazamientos y estaciones asociados a una misma red o tecnología.

4.4.3 FACTORES QUE LIMITAN LA COBERTURA

Se pueden distinguir dos maneras de abordar el cálculo de la cobertura, que son, respectivamente, la que tiene en cuenta la limitación por ruido y aquella en la que limita la interferencia.

Cobertura limitada por ruido:

En este caso, se calcula el nivel mínimo de intensidad de campo en recepción, de manera similar a como se ha explicado.

Conocida la PRA del transmisor, se determina la atenuación compensable, o valor máximo de la pérdida básica.

Tendrán cobertura los puntos (píxeles) para los que, en el trayecto de propagación desde el transmisor, la pérdida básica de propagación no supere ese valor máximo.

A la inversa, conocida la zona que se pretende cubrir, puede calcularse la pérdida básica máxima y a partir de ella la PRA del transmisor.

Cobertura limitada por interferencia:

Se calcula el nivel de las interferencias de manera similar al de la señal deseada, a partir de la PRA del transmisor interferente y la pérdida de propagación.

No hay que olvidar aplicar factores de rechazo que reducen la potencia recibida, bien por directividad de la antena receptora o bien por rechazo de canal adyacente. Estos factores de rechazo se aplican a veces directamente al campo interferente.

En redes SFN hay que discernir entre el caso en el que la interferencia interna no supera el intervalo de guarda (interferencia constructiva, se combinan las señales y se suman en potencia) y las que superan el intervalo de guarda (las interferencias destructivas).

Finalmente se comprueba si se supera el valor mínimo de C/I.

Se recomienda también evaluar las interferencias especialmente altas que se dan en porcentajes de tiempo del 1-10%, para garantizar el servicio el 90-99% restante.

La evaluación detallada de la interferencia, tanto la procedente de la misma red SFN, como la que se origina en otras redes que utilizan la misma frecuencia, es un problema complejo que requiere del empleo de herramientas informáticas especializadas. Este estudio es imprescindible en el análisis de las grandes redes de ámbito muy extenso.

Sin embargo, en las redes de ámbito reducido (como son las de ámbito local e incluso la mayoría de las provinciales) este estudio puede en primera instancia obviarse, por dos motivos: eligiendo bien el intervalo de guarda la interferencia interna de la red puede eliminarse completamente, ya que las distancias entre transmisores no son muy grandes. Por otra parte la interferencia externa ha sido previamente analizada por la Administración, en el proceso de asignación de frecuencias, y para controlarla se han fijado limitaciones en la PRA y altura de los potenciales interferentes.

4.4.4 POTENCIAS

Los centros emisores pueden variar la potencia, dependiendo básicamente de los objetivos de cobertura que se pretende tener. Aunque lo más común son los centros de baja potencia (1 ó 2 W), podemos encontrar la siguiente clasificación, aproximada según la potencia con la que emiten los equipos:

- Centros de baja potencia: Entre 1 y 5 W. Son los centros pequeños, cuyo objetivo de cobertura suele ser la población más próxima únicamente, o la población más próxima y alguna más de alrededor. El equipamiento que radia a esta potencia suele ser denominado equipos **micro**.

- Centros de mediana potencia: Entre 10 y 100 W. Los centros ya son de un tamaño considerable, y tienen un objetivo de cobertura mayor, ya que suelen cubrir unas cuantas poblaciones, no sólo la más próxima, y pueden servir además de centro donante para otros centros de baja potencia en configuración gap-filler.

- Centros de alta potencia: De 200 W a 1000 W. Son muy pocos centros en España los que tienen un equipamiento de esta envergadura, ya que sus objetivos de cobertura son de muchos kilómetros, llegando a cubrir, por ejemplo, una gran ciudad y todas las que le rodean, además de servir en casi todas las ocasiones de centro donante para otros gap-fillers de baja potencia.

4.5 PARÁMETROS DE MEDIDA DE CALIDAD

4.5.1 BER

En la televisión digital el parámetro que mide la calidad de la trama de trama de transporte es el BER, lo que es lo mismo, la Tasa de Error Binaria (Bit Error Rate). Es el parámetro fundamental que nos concreta la calidad de la señal demodulada (trama de transporte) de los sistemas de televisión digital.

El BER cuantifica el número de errores de bit de una trama, sea cual fuere el origen del error: falta de nivel de señal, C/N pobre, distorsiones, etc. Por tanto, midiendo solo este parámetro y manteniéndolo por debajo de los límites de decodificación correcta, aseguramos la calidad de la señal recibida.

Los esquemas de codificación y modulación de los servicios de televisión indican que las protecciones contra errores se encadenan en función del medio de transmisión al que está destinada. Es obvio que en el proceso de demodulación, en función del punto donde se mida este parámetro, se obtendrían valores distintos.

Los valores mínimos para asegurar el perfecto funcionamiento del sistema se definen en los siguientes puntos:

- CBER: Medido a la salida del demodulador.
- VBER: Medido después del decodificador de Viterbi, si lo hay (satélite/terrestre).
- BER: Medido después del decodificador de Reed Solomon.

Y estos valores mínimos para el receptor de satélite y para la recepción terrestre son:

- Después del demodulador de QPSK, COFDM ó QAM: $3 \cdot 10^{-2}$.
- Después del decodificador de Viterbi: $2 \cdot 10^{-4}$.
- Después del decodificador de Reed Solomon: $1 \cdot 10^{-11}$.

Un valor de BER de $1 \cdot 10^{-11}$ quiere decir que se produce un error después de 10^{11} bits, lo que significa aproximadamente un error de 1 bit/hora (para una tasa binaria de 55 Mbps).

La medida se debe realizar antes de los correctores de errores, es decir, después de la demodulación, ya que es en este punto donde, aunque se pase el umbral de corrección del primer corrector, la variación de su valor nos indica cuan lejos estamos del mismo, tanto si es por falta de señal como por limitaciones en la C/N. Si bien es conveniente medir el nivel de señal para descartar razones de incorrecta demodulación, la medida de BER es la única medida imprescindible para asegurar la calidad final del sistema de recepción.

4.5.2 GANANCIA DE CÓDIGO

La protección contra errores introducida en el esquema general de la codificación y generación de la trama de transporte de los sistemas de transmisión de televisión digital está formada por dos tipos de códigos, uno de protección contra errores de paquetes, el denominado Reed Solomon, y otro de protección de errores de bit denominado FEC (Viterbi) que es variable y se puede adaptar al tipo de servicio concreto: número de programas por canal, o servicio portátil, etc.

Las diferencias de BER entre las entradas y salidas de las diferentes decodificaciones de protección contra errores es lo que se denomina ganancia de código.

4.5.3 MER

El MER o Tasa de Error de Modulación (Modulation Error Ratio), es una medida usada para cuantificar la calidad de transmisión o recepción de un sistema de comunicaciones, en este caso, de transmisión de la señal de televisión, el cual use modulación digital, como pueda ser QAM. La señal enviada por el transmisor o recibida por un receptor ideal deberá tener los puntos de las constelaciones localizados de manera precisa, aunque a pesar de ello se puedan producir varias imperfecciones, como ruido, ruido de fase, distorsiones, etc.

Puede ser considerado como una forma de expresar la relación señal a ruido, pero proporcionando una información más precisa de la capacidad del receptor para demodular la señal, ya que tiene en cuenta, no solamente el ruido, sino también otras anomalías de la señal recibida.

Se puede medir mediante equipo especializado, el cual demodula las señales recibidas de una forma muy similar a la que lo hace un demodulador de radio. Dicha señal demodulada se puede utilizar como una medida razonable a la hora de hacer un cálculo estimado del MER.

4.5.4 RELACIÓN SEÑAL A RUIDO

La relación señal a ruido es la relación entre las potencias de la señal entrante y/o saliente, y del ruido que puede acompañarle. Se trata del parámetro que mejor define la influencia del ruido en la señal que perturba. En función del tipo de transmisión y del nivel en el que se realiza la medida de la influencia del ruido, la relación señal a ruido se presentará de una forma u otra.

A continuación se muestran diversas modalidades de relaciones señal a ruido:

- La C/N_c es la potencia de la señal RF dividida por la potencia de ruido del canal. Esta última es la potencia de ruido presente en todo el ancho de banda RF del canal de transmisión (8 MHz en el caso de señal de televisión).

- La S/N es la potencia de la señal dividida por la potencia de ruido que la acompaña.
- La S/N_0 es la potencia de la señal dividida por la densidad de potencia de ruido. Esta relación es por lo tanto independiente del ancho de banda de ruido.

4.5.5 INTERVALO DE GUARDA

El intervalo de guarda se utiliza para asegurarse de que no las señales emitidas no interfieren entre ellas. Su único propósito es introducir inmunidad a los retardos, a los ecos y a las reflexiones de propagación, a los cuales los datos digitales son normalmente muy sensibles.

El valor estándar utilizado en OFDM, según la norma 802.11 (para más información, ver referencia [www7]) es de **0.8 μ s**. Sin embargo, para aumentar la velocidad de los datos, la modificación de la anterior norma, denominada 802.11n, añadió un soporte opcional para un intervalo de guarda de **0.4 μ s**. Esto proporciona un aumento del 11% en la velocidad de transferencia de datos.

Cuanto más corto es el intervalo de guarda, más alta es la tasa de error en la transferencia de paquetes, si el retardo de propagación del canal es superior al intervalo de guarda y/o cuando la sincronización del tiempo entre el transmisor y el receptor no es precisa.

Se podría desarrollar un esquema para averiguar si un intervalo de guarda corto sería beneficioso en un enlace determinado. Para reducir la complejidad, los fabricantes normalmente sólo aplican un intervalo de guarda corto, como último paso de adaptación de tasa, cuando el dispositivo está funcionando a la más alta velocidad de transferencia.

4.6 MÉTODOS DE MEDIDA DE CALIDAD

4.6.1 NIVEL DE SEÑAL

El nivel de señal es la tensión desarrollada en una impedancia de 75Ω debido a la distribución de potencia de señal sobre un ancho de banda.

Para medir el nivel de señal, siendo esta indistintamente analógica o digital, es necesario un medidor al que se le pueda indicar el tipo de señal que se está midiendo o bien lo identifique él automáticamente. La razón es que la distribución de energía de una señal analógica y de una digital en el espectro son completamente distintas, y la medida, para que sea correcta, tiene que tener en cuenta dicha característica, es decir, tiene que tener en cuenta la distribución de energía en función de la frecuencia y el ancho de banda de medida.

La mayoría de los medidores de campo modernos miden en todas las bandas de forma directa el nivel de señal tanto para señales analógicas como digitales. Incluso se puede elegir el ancho de banda de medida a nuestro antojo y así medir cualquier tipo de señal.

4.6.2 VISUALIZACIÓN DEL ESPECTRO

Es importante conocer como visualizar el espectro y la información que podemos sacar de él. En primer lugar hay que visualizar toda la banda de forma rápida y general, y a continuación centrarse en la banda de distribución de nuestro interés.

La información que podemos obtener es:

- Identificación de espúreos generados por los dispositivos del sistema, es decir, todos los tipos debidos a la distorsión de los dispositivos no lineales, debido a osciladores internos, etc.
- Identificación de interferencia, o ruido de banda estrecha, con niveles elevados.
- Grado de desecualización de los canales que se van a distribuir en banda y canal.
- Ruidos perjudiciales de banda ancha.

4.6.3 MEDIDA DE LA C/N

En cuando a la medida del parámetro de la C/N, si el equipo no lo hace de forma directa, resulta difícil de medir, en primer lugar porque la medida de ruido se tiene que realizar fuera del canal y en segundo lugar, porque los equipos incorporan un nivel intrínseco que puede desvirtuar la medida.

Para su correcta medición hay que asegurarse de que nos encontramos en un punto cercano al canal en donde deseamos medir el ruido, pero libre de ruido ajeno al canal. También aquí hay que realizar las consideraciones a las que nos hemos referido en el punto anterior.

Los medidores de campo realizan dos tipos de medida de C/N:

- La C/N referenciada automática, en donde es el equipo el que decide donde medir el ruido.
- La C/N manual que, si bien lo realiza de forma automática, para la consideración del ancho de banda, es el instalador quién decide en qué frecuencia del espectro se mide la referencia de ruido.

4.6.4 MEDIDA DEL BER

Para la correcta medida de este parámetro se debe tener en cuenta varios aspectos:

- Que es un parámetro característico solo de la codificación digital.
- Que la medida del BER es una medida relacionada con los errores en la transmisión de la codificación de señal y solo pueden ser identificados en la demodulación y decodificación de la misma.
- Depende de la modulación de la señal digital que queramos medir, hay tres tipos relacionados con las instalaciones de los edificios (digitales por satélite QPSK, terrenales COFDM y de cable xQAM). El xQAM es necesario si se realiza la transmodulación de la modulación de satélite, transmodulación siempre recomendada.
- Que el medidor tiene que incorporar los demoduladores digitales y la electrónica y programación necesaria para identificar los paquetes de datos con error en cada trama y presentar este dato convenientemente tratado en el medidor.
- En la medida del BER es muy importante elegir el punto correcto para realizar la medida. Esta se puede realizar después del demodulador, después del decodificador de Viterbi o después del decodificador de Reed Solomon. Los valores del BER son completamente distintos, debido a la ganancia de código de cada uno de los módulos de protección contra errores. El punto correcto de medida es después del demodulador, ya que, al no tener en cuenta la protección contra errores, conocemos el margen real de la instalación que de otra forma quedaría enmascarado con la corrección del FEC. El valor debe ser mejor que $3 \cdot 10^{-2}$.
- Es una medida bastante fluctuante, y como estamos ante una tecnología de umbral, el mínimo debe sobrepasar la consideración de señal recuperable después de la decodificación.
- Los medidores de campo que miden este parámetro se denominan comúnmente en el mercado medidores "digitales". Lo correcto debería ser medidores de BER, especificando los tipos de modulación que puede medir.

4.6.5 JUZGAR LA CALIDAD DE LA IMAGEN DE TELEVISIÓN

Aquí sí tiene que ser el tipo de señal, analógica o digital, quien marque la diferencia para certificar la calidad de la imagen en una instalación analógica y otra digital, ya que el medidor no hace más que presentar el resultado de la demodulación y decodificación de la señal. La razón es sencilla, en la tecnología digital, si el BER está por debajo de los límites marcados por el valor umbral, es decir, la máxima tasa de bits erróneos permitidos en recepción, la señal se recupera con la calidad original y, por tanto, carece de sentido hablar de calidad subjetiva.

Ahora bien, si la señal es analógica, sí que debemos analizar la imagen con cuidado e identificar todos y cada uno de los problemas y/o defectos que se presenten valorando la calidad final. En general habrá que identificar los siguientes aspectos:

- Los defectos típicos de la transmisión de TV en el canal, es decir, las interferencias y las dobles imágenes.
- Los defectos del procesado de la señal modulada: distorsiones de intermodulación con batidos en la imagen y problemas de la red eléctrica con ruidos de baja frecuencia.
- Defectos de procesado de señal en banda base y del transmisor: son las distorsiones que afectan a la señal en banda base como son retardo de grupo (es decir, incorrecta superposición de la luminancia-crominancia), respuesta a las bajas y altas frecuencias, etc.
- El ruido de fondo, ruido blanco que determina la calidad de la imagen libre de interferencia y dobles imágenes. Aquí, por si la visión subjetiva engañara, es importante conocer la mínima S/N a partir de la cual se considera la imagen óptima. Este valor es 40 dB y se corresponde con 43 dB de C/N para AM (BLV) PAL B/G.

El analizador de espectros del medidor puede ser de enorme ayuda:

- Cuando el indicador de medida es de color rojo, indica que la calidad de la señal es mala. Se muestra cuando la medida está por encima de $5 \cdot 10^{-3}$.
- Si el indicador de medida es de color amarillo, indica que la calidad de la señal recibida es aceptable, pero sería conveniente mejorarla. Se muestra cuando la medida está comprendida entre $5 \cdot 10^{-3}$ y $5 \cdot 10^{-4}$.
- Y en el caso en el que el indicador de medida sea de color verde, la calidad de la señal ya será buena. Se muestra cuando la medida está por debajo de $5 \cdot 10^{-4}$.

4.7 RECEPCIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

En primer lugar, y a modo de introducción de la descripción de un receptor con decodificador integrado llamado comúnmente receptor de TDT, o bien IRD (*Integrated Receiver-Decoder*), se va a resumir rápidamente la serie de operaciones que sufre la señal de TV desde la fuente hasta su visualización por el usuario.

- Las señales de vídeo y audio de los programas que se van a transmitir atacan otros tantos codificadores MPEG-2, de 4 a 8 por canal, según los parámetros de codificación escogidos, proporcionando los PES de vídeo y audio a la entrada del multiplexor.
- Estos PES son utilizados por el multiplexor para formar paquetes de transporte de 188 bytes, eventualmente cifrados. En este momento se insertan los paquetes CAT que transportan la información de control de acceso ECM y EMM, así como la información de las tablas PAT y PMT y las de guía EPG de programas.
- La corrección de error RS lleva la longitud de los paquetes a 204 bytes; en el caso del satélite, el código convolutivo multiplica además el flujo

por un factor que va desde 1,14 ($r_c=7/8$) hasta 2 ($r_c=1/2$); a continuación, un nuevo formateado de los datos seguido de un filtrado y una conversión D/A proporciona las señales I y Q analógicas.

- I y Q modulan en QPSK (satélite) o QAM (cable) una portadora de FI (frecuencia intermedia), generalmente del orden de los 70 MHz.
- Esta FI se transpone después a la banda de frecuencia apropiada para su emisión, dependiendo del medio utilizado.

En el caso del satélite, el cambio de frecuencia se lleva hasta el valor requerido por el "canal ascendente" del satélite, donde sufrirá un nuevo cambio de frecuencia en el transpondedor para su difusión hacia los telespectadores, que estará en la banda de los 10,7 a 12,75 GHz.

La difusión directa por cable es relativamente rara en Europa, y con frecuencia pasa a través de un satélite y por una estación principal de red cableada que se encarga de la demodulación QPSK, su nueva modulación en QAM y, por último, su transposición al canal VHF o UHF apropiado. Se trata, como es lógico, de un orden inverso al de las operaciones de emisión.

- En el caso de la recepción vía satélite, se efectúa una primera bajada de la frecuencia en la estación de la antena receptora, que lleva la frecuencia de la señal a unos valores comprendidos entre 950 y 2.150 MHz, a la entrada del receptor, donde sufre un segundo cambio de frecuencia, después de haber determinado el canal, y que normalmente la llevará a una FI de 480 MHz.
- Esta FI demodulada, proporciona los vectores I y Q analógicos.
- Tras la conversión analógica/digital, el filtrado y el reformateado de I y Q, la corrección de error permite encontrar de nuevo los paquetes de transporte de 188 bytes.
- El demodulador selecciona los PES correspondientes al programa elegido por el usuario, a veces previamente descifrados gracias a los ECM y EMM, y, en el caso en el que la haya, a la clave privada del usuario.
- Por último, el decodificador MPEG-2 reconstruye las imágenes y el sonido del programa seleccionado.

4.7.1 CONSTITUCIÓN DE UN RECEPTOR/DECODIFICADOR DE TV DIGITAL

En el apartado anterior se han visto las principales etapas de los procesos de emisión y de recepción de una TV digital, de modo que, a grandes rasgos, se va a entrar solamente en detalle a explicar de qué se componen los receptores de TV digital, pero sin bajar a nivel de esquemas electrónicos.

Fabricar un IRD está fuera del alcance de cualquier aficionado, por muy aventajado que sea, ya que, además de la gran dificultad para encontrar los componentes específicos

necesarios, está la casi imposibilidad de montar estos circuitos con medios artesanales, debido a que algunos cuentan con más de 100 patillas, por no hablar de los problemas de ajuste. Aunque, sin duda, el mayor obstáculo vendrá de la mano del soporte lógico, que representa a decenas de personas y años de trabajo, con competencias muy diversas: los niveles más profundos están muy relacionados con el *hardware*, los niveles intermedios se refieren a las normas DVB mientras que los niveles más altos (interfaz con el usuario), la mayoría están definidos por el operador de red para el que haya sido diseñado el aparato.

Por otro lado, la evolución de las tecnologías en este campo es extremadamente rápida, (una generación de esta clase de dispositivos apenas durará un año en la fase de producción), para de esta forma aprovechar lo antes posible las bajadas de coste que aportan los continuos avances en integración.

En la actualidad, el coste de un IRD digital es significativamente más elevado que el de su antecesor analógico, debido, en parte, al coste de la memoria necesaria.

4.7.2 EL RECEPTOR/DECODIFICADOR DE SATÉLITE

Seguidamente se desarrollará un diagrama de bloques típico para un receptor de satélite, aunque no se corresponda forzosamente con la configuración que hagan todos los fabricantes para la integración de los circuitos, el cual puede variar considerablemente dependiendo de varios factores.

A la entrada del receptor, las señales procedentes del satélite, en la banda de 10,7-12,75 GHz, se amplifican y convierten a la gama de los 950-2.150 MHz, en 2 bandas, por el convertidor de bajo nivel de ruido (LNC, *Low Converter*), situado en el foco de la parábola y aplicadas a continuación a la entrada de antena del IRD.

El sintonizador, normalmente controlado por un bus FC, selecciona el canal deseado en la gama de los 950-2.150 MHz, lo transpone a un valor de FI de 480 MHz y efectúa la selectividad requerida por medio de un filtro de onda superficial (FOS); la señal amplificada se demodula de forma coherente por los ejes 0 y 90° para proporcionar las señales I y Q analógicas de salida. La recuperación de la fase de la portadora, necesaria para la correcta demodulación, se hace con ayuda de las etapas siguientes que controlan mediante un bucle la frecuencia y la fase del oscilador del demodulador.

Cada una de las señales I y Q se aplican a un convertidor analógico/digital que funciona al doble de la frecuencia de símbolo, del orden de los 30 MHz en Europa. Con frecuencia se trata de un doble convertidor con una resolución de 6 bits, capaz de muestrear la señal a más de 60 MHz. Aquí, de nuevo, la frecuencia de muestreo se lleva a la frecuencia de símbolo por medio de un bucle de sincronización de fase.

El bloque QPSK, además de las funciones de recuperación de reloj y de portadora, realiza el filtrado semi-Nyquist complementario al aplicado en la emisión sobre las señales I y Q, alimenta, por ejemplo, sobre 2x3 o 4 bits, al bloque funcional siguiente (el bloque FEC).

El bloque FEC distingue por medio de una lógica mayoritaria los "0" de los "1" y después efectúa la corrección de errores, es decir, la decodificación de Viterbi del código convolutivo de la emisión, el desentrelazado, la decodificación de Reed-Solomon y la ordenación; los datos de salida en general se suministran en paralelo, los cuales están formados por 8 bits de datos más las señales de control, donde se indica la eventual presencia de errores que no se pueden corregir.

Los paquetes de transporte atacan el bloque DESCR (descifrador) que comunica con el procesador principal por un bus paralelo que permite la transferencia rápida de datos. Asegura la selección y el descifrado de los paquetes del programa escogido, bajo el control del dispositivo de control de acceso. A veces se combina con el desmultiplicador.

El bloque DEMUX (desmultiplicador) permite seleccionar por medio de filtros los PES que corresponden al programa elegido por el usuario.

Los PES de audio y vídeo procedentes del desmultiplicador se aplican a continuación al bloque MPEG, compuesto generalmente por un decodificador combinado de audio/vídeo, que se encarga igualmente de generar la pantalla gráfica necesaria para la guía EPG de programas. La decodificación MPEG-2 necesita en general 16 Mbits de memoria DRAM, algunas veces más en 625 líneas si la gestión de memoria no es muy eficaz.

Las señales de audio digitales se aplican a través de un enlace serie FS o similar con un doble convertidor digital/analógico de audio (DAC) de 16 bits de resolución o más que construye las señales analógicas L y R.

El conjunto del sistema está controlado por un procesador de 16/32 bits bastante potente, que controla todos los circuitos anteriores, interpreta las órdenes que vienen del mando a distancia, supervisa el o los lectores de tarjetas inteligentes y las interfaces de comunicación normalmente presentes. La programación representa varios cientos de kbytes, que está contenida totalmente o en parte en una FLASH-EPROM para permitir eventuales actualizaciones vía transmisión durante la vida útil del aparato.

El dispositivo de control de acceso incluye en general uno o dos lectores de tarjeta inteligente (el segundo si existe, está previsto para admitir tarjetas de crédito). En el caso de un módulo de control de acceso separable, el dispositivo de control de acceso así como el descifrador están situados en un módulo con formato PCMCIA. El demultiplexor, integrado en el IRD, recibe entonces paquetes de transporte "limpios".

Por último, el IRD puede comunicarse con el mundo exterior (PC, módem, etc.) mediante una o varias interfaces normalizadas, necesarias para conseguir la interactividad y el acceso a nuevos servicios, como pueden ser la telecarga de ficheros o programas, telecompra, telepago, acceso a redes, etc.

4.7.3 EL RECEPTOR DIGITAL POR CABLE

El esquema de bloques de un receptor digital por cable se diferencia de su receptor homólogo de satélite en las partes de recepción y decodificación de canal, adaptadas a las bandas de frecuencias de cable y a la modulación QAM que hay prescritas en Europa. Así pues, sólo se describirán estos bloques.

El sintonizador selecciona el canal deseado en las gamas de VHF/UHF (de 50 a 860 MHz), lo transporta a una frecuencia F_{IF} de 36,15 MHz y efectúa la selectividad requerida por medio de un filtro de onda superficial (FOS); la señal de FI amplificada se lleva a la frecuencia de símbolo, por medio de un oscilador-mezclador, cuya frecuencia y fase están controladas por un bucle de servocontrol, procedente del demodulador QAM que sigue.

La señal QAM resultante se aplica a un convertidor analógico/digital (ADC) que tiene una resolución de 8 bits o 9 bits, y convertida, con una frecuencia de muestreo igual a, por ejemplo, 4 veces la frecuencia de símbolo F_s . La frecuencia de muestreo se sincroniza con la frecuencia de símbolo por un bucle de sincronización de fase procedente del siguiente bloque: demodulación/filtrado/ecualización.

El siguiente bloque (QAM) es el principal elemento de la decodificación de canal. Realiza, a partir de la señal QAM digitalizada, la demodulación digital y el filtrado semi-Nyquist, la ecualización de ecos de las señales I y Q, y el reformateado de los datos de salida de forma apropiada para el circuito FEC siguiente. Además, efectúa las funciones de recuperación de reloj y de portadora, así como la generación a partir de la señal de entrada QAM digitalizada, de una tensión de control automático de ganancia (AGC) aplicada al amplificador de FI del sintonizador.

El bloque FEC efectúa la corrección de errores, que incluye el desentrelazado, la decodificación de Reed-Solomon y la ordenación; los datos de salida (paquetes de transporte de 188 bytes) en general se suministran en el mismo formato paralelo que en el caso del satélite (8 bits de datos más las señales de control con señalización de la eventual presencia de errores que no se pueden corregir).

El procesador, así como las funciones de control de acceso, descifrado, demultiplexación, decodificación MPEG-2 de audio/vídeo y todas las funciones accesorias son, para un servicio equivalente, idénticas a las descritas anteriormente para el caso del receptor de satélite.

Capítulo 5: CENTRO EMISOR DE TITAGUAS

5.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se va a planificar la difusión de la señal de televisión desde el centro emisor de TITAGUAS, incluyendo los equipos de los que se dispone y que se mencionan en los objetivos del Proyecto.

Para ello en primer lugar se hará una profundización en la descripción de la tipología de los equipos que se posee, es decir, de la configuración gap-filler, además de los requerimientos que un centro emisor debe tener para funcionar en dicha configuración.

En segundo lugar se pasará a describir los equipos de los que se dispone en el centro y que no están en uso, los cuales son del fabricante *Tredess*, y que servirán para hacer la planificación de la configuración que debe adquirir el centro emisor de Titaguas para emitir canales de la TDT.

A continuación se describirán las características propias del centro emisor: tipología de la antena, características del centro, paneles de la antena, etc.

Y para finalizar se presentarán los resultados del caso real que nos atañe, mostrados en valores numéricos, plots de cobertura, etc.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE CENTROS TIPO GAP-FILLER

5.2.1 EL GAP-FILLER

En áreas como valles profundos, zonas de sombra ocasionadas por distintos obstáculos o localizaciones de difícil acceso, suele ocurrir que no existe una visión directa entre el extremo transmisor y el receptor. No obstante, la capacidad de recepción de multitrayecto que tiene el servicio de TDT permite, en la mayor parte de ocasiones, garantizar la cobertura para dichas zonas de una forma eficiente.

El empleo de reemisores o gap-fillers permite garantizar de una forma más segura la cobertura de dichas zonas problemáticas, e incluso extender el área de cobertura inicial, todo ello sin que suponga un coste adicional excesivo.

El principio de funcionamiento de los reemisores consiste en tomar una muestra de la señal de TDT para, una vez convenientemente amplificada y filtrada, retransmitirla en la misma frecuencia a la zona de interés no cubierta por el transmisor principal.

El gap filler se puede denominar también como **reemisor de isofrecuencia**, y es un dispositivo cuya misión es la de cubrir huecos en la cobertura de una red DVB-T SFN. Para ellos recibe una emisión por su antena de recepción y, una vez filtrada y amplificada la emite por una antena de emisión en el mismo canal por el que la ha recibido sin realizar cambio de frecuencia.

La siguiente Figura muestra el proceso de una manera sencilla y entendible:

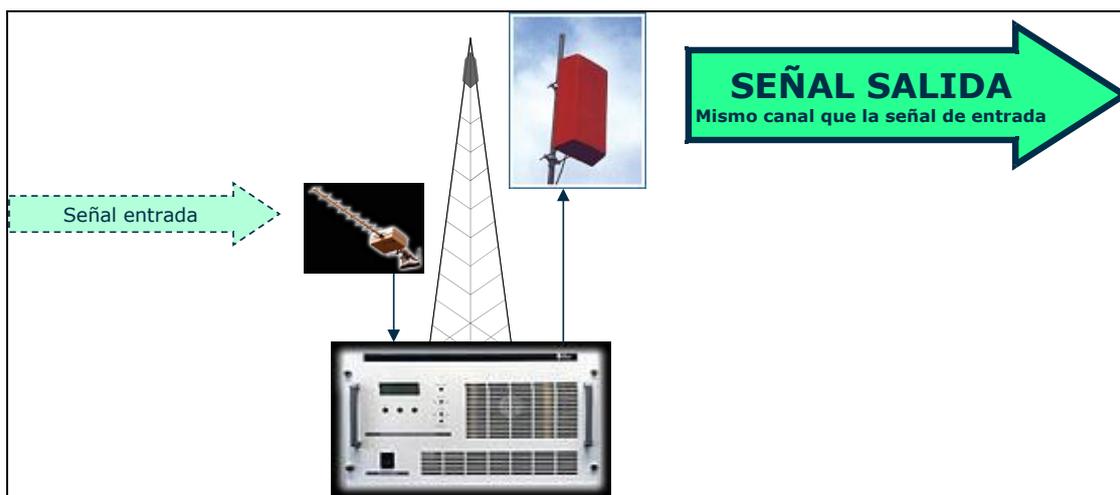


Figura 24: Proceso de funcionamiento de un Gap-Filler.

El aislamiento (atenuación) entre la antena transmisora y receptora del gap-filler depende altamente de las características del lugar en que se instala el reemisor. Así pues, es aconsejable que el edificio o torre en que se instala sea lo más alta posible. De igual forma, si es necesaria la instalación de varios reemisores, también es aconsejable que los edificios en que se ubiquen presenten distintas alturas.

Es posible alcanzar valores de aislamiento en torno a 80 dB, pero puesto que el aislamiento entre las ondas emitidas y recibidas no es perfecto, las ondas emitidas por la antena transmisora son continuamente recibidas por la antena receptora, y amplificadas por el reemisor en un proceso recursivo que puede saturar el sistema. Esta oscilación se traduce en una degradación de la señal remitida.

Para corregir dicha degradación, se define la ganancia necesaria de reemisión isofrecuencia como la amplificación necesaria de la señal de entrada a reemisor en dB para conseguir la potencia de salida planificada.

Algunos proveedores han desarrollado el cancelador de ecos, el cual es un elemento hardware/software que reduce las contribuciones de señal no deseada (los diferentes ecos que provocan la realimentación).

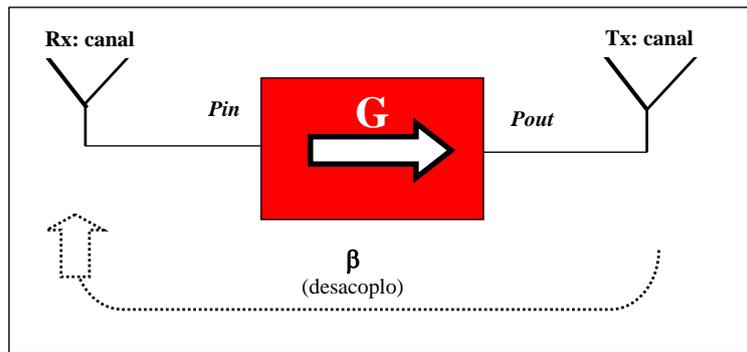


Figura 25: Desacoplo en Gap-fillers.

5.2.2 CARACTERÍSTICAS A TENER EN CUENTA EN LA PLANIFICACIÓN

- **Nivel de entrada:** Rango de valores mínimos de potencia de entrada necesaria.
- **Calidad de la señal de entrada:** La calidad de una señal de TDT se mide con la BER (Bit Error Ratio) y la MER (Modulation Error Ratio), ya comentadas anteriormente.
- **Relación entre aislamiento y Ganancia necesaria:** Para que un remisor isofrecuencia TDT funcione correctamente se debe cumplir que:
 - Remisor TDT (Sin cancelador de ecos):
Máxima Ganancia necesaria (dB) = $\beta + 10$ (dB).
 - Remisor (TDT con cancelador de ecos):
Máxima Ganancia necesaria (dB) $\leq \beta - 10$ (dB).

Por tanto, entre mayor sea el aislamiento y menor la ganancia necesaria mejor funcionará un remisor TDT isofrecuencia.

- **Factores para conseguir mayor aislamiento:** Mayor distancia entre antenas transmisores y receptora. (Torres altas, posibilidad de poner las antenas receptoras en la cota más baja de la torre sin pérdida de nivel de señal de entrada, etc.); y obstáculos entre antenas transmisoras y receptora, como por ejemplo la propia caseta, parábolas u otras antenas en la propia torre, etc.).

- **Factores para necesitar mejor ganancia del sistema:** Alto nivel de señal de entrada y potencia de emisión necesaria baja.

5.2.3 REQUERIMIENTOS PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE UN GF

Los centros emisores que se quieran configurar para poder emitir como Gap filler o reemisor deben cumplir una serie de requisitos, no sólo de infraestructura, sino técnicos y de cumplimiento de ciertos mínimos para su correcto funcionamiento.

Dichos requerimientos son los siguientes:

- **Sensibilidad:** rango de valores mínimo y máximo de potencia de entrada dentro de los cuales el reemisor opera correctamente.
Como valor medio se puede considerar que la sensibilidad de los equipos sería entre los $-47\text{dBm} \pm 20\text{dB}$ ($73\text{dB}\mu\text{V/m} \pm 20\text{dB}$, a 800MHz y con una ganancia máxima de antena receptora de 14.5dBi).
- **Ganancia máxima:** ganancia máxima que puede proporcionar el reemisor, independientemente del aislamiento.
- **Potencia máxima de salida.**
- **Margen Dinámico (MD):** Relación entre la Ganancia Necesaria y el Aislamiento para que un Gap-Filler funcione correctamente.
 - **Margen Dinámico (Peor Caso):** Es el peor caso al considerar la mayor Ganancia Necesaria y el peor Aislamiento medido.
 - **Margen Dinámico (Mejor Caso):** Es el mejor de los casos al considerar la menor Ganancia Necesaria y el mejor Aislamiento medido.
 - El nivel óptimo es $<10\text{dB}$.
 - Entre 10 y 15dB, el equipo empieza a reducir la potencia sin degradar la calidad de emisión.
 - Entre 15 y 20dB el equipo realiza una reducción de potencia y se degrada la calidad de emisión.
 - Para un MD superior a 20 dB, el equipo reemisor no funciona correctamente.

- **MER mínima:** Es el mínimo nivel de MER con el que se estima que el Gap-Filler funciona correctamente. Dicho nivel ha de ser superior a 24dB.
- **Nivel Mínimo:** Es el mínimo nivel de señal recibida del centro donante para que el Gap-Filler funcione correctamente. Dicho nivel ha de ser superior a -62dBm.
- **Ganancia máxima permisible en función del aislamiento:** en función de cómo los fabricantes hayan resuelto el problema de la realimentación, la ganancia máxima del equipo diferente en función del aislamiento.

Algunos ejemplos de ganancia máxima disponible comúnmente aceptados son:

- Sin cancelador de ecos: $G_{max} = \beta - 10$ (dB).
- Con cancelador de ecos actual: $G_{max} = \beta + 5$ (dB).

- **El margen de ganancia MG (dB) = $G - \beta$** , se define como una magnitud práctica. Los ejemplos anteriores expresados en términos del margen de ganancia quedarían:

- Sin cancelador de ecos: $MG_{max} = G_{max} - \beta = -10$ (dB)
- Con cancelador de ecos actual: $MG_{max} = G_{max} - \beta = 5$ (dB)

Como el cancelador de ecos permite incrementar la ganancia máxima disponible en función del aislamiento, diremos que este cancelador de ecos proporciona una ganancia de 15dB (GCE = 15dB).

La dependencia de la ganancia del reemisor en función del aislamiento entre las antenas transmisora y receptora dificulta en gran medida la planificación de redes SFN en el sentido de que no somos capaces de determinar si los centros de la red deben ser transmisores o reemisores:

- Cuando se realiza una planificación se dispone de la siguiente información:
 - Potencia que radiará cada centro
 - Sistema radiante que se utilizará para radiar dicha potencia
- Mediante las herramientas de simulación somos capaces de determinar qué nivel de señal recibimos en un centro procedente del resto de centros de la red.
- Si escogemos el centro del que recibimos más nivel, podemos determinar la ganancia necesaria para transmitir la potencia nominal del centro:

$$G_{necesaria} \text{ (dB)} = P_{out}(\text{dBm}) - P_{in}(\text{dBm})$$

$$P_{in}(\text{dBm}) = E_{Rx}(\text{dB}\mu\text{V/m}) + G_{maxRx}(\text{dBi}) - 20\log f(\text{GHz}) - 167.2 + 30$$

- La viabilidad del centro como reemisor vendrá determinada por el cumplimiento de:
 - Sin cancelador de ecos:
 - $G_{necesaria}(dB) \leq G_{max} = \beta - 10$ (dB)
 - $MG_{necesario}(dB) \leq MG_{max} = -10$ (dB)
 - Con cancelador de ecos:
 - $G_{necesaria}(dB) \leq G_{max} = \beta + 5$ (dB)
 - $MG_{necesario}(dB) \leq MG_{max} = +10$ (dB)

Sin embargo, existen ciertos niveles de medida que son imprescindibles, y son lo primordial para que un Gap-filler funcione. Son los siguientes:

- Nivel de tensión mínimo: 45 dB μ V.
- Nivel de potencia mínimo: -62 dBm.
- Nivel de campo mínimo: 60 dB μ V/m.
- Nivel de MER mínimo: 24 dB.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS MARCA TREDESS

En este apartado se va a profundizar en los equipos de la empresa Tredess, concretamente en los modelos de reemisores que ofrece, y de los que se dispone en el centro emisor de Titaguas.

La corporación *Tredess*, como empresa de soluciones de telecomunicaciones, se dedica al diseño, desarrollo y fabricación de soluciones para la ampliación de cobertura de redes de difusión de Televisión Digital Terrestre. Los principales productos que fabrica son transmisores, gap-fillers y repetidores regenerativos de baja potencia para las redes de DTV, para llevar la señal de TV allí donde la infraestructura primaria de la red de televisión no puede llegar.

Trabaja con diversos clientes, como pueden ser grandes operadoras de red de televisión en Europa, que han confiado en las soluciones de baja potencia de *Tredess* para lograr una cobertura completa en su infraestructura actual de red de televisión digital. Pertenece a la corporación *Televés*, que es una referencia en el mercado mundial de tecnología de los últimos 50 años, siendo líder en la fabricación y distribución de soluciones de telecomunicaciones integradas, tanto para uso doméstico como profesional.

Tredess divide el catálogo de soluciones de transmisión/reemisión para TDT en dos series de productos: serie Compact y serie Broadcast. La Serie Compact es la nueva generación de soluciones muy compactas y competitivas de muy baja potencia, hasta 10 W; la serie Broadcast cubre un rango más amplio de potencias, incluyendo soluciones hasta 100W. Ambas series, Compact y Broadcast, son totalmente compatibles con las normas DVB-T/T2/H, y permiten redundancias N+1 y 1+1, control remoto y monitorado, y la posibilidad de incorporar un cancelador de ecos de muy altas prestaciones para los Gap Fillers.

La serie Compact es la que en este caso se va a utilizar, ya que se trata de un centro emisor que está ajustado para salir al aire con 1 W de potencia. Esta serie es una solución muy compacta: hasta 7 Transmisores, Gap Fillers o Reemisores Regenerativos pueden ser alojados en un subrack de 19"x 5U. Los sistemas Compact son compatibles con las normas DVB-T/T2/H e ISDB-T/Tb y pueden entregar una potencia de salida de hasta 10W.

Además, los nuevos modelos Compact incluyen un sistema de gestión remota, que es una solución que permite el control remoto y monitorado del equipo con una sola unidad que dispone de las interfaces HTTP, SNMP, PPTP, IPsec y protocolos TCP/IP. Incluye también alarmas/relés, receptor DVB-T/T2/H y opcionalmente módem GSM/GPRS/UMTS/HSDPA. Ofrecen también un sistema de sincronización completa en 19"x1HU, compuesto por uno o dos receptores GPS (GPS redundante opcional) y un repartidor de señal GPS. Se pueden apilar varios repartidores de señal GPS, de modo que las señales de sincronización 1pps y 10 MHz se puede suministrar a todo el equipo.

Los sistemas de Tredess ofrecen los sistemas de redundancia: 1+1 y N+1:

- **Redundancia 1+1:** En un sistema con redundancia 1 +1, cada canal cuenta con una unidad de repuesto en stand-by. Si un multiplex reúne por lo menos uno de los criterios de conmutación, el sistema cambia automáticamente a su canal de repuesto.

- **Redundancia N+1:** En un sistema con redundancia N +1, un canal de repuesto está en stand-by. Si alguno de las N multiplex reúne por lo menos uno de los criterios de conmutación, el sistema configura automáticamente el canal de repuesto y realiza la conmutación.

El sistema puede ser configurado para auto-recuperación de su estado original cuando el criterio de conmutación ya ha dejado de cumplirse. En caso de fallo múltiple (N+1 solamente) las prioridades de cambio puede ser establecida. Los criterios de cambio se basan en diferentes alarmas y son fácilmente configurables.

Las siguientes características técnicas de los equipos Compact han sido obtenidas de la página oficial de *Tredess*:

- Alto nivel de integración: hasta 7 canales en un subrack de 5U.
- Transmisores, Gap Fillers y Reemisores Regenerativos de hasta 10W.

- Soluciones compatibles DVB-T/T2/H e ISDB-T/Tb.
- Dos opciones de Cancelación de Ecos de muy alto rendimiento.
- Configuraciones SFN y MFN.
- Sistema de sincronización para redes SFN (GPS).
- Redundancia 1+1, N+1.
- Fuente de alimentación redundante.
- Sistema de Control Remoto y Monitorado.
- Módulos extraíbles en calientes.
- Agilidad en frecuencia.
- Muy bajo consumo.
- Osciladores locales de muy bajo ruido de fase.
- Amplificadores LDMOS.
- Modo de funcionamiento independiente.
- Compatibilidad electromagnética y Seguridad según las normas de regulación de la CE.

En segundo lugar, respecto a los multiplexores o filtros que ofrece la empresa, están disponibles para la multiplexación de 1 hasta 5 canales de salida de RF.

**NOTA:* Se adjuntan hojas completas de características de ambos equipamientos en los Anexos II y III.

5.4 SISTEMA RADIANTE Y EQUIPAMIENTO EXISTENTE

5.4.1 SISTEMA RADIANTE

En primer lugar, se va a describir las características del sistema radiante que existe en el centro emisor. Este está formado por dos cadenas de multiplexación, tal y como se describe a continuación:

- **Altura total de la torre:** 8 metros.
- **Sección de la torre (Sección de la parte superior):** 320 milímetros.
- **Configuración de los paneles:**
 - *Sistema radiante 1:* configuración 0:0:1:0 (1 panel) orientado a 260° de azimut (X°:X°:260°:X°).
 - *Sistema radiante 2:* configuración 0:0:1:0 (1 panel) orientado a 260° de azimut (X°:X°:260°:X°).
- **Polarización:** horizontal.
- **Inclinación de los paneles:** 5°.
- **Ganancia máxima:** 10 dBd.

Fotografías del centro emisor:



Figura 26: Exterior de la caseta del centro



Figura 27: Exterior (II) de la caseta del centro



Figura 28: Paneles UHF y torreta

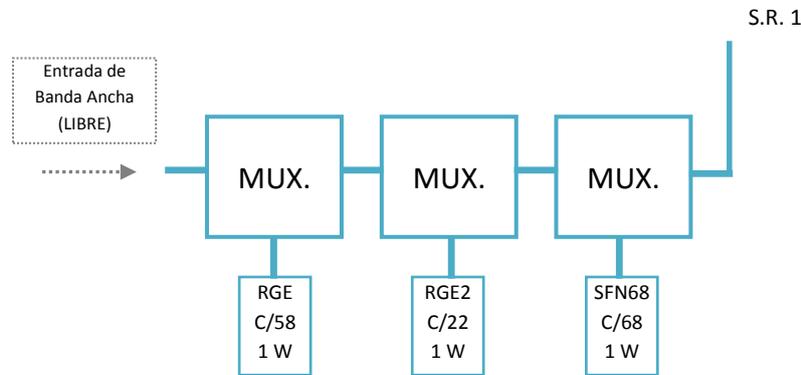


Figura 29: Equipos reemisores de TDT

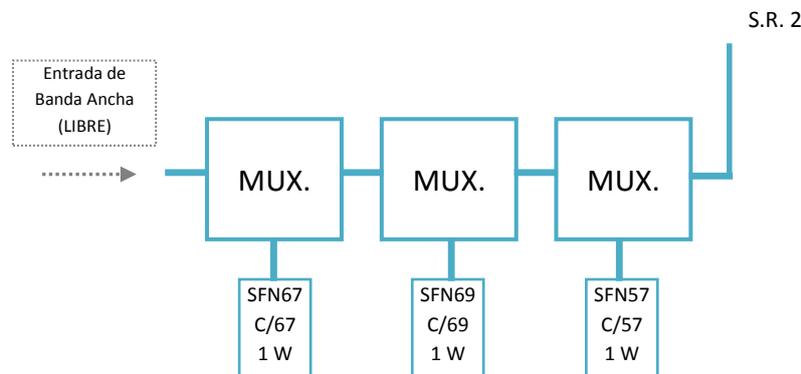
5.4.2 CADENAS MULTIPLEXORAS

En cuanto a los canales/múltiples que están multiplexados, el centro posee dos cadenas multiplexoras diferenciadas:

- **SR1:** RGE2 (Canal 22) + RGE (C-58) + SFN68 (C-68).



- **SR2:** SFN67 (C-67) + SFN69 (C-69) + TDT-A (C-57).



5.4.3 EQUIPAMIENTO

Seguidamente se va a hacer un análisis de todo el equipamiento que se encuentra **actualmente** en el centro emisor.

Los equipos son **transmisores**, excepto la TDT-A que es **reemisor** del centro de Utiel, marca BTESA, modelo TTD-010A / TRD-010A (en el caso único de la TDT-A), potencia 1 W, configuración 1+0.

5.4.4 SISTEMA DE RECEPCIÓN

En cuanto al sistema de recepción en el centro emisor, la señal de RGE y SFNs se recibe por satélite. Concretamente serán necesarias 2 parábolas:

- 1 para SFN apuntando a Hispasat.
- 1 para RGE apuntando a Eutelsat.

La excepción sigue siendo la TDT-A, la cual al ser reemisora del centro de Utiel, será necesario el uso de una antena Yagi de recepción.

5.4.5 CROQUIS DEL SISTEMA RADIANTE

Esquemáticamente, el croquis o diagrama de la antena del centro emisor quedaría de la siguiente manera:

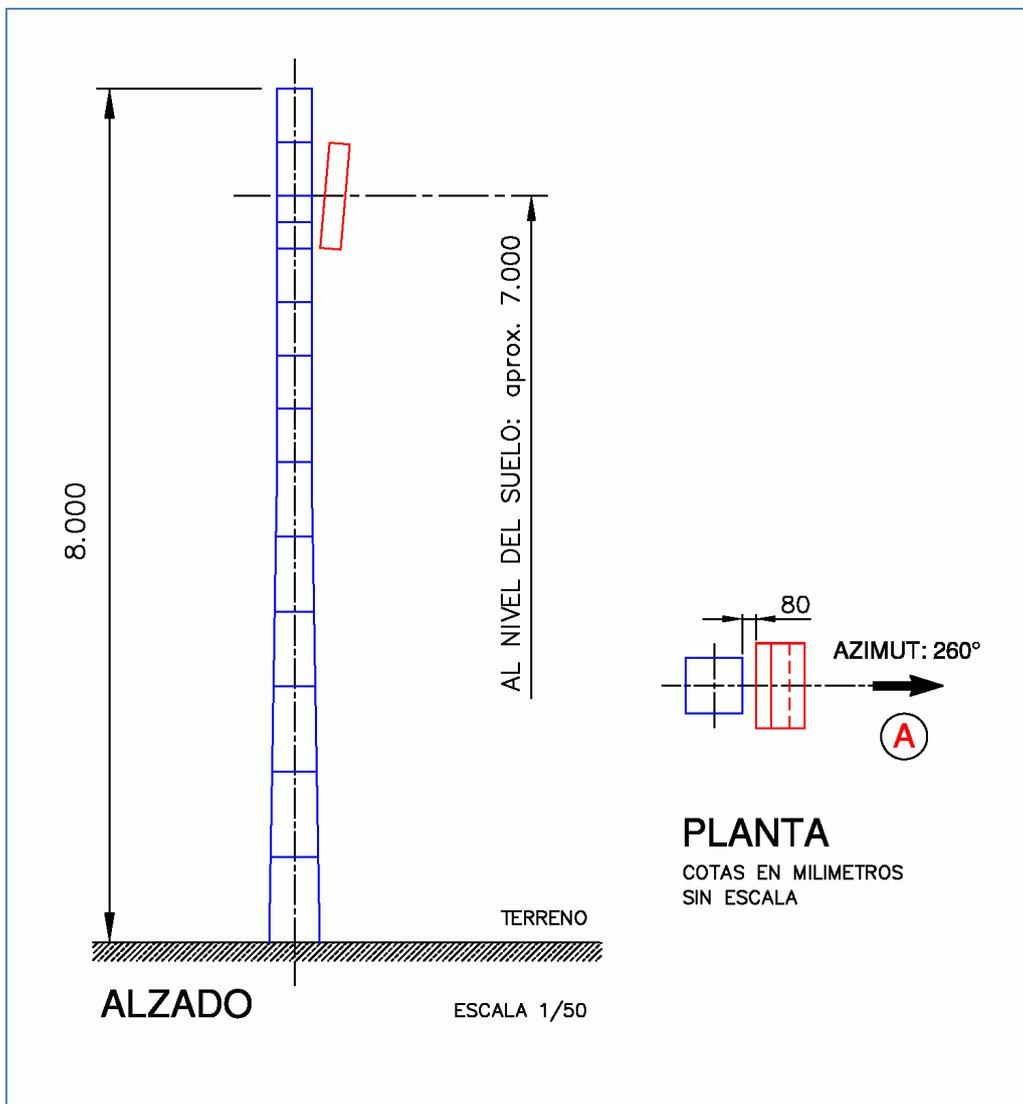


Figura 30: Diagrama de la torre del sistema radiante del centro emisor de Titaguas

Además, por cadenas multiplexoras, la representación quedaría así:

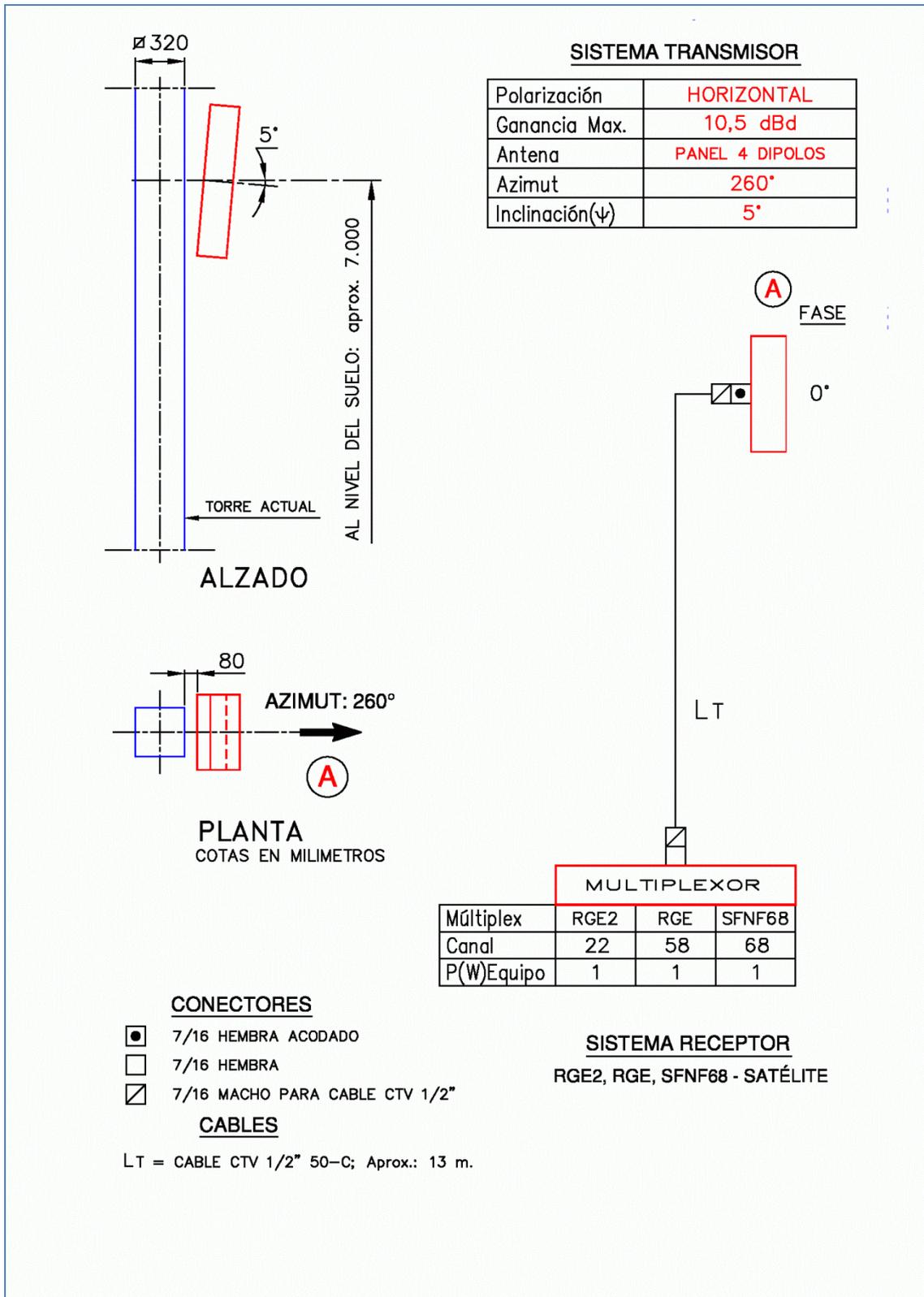


Figura 31: Diagrama del sistema radiante de la cadena multiplexora de los canales RGE, RGE2 y SFNF68

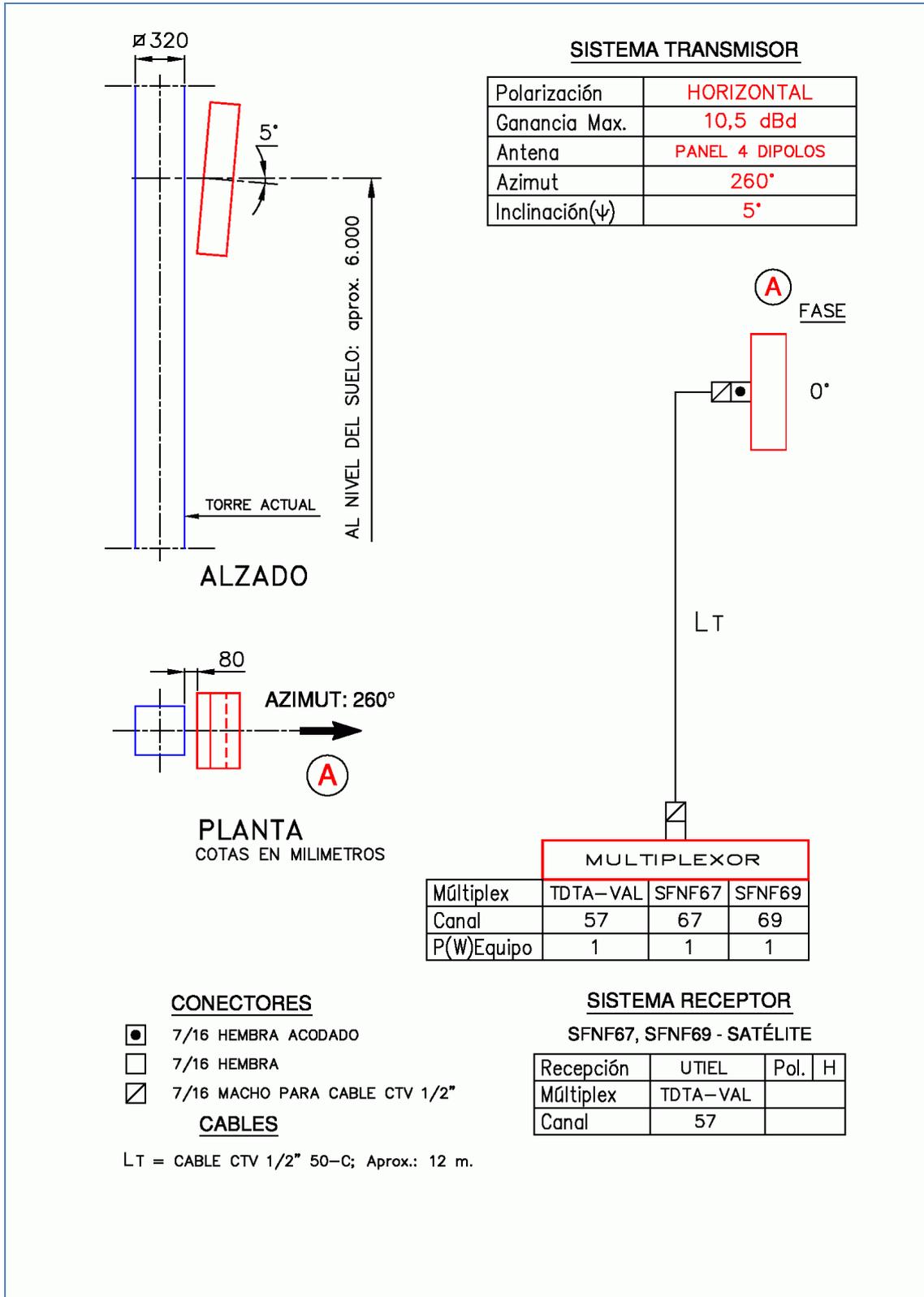


Figura 32: Diagrama del sistema radiante de la cadena multiplexora de los canales SFNF67, SFNF69 y TDT-A

5.4.6 DIAGRAMA DE RADIACIÓN

En cuanto al diagrama de radiación que se obtiene con la configuración que posee el centro emisor, daría como resultado lo siguiente:

- Diagrama HORIZONTAL:

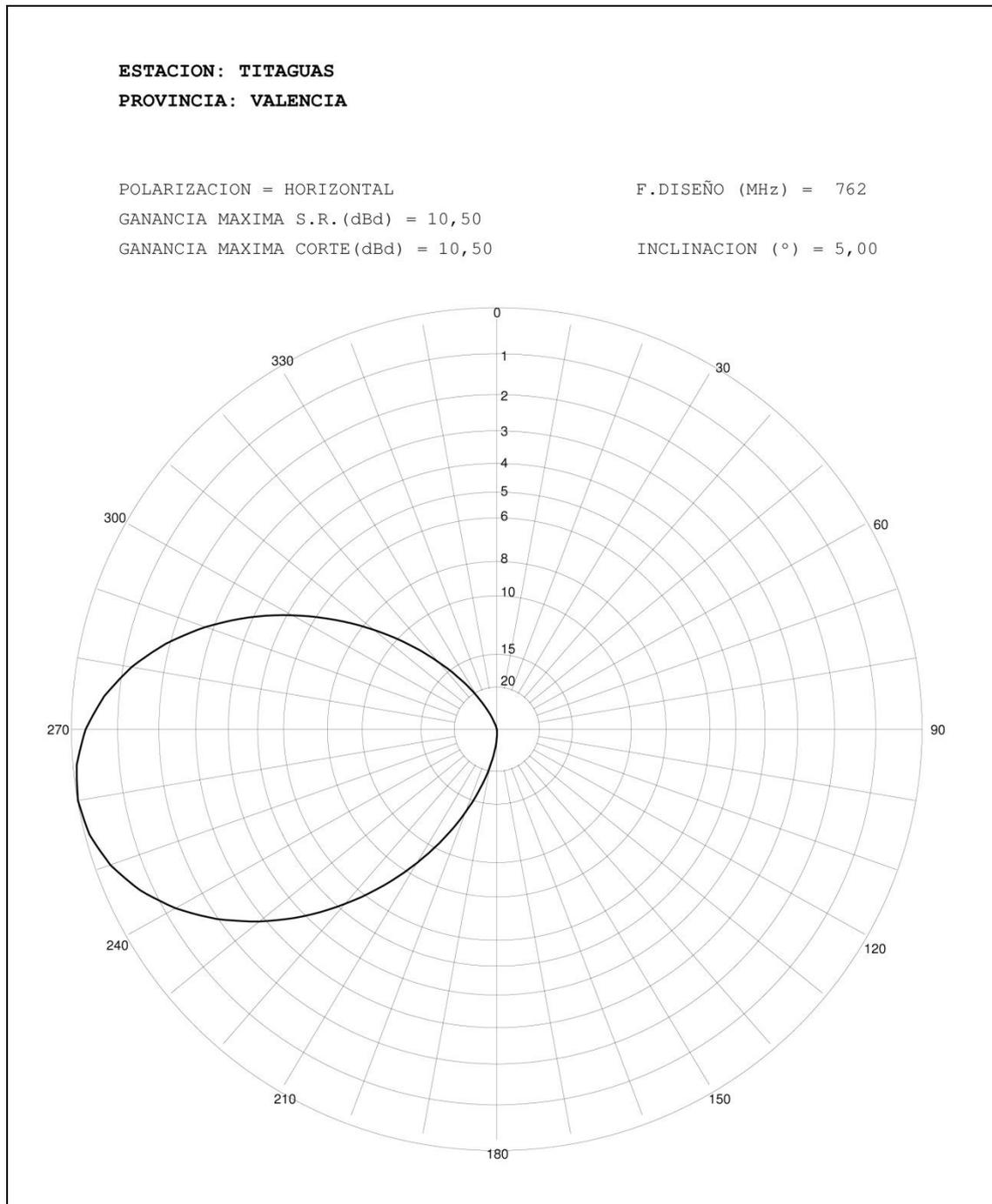


Figura 33: Diagrama de radiación horizontal

- Diagrama VERTICAL:

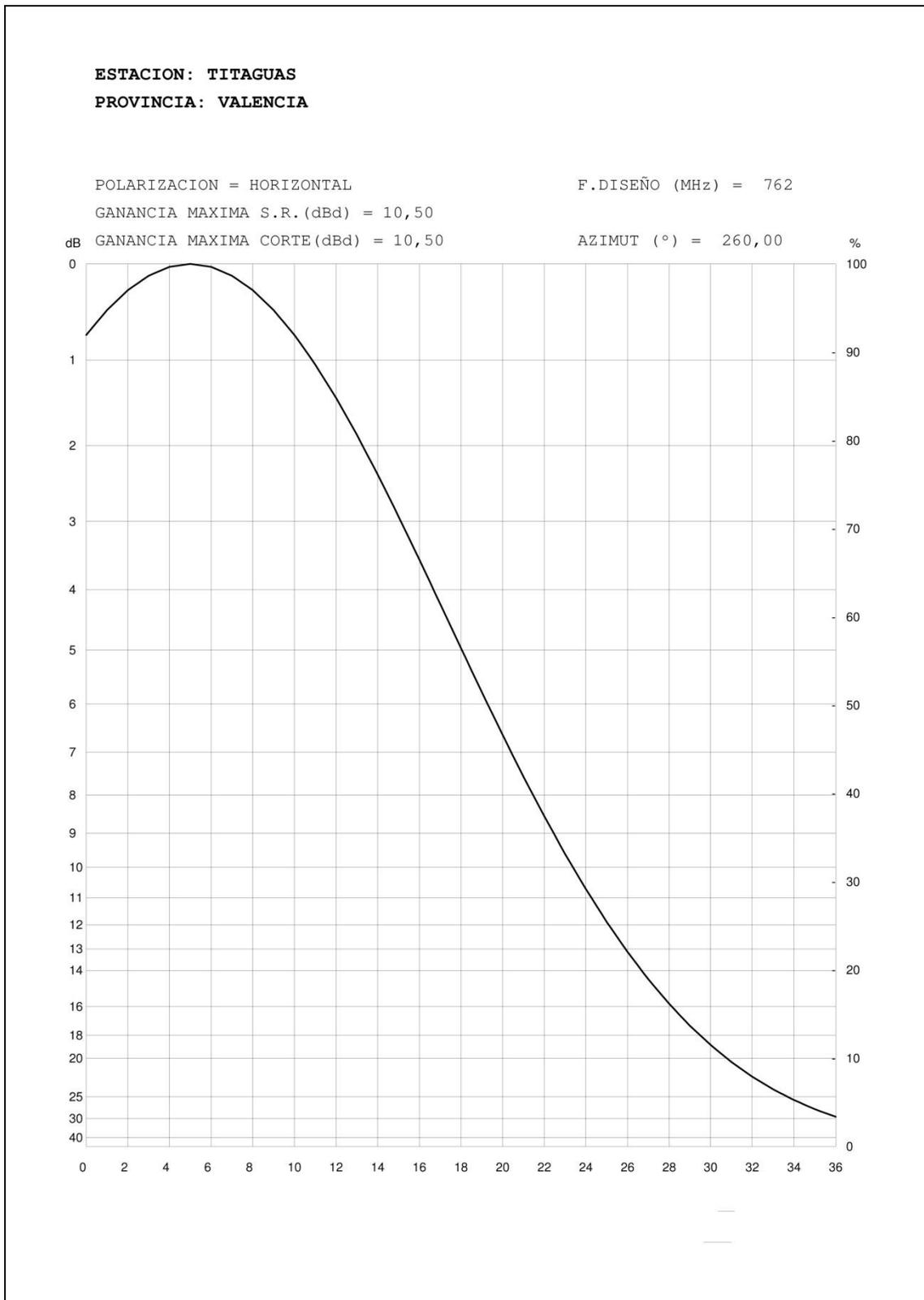


Figura 34: Diagrama de radiación vertical

5.4.6 PLOT DE COBERTURA

Tal y como se especifica en apartados anteriores, gracias al software Sirenet podemos obtener una previsión de la zona que va a cubrir nuestro centro emisor. El resultado, una vez introducidos los datos tal y como está configurado el centro, es el siguiente:

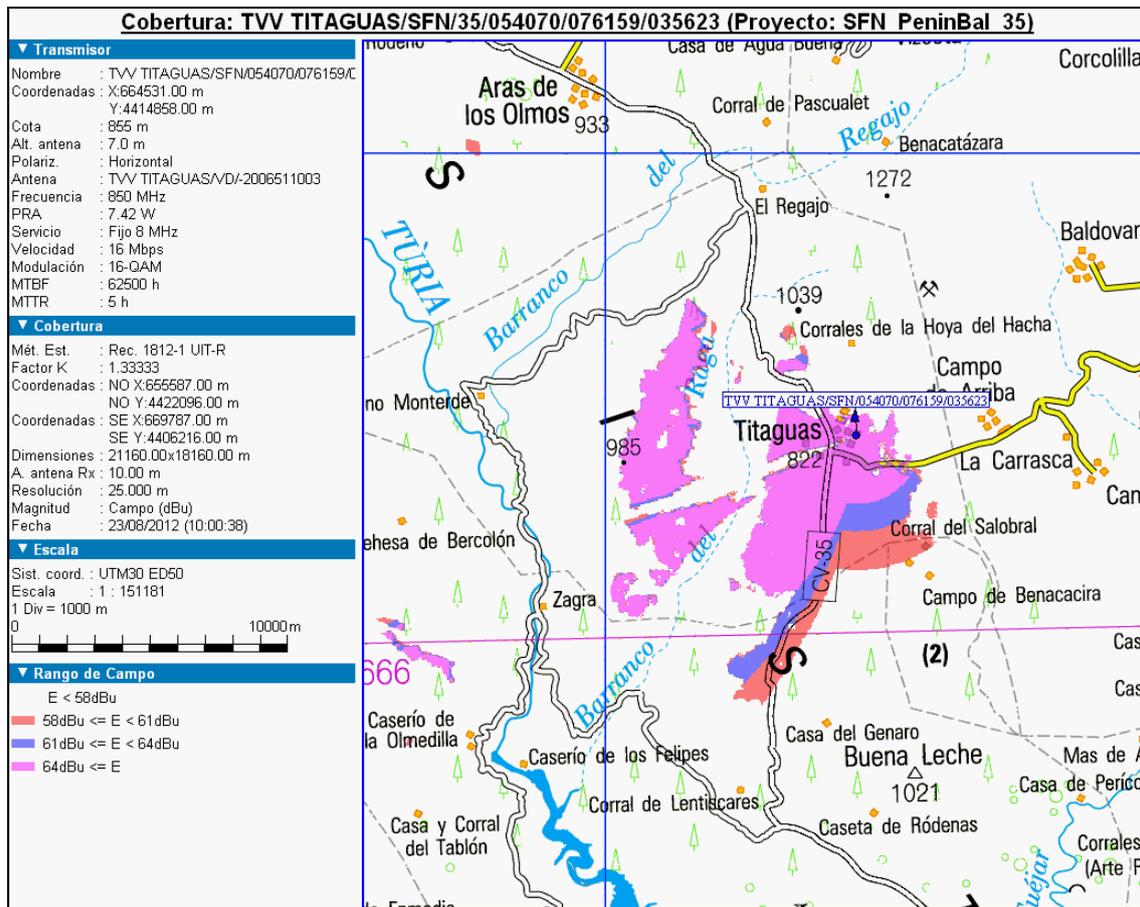


Figura 35: Esquema geográfico de simulación de cobertura del centro emisor de Titaguas

5.5 APLICACIÓN REAL

A la hora de planificar un centro que va a estar en configuración de reemisor, como es el centro de Titaguas, los pasos a seguir son siempre los mismos. Es por ello por lo que se va a definir paso a paso el proceso del caso real del centro emisor de Titaguas, definición que servirá, tanto como para mostrar los resultados finales de este Proyecto Final de Carrera, como para entender el proceso general que se aplica en todos los casos.

5.5.1 SIMULACIÓN

En primer lugar, se ha analizado mediante el software Sirenet los posibles centros donantes de señal, para ser ésta reemitida hacia la población de Titaguas. Para ello, se hace un análisis de **mejor servidor** con el software, el cual se trata de, teniendo todos los posibles centros, analizar todas las señales (y los niveles) que llegan al punto de situación geográfica en el que se encuentra el centro emisor, obteniendo los siguientes resultados estimados o esperados:

Parámetro/ / Centro emisor	Nivel de Campo (dB μ V/m)	Distancia a Titaguas (en km.)	Retardo (μ s.)
<i>TORRENTE</i>	68,04	70,41	234,7
<i>CHICHILLA</i>	42,94	119,20	397,5
<i>MONDÚBER</i>	36,30	118,20	393,4
<i>VENTA DEL MORO</i>	36,10	52,69	195,6
<i>LANDETE</i>	32,46	28,14	93,8
<i>ONTENIENTE</i>	30,05	125,8	398,2

Figura 36: Tabla de resultados de simulación de medida y comprobación de mejor servidor

De los resultados se desprende que en este caso, el único centro que nos serviría es el de TORRENTE, ya que es el único que llega con un nivel mínimo de señal (por encima de los 60 dB μ V/m, como se indica en apartados anteriores). Además, es importante tener en cuenta el retardo, ya que debe estar situado dentro del intervalo de guarda de 240 μ s. En este caso, aunque ajustado, nuestro centro donante está dentro del rango. Se adjunta también a continuación un **perfil** del recorrido geográfico que haría la señal desde el centro de Torrente hasta el centro de Titaguas, realizado con Sirenet:

Capítulo 5: CENTRO EMISOR DE TITAGUAS

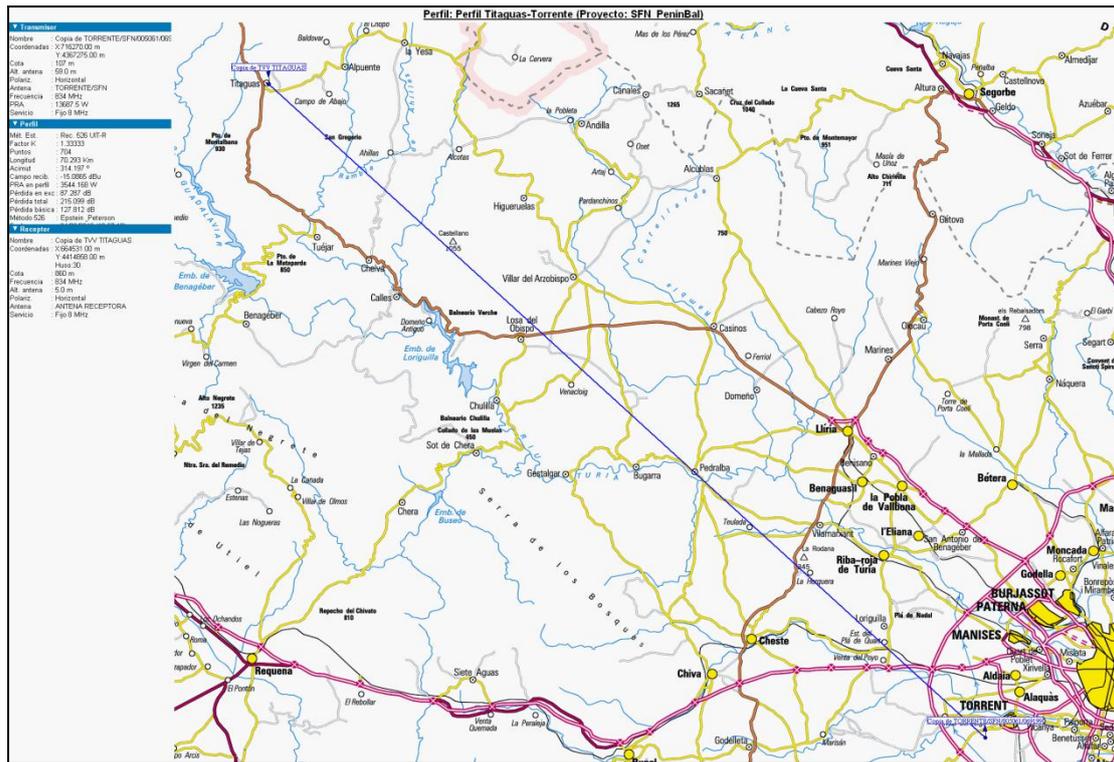


Figura 37: Perfil desde el centro emisor de Torrente hasta el centro de Titaguas

5.5.2 MEDIDAS DE CAMPO

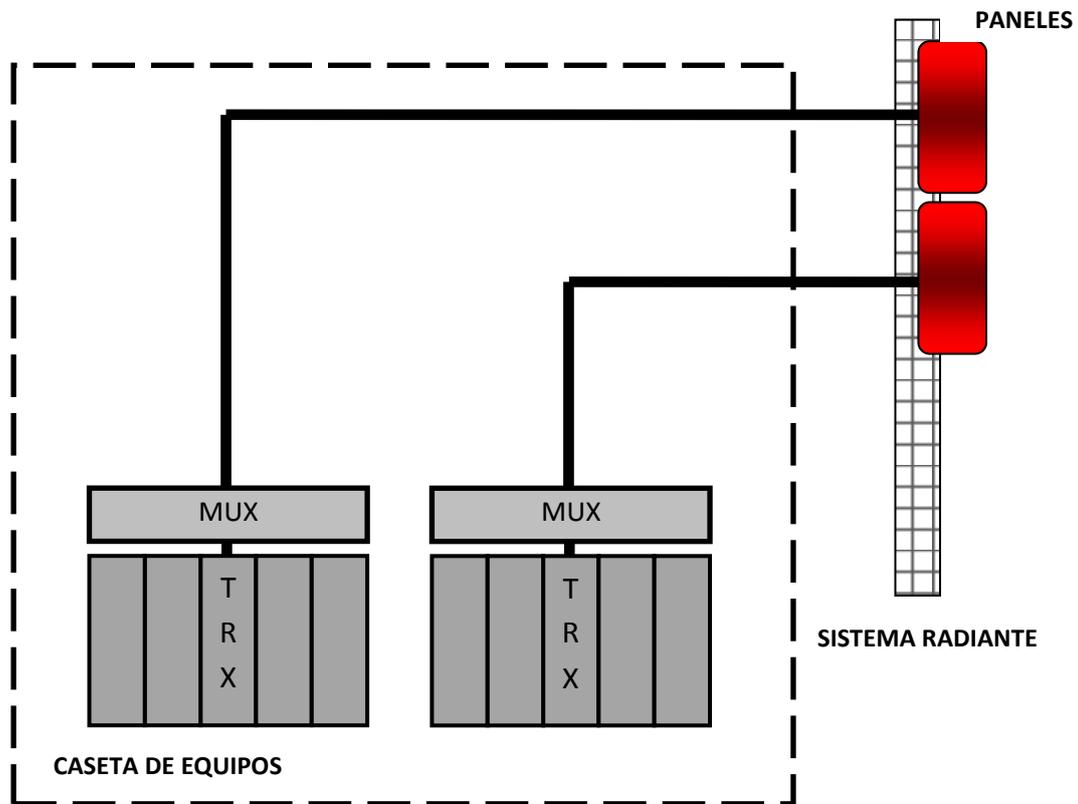
Seguidamente, una vez escogido Torrente como centro donante, se pasaría a hacer un **análisis de Gap-Filler**, es decir, se realizan una serie de medidas de campo para cada canal y en diversas ubicaciones para corroborar que se obtienen los niveles correctos de los parámetros que se han presentado anteriormente: niveles de potencia, niveles de MER y niveles de BER. Todos estos resultados se pueden presentar en un documento Excel o Word, en una tabla similar o idéntica a la siguiente. En ella se muestran los resultados obtenidos en el centro emisor de Titaguas para la señal donante proveniente de Torrente:

Centro donante: TORRENTE						
Medida con la Yagi en la torre						
PROGRAMA	RGE	RGE2	SFN67	SFN68	SFN69	TDT-A
CANAL	58	22	67	68	69	57
POTENCIA (dBm) en Yagi	- 40	-43	-46	-47	-48	-46
MER (dB)	30	34	30	29	29	32
BER (núm. de bits)	6×10^{-8}	9×10^{-8}	2×10^{-7}	5×10^{-8}	6×10^{-8}	6×10^{-8}
ALTURA YAGI (m)	6	6	6	6	6	6
GANANCIA NECESARIA (dB)	70	73	76	77	78	76

Figura 38: Resultados de medida de campo; análisis de Gap-filler.

Si se analizan los resultados, se puede concluir que el centro de Torrente es válido para servir como centro donante al centro de Titaguas, ya que los niveles obtenidos tanto en simulación como en medidas de campo son superiores a los niveles mínimos que se tienen que obtener para que un centro sea válido como donante de otro centro, como se puede observar en los apartados anteriores.

Por ello, ya se podría pasar a planificar la instalación de los equipos que se poseen, en configuración Gap-filler, en el centro emisor. Para clarificar un poco más la situación final, se adjunta a continuación un diagrama de bloques que simula la situación final en la que quedaría el centro:



TRX -> *Transmisor(es) TREDESS con dos elementos por canal a multiplexar.*

MUX -> *Multiplexor(es) TREDESS para multiplexar los servicios.*

Figura 39: Esquema representación final del centro emisor de Titaguas

Este sería el último paso, una vez aceptada la planificación por parte de las administraciones pertinentes, para formalizar y poner en marcha la instalación y, por tanto, la emisión de Televisión Digital Terrestre desde el centro emisor de Titaguas.

Conclusiones

A modo de conclusión, habría que finalizar diciendo que en el presente Proyecto se ha intentado plasmar todos o al menos una gran parte de los conocimientos aprendidos durante el período de estancia de prácticas en la empresa Abertis Telecom. El proceso seguido es muy similar al que se puede seguir en esta y en cualquier empresa a la hora de iniciar o realizar una modificación en un centro emisor de señal de televisión y/o radio. Se ha intentado mostrar la planificación y el proceso a seguir en casi todos los casos, y el Proyecto perfectamente podría servir de método de actuación en este centro o en cualquiera.

Se ha intentado mostrar que, una vez tenemos el equipamiento disponible, se puede realizar la planificación de las actuaciones necesarias para llevar a cabo el objetivo, en este caso de poder emitir desde un centro emisor, bien sea señal de televisión, o también de radio (FM). Además, el Proyecto podría pretender servir como guía para llevar a cabo estas actuaciones, ya que en él se ha intentado dar cabida a todos los aspectos importantes y relevantes que se deben conocer para realizar un proyecto de estas características.

Finalmente, se mostrarán los resultados al ayuntamiento del municipio de Titaguas, para que sean ellos los que decidan si proceder o no a utilizar los equipos existentes.

ANEXO I:

<i>CANAL</i>	<i>FRECUENCIA CENTRAL (MHz)</i>
21	474
22	482
23	490
24	498
25	506
26	514
27	522
28	530
29	538
30	546
31	554
32	562
33	570
34	578
35	586
36	594
37	602
38	610
39	618
40	626
41	634
42	642
43	650
44	658
45	666
46	674
47	682
48	690
49	698
50	706
51	714
52	722
53	730
54	738
55	746
56	754
57	762
58	770
59	778
60	786
61	794
62	802
63	810
64	818
65	826
66	834
67	842
68	850
69	858

Figura 40: Listado de los canales y sus frecuencias centrales en televisión digital

Anexo II: HOJA DE CARACTERÍSTICAS GAP-FILLERS TREDESS

DVB-T/T2/H GAP FILLERS | COMPACT SERIES | Technical specifications

Denomination	MOD RF-RF 1W CS	MOD RF-RF 5W CS
Technical specifications		
RF input		
Frequency range	1 UHF Channel (CCIR 8MHz)	
Input signal range	-70 to -20 dBm	
Noise figure	<8 dB	
Return losses	>15 dB	
Image frequency rejection	>65 dB	
Adjacent channel rejection	>80 dB	
Impedance	50 Ω	
Connector	BNC Female	
DAE (Digital Adaptive Equalizer)		
Maximun Gain range (signal - echo)	-15 dB	
Cancellation window	0 - 8 μs	
Output power adaptive regulation	Yes	
DEEC (Doppler Doppler Enhanced Echo Canceller)		
Maximun Gain range (signal - echo)	-24 dB	
Cancellation window	Continuous cancellation from 0,5μs to 16,5μs. Selective cancellation up to 37μs.	
Doppler cancellation	Yes	
Local oscillators		
Phase noise	> 95 dBc/Hz @ 1KHz (MFN mode)	
Frequency steps	± 166.666667 KHz	
Frequency stability with temperature	± 1 x 10e-6 (-10 to 60°C) (without external GPS)	
Frequency stability for a year	± 1 x 10e-6 (without external GPS)	
RF output		
Frequency range	470 – 862 MHz	
Output Power (after filter combiner)*	1W	5W
Distance to the shoulders	>38 dB	
Power stability	± 0,5 dB	
Phase noise	> 95 dBc/Hz @ 1KHz (MFN mode)	
Return losses	>20 dB	
Spurious emissions out of channel (without Filter)	<-60 dBc	
Impedance	50 Ω	
Connector	BNC Female	
Power test output		
Coupling	27 ± 3 dB	37 ± 3 dB
Connector	BNC Female	
External reference input		
Frequency	10 MHz	
Input level range	-20 to +10 dBm	
Connector	BNC Female	
General		
Control and monitoring	Ethernet, GSM/GPRS/UMTS/HSDPA, relays, SNMP	
Input voltage range	220 Vac ± 15%	
Consumption	23W	60W
Temperature range	0 to 45°C	
Power factor	0,9	
Dimensions (width / height / depth)	19" / 5HU / 250mm	
Cooling	Forced	
Directives & standards		
R&TTE	199/05/EC, EN 301489-1, EN 301489-14, EN 60950	
Standards	EN 300744, EN 302304, EN 302755, TS 101191, EN 50083-9, TR 101290, AC 106	

* Output power level is measured after filter combiner (2dB losses). The maximum output power at the amplifier's output connector is 1.6W (32dBm) for the 1W transmitter and 7.9W (39dBm) for the 5W transmitter.

ACCESORIES FOR THE BROADCASTING EQUIPMENT

COFDM-ASI CONVERTER FOR BROADCAST SERIES

Reference	858131
Denomination	MOD COFDM-ASI
Frequency range	470 - 862MHz
Noise Figure	≤6dB
Frequency image rejection	≥65dB
Lock margin	±500KHz
Input signal range (64QAM, 2/3, 1/4, 8MHz)	-80dBm to -10dBm
Bandwidth	6MHz, 7MHz, 8MHz
Constellation	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
FFT	2K, 8K
Guard interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
FEC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
Standard	ETS300744
Decoder MPEG-2 input format	TSMPG-2/DVB
RF input impedance	50Ω
RF input connector	BNC female
MPEG2 output	ASI
ASI modes	Byte, Packet
MPEG2 output connector	BNC female
MPEG2 output impedance	75Ω
Consumption	5V : 550mA
Working temperature	0 to 45°C
Dimensions	45x218(SHU)x152mm
Weight	0,7Kg



ACTIVE DEMULTIPLEXER

Reference	858120
Denomination	MOD ACTIVE DEMUX
Frequency range	470 - 862 MHz
Impedance	50 Ohm
Inputs	1
Outputs	8
Gain margin (per output)	9.5 +/- 1 dB
Band oscillation	< 1.5 dB
Attenuation @ 100 MHz	> 65 dB
Attenuation @ 950 MHz	> 20 dB
Noise figure	< 5 dB
IP3 output	+20 dBm
Input return losses	> 13 dB (15 dB typ)
Output return losses	>18 dB
Outputs isolation	>25dB
Input connector	BNC
Output connector	BNC
Power supply	13.5V / 110mA (two inputs)



MULTIPLEXER FILTERS

References	858507	858508	858509	858510	858511	858512
Denomination	MONOPLEXER	DIPLEXER	TRIPLEXER	TETRAPLEXER	DOUBLE DIPLEXER	PENTAPLEXER
Frequency range	470 - 862 MHz					
Impedance	50 Ohm					
Number of resonants	3					
Input/output return losses	> 20 dB					
Bandwidth	1 TV Channel (CCIR 8 MHz)					
Insertion losses	1 dB					
Maximum input power	10 W DVB-T / 50 W analogue					
Channel N±3 rejection	> 30 dB					
Number of Inputs	1	2	3	4	4	5
Input connectors	BNC Female					
Output connector	Type N Female					
Size	19" x 2HU x 250mm					19" x 3HU x 250mm



Anexo IV: TELEVISIÓN EN ALTA DEFINICIÓN o HDTV

Las nuevas tecnologías de fabricación aplicadas a la TV, han provocado la aparición en el mercado de pantallas planas a unos precios que empiezan a ser accesibles al público. Estas pantallas, en general de gran formato, ponen en evidencia las imperfecciones de la TV analógica, de ahí la necesidad de las nuevas técnicas digitales. Sin embargo, para sacar el máximo rendimiento a las nuevas pantallas de televisión, sobre todo si estas superan las 32", sería necesario dar el salto a la HDTV.

Después de la conferencia DVB *World Forum* en Dublín (en marzo de 2004), donde quedó claro que este organismo ya había contemplado desde un principio la HDTV (*High Definition Television*) en los esquemas de codificación de señal, señalando varias posibilidades a elegir en función de las características del mercado, y ante la duda de que pudiera haber una implantación foránea, el EBU hizo reunir al grupo destinado a la evolución de la calidad de la TV para que analizara su implementación práctica. Este grupo integrado dentro del proyecto B/TQE (*Broadcasting/Television Quality Evolution*), que ya había hecho reuniones previas, se volvió a reunir en abril para analizar las técnicas digitales de codificación. Las conclusiones a las que llegó el grupo giran en torno a la problemática de la transmisión de señal HDTV, dejando aparte el aspecto de los formatos de producción. Así, como resultado de los análisis llevados a cabo, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se opta por recomendar el uso de un sistema de exploración de tipo progresivo en lugar del actual entrelazado. Esto, obviamente, afecta al mundo de los fabricantes de pantallas.
- El grupo evaluó los dos sistemas de escaneo progresivo especificados por la Sociedad de imágenes en movimiento e ingenieros de televisión (SMPTE: *Society of Motion Picture and Television Engineers*) de USA para aplicarlos a Europa, utilizando **50 Hz** en lugar de los 60 Hz actuales.
- Los formatos recomendados serán 720p/50: 720 líneas, exploración progresiva, 50 Hz. Ó bien 1080p/50, es decir, 1080 líneas.

Las principales características que han conducido al grupo B/TQE a recomendar la exploración progresiva, son:

- La exploración progresiva ya se viene utilizando en todos los monitores de los ordenadores personales y también en los reproductores de DVD, ampliamente implantados en todos los hogares.

- Con la exploración progresiva, el vídeo se puede comprimir de forma adaptativa, es decir, de acuerdo al contenido de la imagen o de la tasa binaria disponible en el canal.
- Es muy fácil convertir una exploración progresiva en una exploración entrelazada, pero no sucede lo mismo al revés. Por otro lado, pasar de una exploración entrelazada a una progresiva, además de ser mucho más complejo, deteriora la imagen y la calidad. Por tanto, es mejor transmitir con exploración progresiva y que sea el receptor el que haga la conversión a entrelazado. Es decir, la exploración entrelazada puede trabajar igualmente bien con avanzadas pantallas de exploración progresiva.
- Finalmente, la utilización de la exploración progresiva, de acuerdo con la experiencia que nos ofrece el mercado de USA (en donde utilizan 720p/60), es la mejor forma de transmitir imágenes con mucho movimiento, como es el caso de los deportes. Incluso, el hecho de poder reproducir nítidamente jugadas a “cámara lenta”, es una característica de mucho peso para su adopción.

De las exhaustivas pruebas que se han hecho entre el público para valorar la calidad de la imagen percibida con la HDTV y qué tipo de cambios puede suponer para el espectador con relación a la situación actual, se ha concluido que:

- La distancia a la que mejor se ve la HDTV es la misma que la evaluada hace quince años, entre 4 y 5 veces la diagonal de la pantalla.
- El tamaño de pantalla preferido por los espectadores oscila alrededor de la 32”, siendo ya menos habitual pantallas de 50”.
- De los dos formatos de HDTV que se maneja, es el 720p/50 el que parece más idóneo, a las distancias normales en que se ve la televisión. El segundo formato proporciona mucha más calidad de la que realmente se necesita en la mayoría de los casos. Ahora bien, el público será el que decida al final cual es el más adecuado. Por otro lado, técnicamente hablando, el formato 720p/50 necesita mucho menos velocidad binaria para su transmisión.

A modo de conclusión, la HDTV ofrece cotas de calidad que no pueden ser alcanzadas por la TV actual, y supondría un gran avance en la calidad de la imagen, como así lo demostraron pruebas de percepción subjetiva de la calidad de la imagen entre la TV estándar MPEG-2 y la HDTV.

ANEXO V: TELEVISIÓN INTERACTIVA EN ESPAÑA

V.1. INTRODUCCIÓN

La promesa de la interactividad en el medio televisivo se remonta más de medio siglo atrás. A pesar de la inmensa popularidad de la televisión, siempre hubo personas o empresas empeñadas en cambiarle la fisonomía y su naturaleza más homogeneizadora al medio a través de una mayor participación del espectador. En todo este tiempo, la realidad se ha mostrado empecinada, y casi todas las experiencias en esta dirección se han saltado con un fracaso. En la última década, el lanzamiento de la televisión digital ha traído consigo nuevas expectativas sobre los proyectos interactivos, que han empezado a crecer y a integrarse, en una escala variable de grados, en los servicios ofrecidos por las principales plataformas de televisión. España no ha sido una excepción, aunque la apuesta por estos servicios ha pasado por altibajos considerables en función, básicamente, de la situación del mercado. A continuación, se trazarán las líneas generales de la experiencia española de servicios interactivos en televisión hasta la fecha.

V.2. HISTORIA ANALÓGICA DE LA TELEVISIÓN INTERACTIVA

Los términos televisión interactiva (TVi) y televisión digital no son sinónimos, aunque habitualmente se asocien ambos conceptos. Se trata sin duda de un binomio propio de los servicios interactivos actuales, pero existen unos orígenes, casi una prehistoria de la televisión analógica.

La primera experiencia que se puede considerar cercana a la TVi es el teletexto, cuya difusión regular introdujo TVE el 16 de mayo de 1988 bajo el nombre de Telecinco, tras emitir en pruebas desde abril de 1987 y ofrecer una pantalla abierta desde 1986 en horario matinal. En 1990, el parque de receptores que podía recibir dichas señales se quedaba en el 9,9%, aunque en realidad sólo el 2,7% de la población accedía diariamente al servicio.

Tras la aparición de las televisiones privadas en España, a inicios de la década de los 90, se efectúan una serie de incursiones en el campo de la interactividad como *Hugo*, unos dibujos animados originarios de Dinamarca y que en España emitió Telecinco. La interactividad se reducía al espectador que participaba desde casa y que utilizaba las teclas del teléfono para controlar el movimiento en pantalla del personaje.

Otras experiencias utilizaron herramientas desarrolladas *ad hoc*, como *Teletrébol*, utilizado por Telecinco desde 1992 y que consistía en un mando a distancia que contenía

esta plataforma. Dentro de los servicios interactivos autónomos (SIA), el satélite ha ofrecido una gama extensa de aplicaciones. Descontada la necesaria guía electrónica de programación (EPG), elemento organizador de los contenidos de las diferentes plataformas, ya sea en formato pantalla completa o a través de miniguías que se superponen en la emisión, se desarrollaron diferentes servicios de información, tanto generalistas como especializados. Algunas de estas aplicaciones son exclusivas del mercado español, como *Aeropuertos*, un servicio de Vía Digital, que ofrecía en la pantalla del televisor información sobre el movimiento de aeronaves en los distintos aeródromos españoles. La gran mayoría, no obstante, siguen en la línea de las ofrecidas en el mercado internacional, dedicadas a la meteorología (*Canal Méteo*, en Digital+) o a la evolución bursátil (*Infobolsa*, Digital+). También se han desarrollado aplicaciones corporativas (*Iberdrola*, Digital+) que rozan la fina línea de separación con la publicidad.

Otro tipo de aplicaciones usuales en el contexto internacional y que se han podido disfrutar en España incluyen la telebanca (*La Caixa*, Digital+), juegos (el paquete *Playin TV* en Digital+) o el inevitable comercio electrónico, que seguramente tiene su aplicación más clásica en el *Canal Club* de Digital+, que se configura como un espacio transaccional autónomo en el que los usuarios pueden adquirir diversos productos a través del mando a distancia. Otras aplicaciones independientes, como diversos servicios de recarga de tarjetas para el teléfono móvil, también cabrían dentro de esta categoría. La participación también ha tenido su espacio en sistemas de votación como el implementado por MTV España como promoción de los *MTV Europe Music Awards* del año 2002 (Digital+).

Por otro lado, existen también otro tipo de aplicaciones interactivas que actúan simultáneamente con la emisión televisiva, convirtiéndose en sistemas interactivos asociados a programas (SIAP), aunque estas aplicaciones han resultado históricamente muy difíciles de encontrar en las plataformas españolas de satélite. Adolecen de mayor complejidad técnica y precisan dotarse, además, de una cierta coherencia con el contenido de la emisión, ya sea para ofrecer información complementaria sobre la misma o permitir algún tipo de interacción, directamente a través del mando a distancia o utilizando otros canales de retorno extrínsecos como el sistema de mensajes SMS del teléfono móvil.

Una tercera categoría correspondería a los programas audiovisuales interactivos (PAI), que se diferencia de la anterior en que la acción del usuario tiene consecuencias sobre el contenido de imágenes videográficas que visiona en pantalla. El ejemplo más claro de los utilizados por el satélite se corresponde al sistema de selección de ángulos de cámara, que permite al usuario erigirse en realizador de la transmisión. Este servicio fue implementado por primera vez en las retransmisiones de Fórmula 1 y de fútbol de Canal Satélite Digital.

V.4. TELEVISIÓN POR CABLE

A diferencia del satélite, el cable como industria en España nunca ha destacado por su oferta interactiva. Y ello a pesar de que tecnológicamente es la industria que cuenta con mayor capacidad para ofrecer servicios de este tipo, por dos motivos: en primer lugar,

cuenta con el ancho de banda necesario para ofrecer servicios avanzados; en segundo lugar, cuenta con un canal de retorno intrínseco en la arquitectura de su red, una ventaja de la que carecen plataformas de distribución rivales como el satélite o la televisión hertziana.

No obstante estas circunstancias favorables, su debilidad industrial ha jugado en contra de la implementación de servicios interactivos innovadores. Con una estructura lastrada por la atomización del sector en función de las demarcaciones en las que las diferentes compañías prestaban su servicio, tan solo los últimos procesos de concentración han conseguido crear un actor potente con presencia en la mayor parte del territorio en torno a Ono. En este tiempo, la apuesta de mercado de los diferentes operadores se ha centrado en el empaquetamiento de una oferta triple de televisión, telefonía e Internet. Los contenidos audiovisuales han resultado en muchas ocasiones subsidiarios, dada, además, la posición previa de control de los operadores de satélite sobre los contenidos más atractivos, mientras que los servicios interactivos han quedado relegados a una posición totalmente irrelevante. Dentro de los servicios avanzados de televisión, la explotación más intensiva se ha dirigido hacia servicios que podían reportar fuentes de ingresos rápidas y directas, como el pago por visión, aunque eso no impidiera otro tipo de servicios como los juegos *Popix* y *Nogi* en Auna Cable.

V.5. LA INTERACTIVIDAD COMO FACTOR DIFERENCIADOR: QUIERO TV

Muy diferente del cable fue la predisposición hacia la interactividad con la que nació la TDT en España. El 5 de mayo de 2000, Quiero TV iniciaba sus emisiones en una nueva tecnología que, además, se presumía importante en el desarrollo de los nuevos servicios de la sociedad de la información. Uno de los servicios más avanzados que ofrecía Quiero TV, además del factor de diferenciación respecto de otras ofertas de televisión multicanal, eran los servicios de valor añadido y, entre estos, la posibilidad de navegar por Internet a través del televisor, una oferta a priori atractiva por el todavía escaso índice de penetración de Internet en los hogares españoles.

Junto a este servicio de acceso a Internet, otra de las aplicaciones estelares que ofrecía Quiero TV era una versión interactiva del concurso *50x15 (Quién quiere ser millonario)*, es decir, un SIAP bajo la modalidad de juego, también implementado por Vía Digital. Cada espectador podía jugar desde casa a la vez que el concursante de plató, aunque la interacción real no se realizaba con el programa de televisión, sino contra una aplicación que funcionaba simultáneamente. Una vez más, la ingeniería de contenidos puesta al servicio de la percepción de la interactividad. Quiero TV ofrecía, además, otros servicios como guía electrónica de programación (EPG), compra en línea, envío de mensajes a móviles, correo electrónico, chat y juegos, así como aplicaciones con información de complemento de algunos programas.

A pesar de esta apuesta decidida por la interactividad, la insuficiencia de abonados acabó con la aventura empresarial de Quiero TV, que cerró y renunció a su licencia de

explotación, originando de paso una situación de *impasse* en la TDT española que se prolongó al menos tres años.

El estancamiento de la TDT, la atomización del cable y, finalmente, el proceso de concentración en la televisión por cable que dio como resultado la fusión de Vía Digital y Canal Satélite Digital supuso un parón considerable en la implementación de aplicaciones interactivas y, de paso, en la industria auxiliar que tímidamente había empezado a surgir a su alrededor. Mientras duró la competencia, la necesidad de diferenciación llevó a los diferentes operadores a utilizar los servicios de naturaleza interactiva como un factor de atracción de nuevos usuarios. Acabada la etapa de competencia, el interés por la interactividad desapareció a favor de la generación de ingresos directos que el tipo de aplicaciones que se estaba desarrollando no parecían garantizar.

V.6. INTERACTIVIDAD EN LA TDT

En este contexto, el mercado español de aplicaciones interactivas para televisión ha vivido una congelación casi total en el período comprendido entre 2002 y 2005, fecha en la que la TDT arrancó por segunda vez tras el fracaso comercial de Quiero TV. Eso sí, el relanzamiento de la TDT se ha realizado con una oferta de servicios interactivos mucho más reducida y, seguramente, más realista ante las posibilidades y las exigencias del mercado.

Tras la situación de *stand-by* generada por el cierre de Quiero TV, el primer signo de reactivación vino de la televisión pública catalana, *Televisió de Catalunya* (TVCC), que lanzó la prueba piloto *Micromercats* entre marzo de 2003 y junio de 2004 en la que, entre otros contenidos, se testaron aplicaciones interactivas.

En un primer nivel se optó por articular una oferta de SIA y se diseñaron servicios de interacción permanentes que no iban ligados a la emisión de los programas. Las consultas se podían realizar con independencia del programa presente en antena. Se trataba de servicios relacionados fundamentalmente con aspectos de la programación y con dos ámbitos de contenidos: el tiempo y las noticias. Se pretendían crear sinergias entre diferentes empresas de la matriz de TVCC, la *Corporació Catalana de Ràdio i Televisió* (CCRTV). Por un lado se aprovechaba el material disponible del canal del tiempo y por otro lado el de los diferentes portales informativos, además del *know-how* de las empresas tecnológicas del grupo. En el planteamiento de experimentación se avanzaba en la potenciación de las dinámicas productivas que permiten una producción de contenidos digitales multiplataforma.

En un segundo nivel se encontraban las aplicaciones sincronizadas con los programas y en las que sólo se podía interactuar en relación al flujo televisivo clásico. En el ámbito de los SIAP, la experimentación aportaba elementos para entender la complejidad de los procesos de interacción asociados a los diferentes contenidos programáticos. En estas pruebas, la producción de los programas no se realizó pensando desde sus inicios en una plataforma interactiva, sino que lo que se hizo fue adaptar las ofertas de servicios interactivos a los contenidos ya existentes. La prueba pendiente es

producir pensando, desde el momento de la concepción del programa, en los procesos de interacción que permiten cada una de las plataformas mediante las que se difunde el contenido programático. En última instancia, también habrá que entrar en la fase de desarrollo integral de TVi que necesariamente implica la producción de productos más complejos.

Finalmente, la experiencia con el canal *3x1.net* permitió desarrollar una adaptación a la TDT del formato de portal de Internet. El contenido era el básico que se podía encontrar en el portal: noticias, programación, concursos, encuestas o tests. El producto estaba asociado directamente al portal de Internet con contenidos que podían beneficiarse de la programación constante en el entorno web.

Por tipos de aplicaciones, se pusieron en marcha diversos SIA como una miniguía de navegación con sistema de correo, sobreimpresión de noticias, un *TVsite* sobre el tiempo y servicios de programación. Entre los SIAP se contabilizaron hasta 79 aplicaciones sincronizadas con diferentes programas y que se correspondían a tres grandes áreas: consultas, concursos y publicidad interactiva. En esta línea, en determinados programas se instaba al espectador a intervenir dando su opinión, mediante un sistema de pregunta-respuesta, en forma de encuesta, test, concurso, etc.

En lo que a TVE respecta, en octubre de 2004 realizó una prueba piloto estructurada en cuatro grandes áreas: *Zapping*, *Deportes*, *Contamos todos* y *Digitext*. En la zona *Zapping* se agrupaban los dos canales de TVE, La Primera y La 2, así como los canales temáticos y un canal desarrollado para esta prueba. En *Deportes* se reunían dos grandes espacios, dedicados a la Liga de Campeones de fútbol y a los Juegos Olímpicos. El apartado *Contamos todos* incluía básicamente algunos de los nuevos programas de la temporada 2004-2005, como *Dos Rombos* o *59 Segundos*, e infantiles como *Los Lunnis*.

Estos servicios interactivos se hallaban en un grado de desarrollo incipiente y sólo tenían la intención de demostrar las posibilidades de la televisión digital para implementar servicios de valor añadido que pudieran aportar informaciones complementarias a las emisiones televisivas. Los informativos, *TVE educativa* o las *Novedades de RNE* fueron los programas a los que se añadieron los diferentes servicios interactivos a modo de ejemplo. Finalmente, se desarrollaron las posibilidades del teletexto digital mediante el sistema de *Digitext*, con dos grandes apartados, el de servicios como la cartelera, al aula de lengua o la bolsa de trabajo, e *InfoCiudadano*, con las informaciones relacionadas con la educación, la familia y la salud. Algunos de estos servicios fueron de base para las primeras implementaciones efectivas que TVE realizó en sus programas de TDT a partir de 2005, de manera que, aunque limitada como experiencia, sirvió para crear una primera fuente de *know-how* sobre la materia. Con medios más que limitados, el equipo de TDT de TVE ha perseverado en su esfuerzo de implementar servicios novedosos con resultados muy meritorios y en todo caso por encima del esfuerzo de financiación dedicado por el ente a esta finalidad.

Por su parte, las televisiones privadas que obtuvieron licencias sólo en TDT (Veo TV y Net TV) en el contexto de un mercado que no despegaba y con una carencia de equipos receptores, tampoco ha invertido esfuerzos en el desarrollo de aplicaciones

interactivas. Ni las cadenas privadas a las que se apelotonó en un multiplex con las dos cadenas públicas estatales pusieron en marcha servicios interactivos. Tenían una buena excusa para ello, ya que el ancho de banda para el canal de datos lo hacía inviable una vez que se transmitían cinco canales de televisión simultáneamente. Pero tampoco se puede decir que hayan corregido el tiro tras la reorganización del sector de la TDT con la reutilización de los múltiplex que habían sido atribuidos a Quiero TV. Ahora ya no padecen las estrecheces de ancho de banda que tenían en la situación precedente por lo que el déficit de experimentación y de oferta de servicios interactivos de valor añadido no se puede atribuir a esta causa.

En la práctica, la ausencia de estos servicios actúa como un freno objetivo a la penetración de la TDT, ya que el ciudadano no percibe la existencia de una serie de contenidos a los que no puede acceder por no dotarse de esa tecnología. De tal modo, cuando se aproxima la fecha del apagón analógico, sólo una quinta parte de los hogares españoles está en disposición de recibir la TDT y no todos estos disponen de receptores habilitados con el estándar MHP, los únicos que pueden dar acceso a los servicios interactivos terrestres. Las cadenas de TDT concedidas por las Comunidades Autónomas siguen la misma tónica que las de ámbito nacional, introduciéndose de esta manera en el ciclo vicioso que impide el arranque definitivo de este tipo de aplicaciones.

Listado de figuras y tablas

<i>Figura 1: Esquema de un Disco de Nipkow.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2: Barrido progresivo.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 3: Barrido entrelazado.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 4: Esquema de un iconoscopio.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 5: Representación de una señal de video compuesto.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 6: Representación vectorial de los colores en NTSC.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 7. Perfil de un canal PAL en UHF (G-PAL).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8: Mapa de España, con los canales de RGE y TDT-A para cada provincia.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 9: Localización y ámbito de actuación de la gestión del múltiple.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 10: Figura Sync.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 11: Proceso de codificación y decodificación de vídeo mediante MPEG.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 12: Secuencia típica de imágenes MPEG.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 13: Esquema correspondiente del generador pseudoaleatorio.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 14: Modulación BPSK.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 15: Constelación QPSK.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 16: Diagrama de ojo QPSK.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 17: Constelación 64 QAM.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 18: Diagrama de ojo 64 QAM.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 19: Tabla-resumen aspectos modulación OFDM.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 20: Estructura típica de una red SFN.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 21: Ejemplos de paneles UHF de difusión de TDT.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 22: Ejemplos de antenas Yagi.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 23: Ejemplos de antenas parabólicas de recepción satélite.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 24: Proceso de funcionamiento de un Gap-Filler.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 25: Desacoplo en Gap-fillers.....</i>	<i>93</i>

<i>Figura 26: Exterior de la caseta del centro.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 27: Exterior (II) de la caseta del centro.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 28: Paneles UHF y torreta.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 29: Equipos reemisores de TDT.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 30: Diagrama de la torre del sistema radiante del centro emisor de Titaguas.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 31: Diagrama del sistema radiante de la cadena multiplexora de los canales RGE, RGE2 y SFN68.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 32: Diagrama del sistema radiante de la cadena multiplexora de los canales SFN67, SFN69 y TDT-A.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 33: Diagrama de radiación horizontal.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 34: Diagrama de radiación vertical.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 35: Esquema geográfico de simulación de cobertura del centro emisor de Titaguas.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 36: Tabla de resultados de simulación de medida y comprobación de mejor servidor.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 37: Perfil desde el centro emisor de Torrente hasta el centro de Titaguas.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 38: Resultados de medida de campo; análisis de Gap-filler.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 39: Esquema representación final del centro emisor de Titaguas.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 40: Listado de los canales y sus frecuencias centrales en televisión digital.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 41: Telecinco, el primer teletexto de TVE.....</i>	<i>118</i>

Referencias bibliográficas

- [www1]: http://es.wikipedia.org/wiki/Disco_de_Nipkow
- [www2]: www.dvb.org
- [www3]: <http://mpeg.chiariglione.org/>
- [www4]: <http://www.jpeg.org/>
- [REF5]: Reed-Solomon Codes and their applications. WICKER, STEPHEN. Ed. WILEY. 1999
- [www6]: <http://tecnicaudiovisualkinoki.org/radio/dab.htm>
- [www7]: <http://www.ieee802.org/11/>
- [www8]: www.dvb.org
- [www9]: <http://pda.etsi.org/pda>
- [www10]: <http://www.televisiondigital.es/Terrestre/Ciudadanos/ComisionSeguimientoTDT/DocumentosAprobadosForoTecnico/>

Bibliografía

- José Ignacio Alonso Montes, Fidel García Pedraja y otros, "TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE: Aplicaciones y Proyectos Técnicos. Aspectos de Transmisión", *Cátedra - Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones*.
- Hervé Bendit, "TELEVISIÓN DIGITAL (MPEG-1, MPEG-2, Sistema Europeo DVB)", *Paraninfo*.
- Manuel Cubero, "LA TELEVISIÓN DIGITAL. Fundamentos y teorías", *Ediciones técnicas Marcombo - Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicaciones*.
- www.dsplog.com - Web de procesamiento de imagen para comunicaciones.
- www.google.es - Buscador Google.
- <http://www.kics.edu.pk> - Web del *Institute of Computer Science*.
- Javier Marzal Felici, Andreu Casero Ripollés y Marcial Murciano Martínez, "EL DESARROLLO DE LA TELEVISIÓN DIGITAL EN ESPAÑA", *Netbiblo*.
- www.radiosim.com - Software científico de radiotransmisiones.
- www.scirus.com - Buscador de información científica.
- www.setsi.mcyt.es - Ministerio de Ciencia y Tecnología. Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información. Documento PDF: "Manual de buenas prácticas cadena de recepción" del MCyT.
- www.televisiondigital.es - Web de información adicional del Ministerio de Industria.
- <http://www.tredess.com/es/difusion/> - Página oficial de la empresa *Tredess*.
- VV.AA., "TELEVISIÓN Y RADIO ANALÓGICA Y DIGITAL: Sistemas para la recepción y distribución de las comunicaciones y servicios en edificios y viviendas", *Ediciones TELEVÉS*.
- www.es.wikipedia.org - Wikipedia: enciclopedia de Internet.
- Iñaki Zabaleta Urkiola, "TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN AUDIOVISUAL (Sistemas y servicios de la radio y televisión digital y analógica por cable, satélite y terrestre)", *Ed. BOSCH colección Comunicación*.