

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Telecomunicaciones y
Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

*"Alternativa para la introducción de la Televisión
Digital Terrestre (TDT) en Cuba"*

Autor: Jorge Antonio Ortiz Dorta

Tutor: MSc. Híram del Castillo Sabido

Consultante: Ing. Manuel Barrera Céspedes

Santa Clara

2008

"Año 50 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total, y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicado sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor.

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo.

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica.

Agradecimientos

A mis padres, por su gran apoyo durante toda la carrera.

A mi tutor, porque a pesar de su intenso trabajo, siempre tuvo tiempo para mí.

A Barrera, por la valiosa información y los conocimientos que me aportó.

A Tony, por su amistad y ayuda desinteresada todos estos años.

A mi familia, por ayudarme en este empeño.

Dedicatoria

A mis padres.

Pensamiento

*"Solamente el esfuerzo propio puede producir
Los beneficios que muchos esperan por milagros"*

J.A. Rosenkrantz.

Resumen

La transmisión de televisión digital terrestre (TDT) permite mejorar sustantivamente la experiencia televisiva en comparación a la televisión analógica usada en la actualidad en Cuba. Ello es posible gracias al mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico con la TDT, lo que permite transmisiones con resoluciones de vídeo de alta definición y audio de alta fidelidad, o bien, alternativamente, empaquetar múltiples programas con video de definición estándar sin alterar la asignación de canales y espectro existentes en la actualidad. La señal digital además puede ofrecer servicios que involucran cierto grado de interactividad con el tele-espectador. Algunos sistemas de la TDT también permiten la recepción de TV en condiciones móviles. Finalmente, con TDT será posible utilizar los canales adyacentes, ampliando la oferta de espectro para la entrada de nuevos operadores. El principal costo de la introducción de la TDT radica en que los receptores analógicos presentes en la gran mayoría de los hogares cubanos son incompatibles con esta nueva tecnología. Ello obligará a los usuarios ya sea a adquirir televisores digitales, o bien complementar sus actuales televisores con dispositivos decodificadores de TDT (*set top-boxes*). El presente trabajo señala las diferencias técnicas desde el punto de vista teórico-práctico, asociados a los estándares de TDT europeo (DVB-T) y el chino (DTMB), y la adecuación de cada estándar a nuestro país, considerando tanto aspectos técnicos como económicos. Se presenta un análisis técnico comparativo de los dos estándares mencionados. En primer lugar se entrega una descripción técnica de ellos, resaltando aspectos específicos de cada uno, también se tiene en cuenta el costo del equipamiento necesario. Siendo estos elementos los de mayor influencia en la decisión de cuál estándar adoptar en Cuba. Posteriormente, se realiza un análisis comparativo de los aspectos relevantes de los dos estándares.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1: El estándar digital europeo DVB	8
1.1 Antecedentes generales	8
1.2 El Sistema DVB-T	9
1.3 Características de la Fuente	10
1.3.1 Características del video	10
1.3.2 Características del audio	11
1.4 Características del sistema de codificación y modulación	11
1.4.1 Descripción de la codificación de canal	11
1.4.1.2 Código externo (Reed-Solomon)	14
1.4.1.3 Entrelazador Externo	15
1.4.1.4 Código interno (convolucional)	17
1.4.1.5 Entrelazador interno	19
1.4.1.6 Mapeado de símbolo	25
1.4.2 Modulación OFDM	27
1.5 Tasas de datos	31
1.6 Características espectrales	32
1.7 Máscara espectral	33
1.8 Operación con frecuencia única nacional (Red SFP)	34
Capítulo 2: El estándar digital chino DTMB	37
2.1 Antecedentes generales	37
2.2 El sistema DTMB	37
2.3 Características de la fuente	38
2.3.1 Características del video	38
2.3.2 Características del audio	38
2.4 Descripción del sistema	39
2.4.1 Consideraciones generales	39
2.4.2 Codificación y modulación de canal	39
2.4.2.1 Aleatorizador	39
2.4.2.2 FEC	40

2.4.2.3	Constelación de señales y mapeo.....	42
2.4.2.4	Entrelazado en el tiempo.....	44
2.4.2.5	Frecuencia de entrelazado.....	45
2.4.3	Trama.....	45
2.4.3.1	Descripción de la estructura de trama.....	45
2.4.4	Trama de señal.....	47
2.4.4.1	Encabezado de trama.....	48
2.4.4.2	Información de sistema.....	51
2.4.4.3	Datos de símbolos.....	53
2.4.5	Procesamiento de los datos del cuerpo de la trama.....	53
2.4.6	Post procesamiento en banda base.....	54
2.4.7	Tasa de dato.....	54
2.4.8	Señal de RF.....	55
2.4.9	Características del espectro de la señal en banda base y máscara del espectro.....	55
2.4.9.1	Características del espectro.....	55
2.4.9.2	Máscara del espectro fuera de banda.....	56
2.5	Operación con frecuencia única nacional (SFN).....	59
Capítulo 3:	Comparación entre los estándares DVB-T y DTMB	60
3.1	Comparación en cuanto a los aspectos teóricos.....	60
3.2	Comparación en cuanto a los aspectos prácticos.....	61
3.3	Resumen de las tablas y gráficos que recogen los datos de las pruebas de campo.....	65
3.4	Consideraciones acerca del costo del equipamiento de ambas normas.....	66
Conclusiones		68
Recomendaciones		69
Bibliografía		70
Glosario		
Anexos		

Introducción.

El avance tecnológico existente en el mundo ha revolucionado todas las ramas de la ciencia y la técnica; la televisión no está exenta a ello, los avances han sido innumerables y en la última década han ocurrido con mayor rapidez, se ha transitado desde la televisión en blanco y negro con televisores que funcionaban con válvulas de vacío hasta los nuevos equipos con microprocesadores e imagen a todo color. Desde sus comienzos se ha transmitido de forma analógica, pero en la actualidad esto ha cambiado y la era digital se impone.

Las grandes potencias en el mundo han cambiado de la TV analógica a la digital; esto no ha ocurrido en todos los rincones del planeta a la misma vez. El futuro inmediato exige el cambio sin retorno, por lo que se ha tomado como fecha tope el año 2010, para que todas las transmisiones televisivas sean de forma digital. Nuestro país evidentemente se ve involucrado en este proceso y está obligado al cambio.

Primero es necesario realizar un estudio de las diferentes normas de transmisión digital existentes, para ver cuál se ajusta mejor a nuestra situación geográfica y estructural. Teniendo en cuenta esto se pretende realizar un estudio de dos normas que son las que más se ajustan a nuestro entorno y con ella existe la posibilidad de realizar negociaciones para su implementación: la norma europea DVB-T y la china DTMB-T.

Desde el año 1995 en EEUU se comenzó a transmitir la televisión de forma digital, poco a poco se han incrementado los países; algunos que ya la usaban han cambiado de norma o han mejorado la que tenían. En Cuba no se había hecho nada con respecto a cambiar de analógica a digital, pero como ya el cambio es inevitable se impone un estudio al respecto. Es entonces, que a partir de enero del 2007 se comienza el análisis de las normas a usar y en octubre del mismo año se empiezan a realizar las pruebas de campo de la norma europea y la china.

Este proceso se encuentra todavía en ejecución, este trabajo intentará apoyar el mismo ofreciendo una comparación entre ambas normas, en cuanto a prestaciones, eficiencia y otros detalles técnicos de interés a la hora de tomar una

decisión por una u otra. Hasta el momento, no hay antecedentes de trabajo investigativo que aborde esta temática por lo que se propone el siguiente **problema científico** técnico.

¿Cómo contribuir al tránsito de la televisión analógica a la digital en Cuba a partir del estudio comparativo entre la norma europea DVB-T y la china DTMB-T?

De esta forma la investigación cumple con el siguiente **objetivo**:

- ✓ Comparar las normas de TDT europea DVB-T y china DTMB-T con vista, a apoyar el estudio de la implementación de una de ellas en Cuba.

En correspondencia con el objetivo planteado, se plantean los siguientes **objetivos específicos**:

- ✓ Identificar las concepciones teóricas que contribuyen a sustentar el cambio de la televisión analógica a la digital en Cuba.
- ✓ Diagnosticar el estado actual de las normas de televisión digital europea DVB-T y china DTMB-T y sus posibilidades para la implementación de una de ellas en Cuba.
- ✓ Realizar el análisis comparativo entre las dos normas, con vistas a apoyar el estudio de la implementación de una de ellas en Cuba.
- ✓ Evaluar la efectividad del estudio comparativo entre las dos normas.

Necesidad del paso a la TDT.

Las transmisiones analógicas convencionales siempre han tenido que enfrentarse con un gran número de problemas derivados de las propias técnicas de modulación, que incluyen interferencia multitrayecto causada por las reflexiones, interferencias destructivas con transmisores que se solapan, zonas de silencio y una utilización del espectro muy limitado.

La transmisión de la TDT permite mejorar sustantivamente estas dificultades en comparación a la televisión analógica usada en la actualidad en nuestro país. La TDT posibilita el mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico, lo que permite transmisiones con resoluciones de video de alta definición y audio de alta fidelidad, o bien, alternativamente empaquetar múltiples programas con video de definición, estándar sin alterar la asignación de canales y espectros existentes en la actualidad.

La señal digital puede ofrecer servicios que involucran cierto grado de interactividad con el tele-espectador. LA TDT también permite la recepción de televisión en condiciones móviles. Finalmente, será posible utilizar los canales adyacentes, con lo cual se amplía la oferta del espectro.

El principal costo de la introducción de la TDT radica en que los receptores analógicos presentes en la gran mayoría de los hogares son incompatibles con esta nueva tecnología. Ello obligará a los usuarios ya sea a adquirir televisores digitales, o bien complementar sus actuales televisores con dispositivos decodificadores de televisión digital (set-top boxes).

Considerando que los aspectos técnicos y de costo de equipamiento son relevantes en la adopción del estándar de TDT, es que se ha realizado el presente estudio, que tiene como objetivo señalar las diferencias, desde el punto de vista técnico-teórico, y de costos, asociados a cada estándar de TDT, y la adecuación de cada uno de ellos a nuestro país, teniendo en cuenta sus condiciones económico- geográficas.

Interrogantes a tener en cuenta.

¿Cuáles son las características y diferencias de una u otra norma de TDT para su implantación en nuestro país?

¿Cómo aprovechar mejor las bondades que nos brinda la digitalización de la señal de video, principalmente preservación, protección y el procesamiento de las mismas?

¿Cómo solucionar el inconveniente del mayor ancho de banda que exige la digitalización de la señal de video?

Al responder dichas interrogantes se abordará acerca de la estructura y configuración de los paquetes de transporte, las diferencias entre los bloques de video, multiplexación, modulación y transmisión. Habrá dudas de las oportunidades que brinda la TDT, pero es un hecho que producirá una evolución importante respecto a la televisión que vemos hoy, sin embargo, su introducción en un país no es fácil, porque significa grandes inversiones para las estaciones de televisión, ya que los sistemas de transmisión y recepción son distintos. En consecuencia, para que esta transición sea exitosa hay que entregar un servicio similar al actual, con las mejoras que la transmisión digital permite.

Ventajas de la TDT frente a la analógica.

El empleo de la TDT como medio para la difusión de televisión proporciona una serie de beneficios frente a otras posibles opciones:

- ✓ Permite la recepción portátil y en movimiento.
- ✓ Requiere menor potencia de transmisión.
- ✓ Incrementa el número de programas con respecto a la televisión analógica actual, permitiendo múltiples programas y servicios multimedia en cada canal radioeléctrico.
- ✓ Mejora de la calidad de la imagen y del sonido (se evitan los efectos de *nieve* y de doble imagen de la televisión analógica) en la zona de cobertura, consecuencia de la robustez de la señal digital frente al ruido, las interferencias y la propagación multitrayecto.
- ✓ La elevada resolución espacial de un sistema de televisión digital permite un realismo mayor, que se puede apreciar en una pantalla más grande.
- ✓ Permite el aumento de la relación de aspecto. El formato convencional es de 4:3, mientras que con la televisión digital se permite el formato panorámico de 16:9.
- ✓ Se puede ofrecer un sonido multicanal, con calidad de disco compacto. Además la multiplicidad de canales de audio permite conseguir el efecto de sonido perimétrico empleado en las salas de cine. Aparte, estos canales

La figura I.2 muestra un diagrama de bloques básicos del sistema de TDT. Esta representación se basa en la adoptada por el Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-R). De acuerdo con este modelo, el sistema de TDT está compuesto por 3 subsistemas:

- ✓ Subsistema de codificación y compresión de la fuente de entrada.
- ✓ Subsistema de multiplexación y transporte.
- ✓ Subsistema de RF/transmisión.

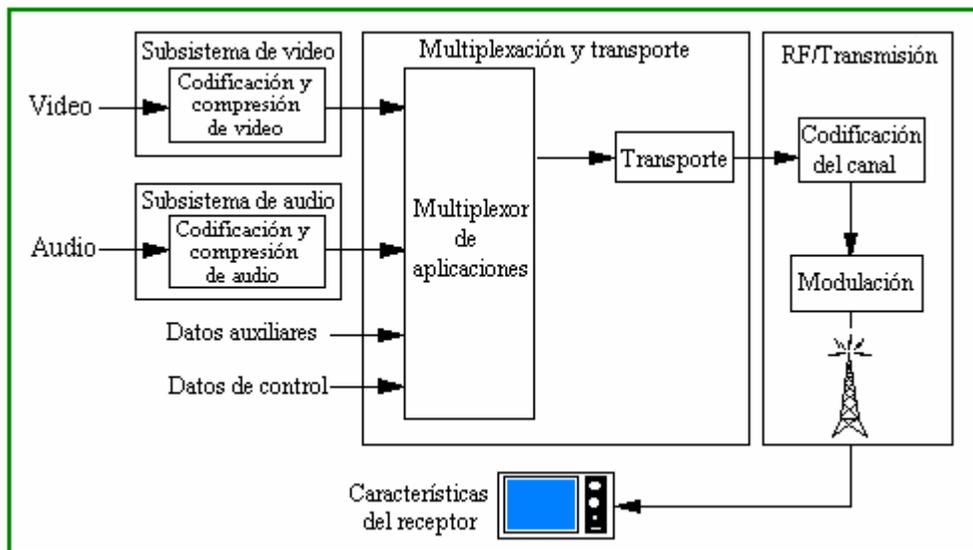


Figura I.2. Diagrama de bloques del sistema de TDT.

El “subsistema de codificación y compresión de la fuente de entrada” se refiere a los métodos de reducción de la razón de bits, conocidos como compresión de datos, de las distintas aplicaciones (fuentes de entrada) como video, audio y datos auxiliares. Los datos auxiliares incluyen datos de control, datos de control de acceso condicional y datos asociados a las aplicaciones como tal, por ejemplo “closed captioning”. El objetivo que persigue el codificador es reducir el número de bits que se necesitan para representar la información de audio y video.

El “subsistema de multiplexación y transporte” se refiere a la forma en que se divide el flujo de datos digitales en paquetes de información, a la forma en que se identifican estos paquetes y su tipo, y a los métodos de multiplexar los paquetes

de video, de audio y de datos auxiliares para conformar un único flujo de transporte.

El “subsistema de RF/transmisión” realiza los procesos de codificación del canal y de modulación de la señal. El codificador del canal toma el flujo de bits de datos y le inserta información adicional que puede ser utilizada por el receptor para reconstruir la señal recibida, que quizás no coincida con la señal enviada debido a errores de transmisión.

De los 4 estándares sólo se estudiarán los dos primeros, pues por razones obvias no se cuenta con un mercado que nos suministre el equipamiento necesario para la transmisión y recepción de la ATSC norteamericana, el incipiente mercado de la norma IDSB-T japonesa hace que no se considere para el análisis realizado de igual forma que la anterior. Esta realidad tiene sus consecuencias para nuestro país, que está analizando qué norma de televisión digital adoptar, partiendo de sus potencialidades, facilidades de comercializar y mejores probabilidades de sobrevivir a largo plazo, sin tener grandes modificaciones.

El trabajo posee una **introducción** y su contenido esencial se estructura en 3 capítulos: el **primero** “El estándar digital europeo DVB-T, donde se describe el funcionamiento íntegro del transmisor del estándar DVB-T. El **segundo** “El estándar digital chino DTMB”, donde análogamente al primero se describe el funcionamiento íntegro del transmisor del estándar DTMB. En el **capítulo 3** “Comparación entre los estándares DVB-T y el DTMB” se realiza la comparación basada fundamentalmente en los aspectos teóricos y prácticos, y se plasman los resultados de las pruebas de campo.

Capítulo 1

El estándar digital europeo DVB-T.

1.1 Antecedentes generales.

El estándar de televisión digital europeo, la *Digital Video Broadcasting* (DVB), fue establecido por el European Telecommunications Standards Institute (ETSI) durante los años 1990, y consiste en un conjunto de aproximadamente 30 especificaciones y documentos técnicos que cubren la vasta gama de tópicos relacionados con la distribución digital de video. DVB fue diseñada para transmitir información de audio y video codificada, de acuerdo a una versión especializada del estándar de codificación de audio y video MPEG-2. DVB contiene especificaciones para distribución de video digital por diversos medios, incluyendo satélite (DVB-S), cable (DVB-C), terrestre (DVB-T) y microondas (DVB-MS y DVB-MC9). Recientemente también fue incorporada la especificación para distribución terrestre de contenido a terminales portátiles (DVB-H). Además, las especificaciones DVB establecen normas sobre aspectos como:

- ✓ Provisión de servicios interactivos mediante canales de retorno sobre varios medios (DECT, GSM, PSTN/ISDN, satelital, etcétera.) y protocolos (IP, NPI).
- ✓ Formato e interfaz para transferir señales DVB hacia las localidades de distribución, mediante redes de datos tradicionales.
- ✓ Transmisión de señales DVB-T mediante red de frecuencia única.
- ✓ Utilización de DVB para distribución de datos genéricos, no limitado a audio y video, y posibilitando formatos como MPEG-4. La DVB-MS especifica el sistema de distribución de DVB por microondas para frecuencias superiores a 10 GHz. Puesto que está fuertemente basada en el estándar para distribución satelital (DVB-S) ha recibido el acrónimo DVB-MS. Similarmente, DVB-MC es la especificación para distribución de DVB por microondas en frecuencias inferiores a 10 GHz y está basada en la norma de distribución por cable DVB-C. El énfasis de esta sección son las especificaciones DVB relacionadas con las normas DVB-T.

1.2 El Sistema DVB-T.

El diagrama general del sistema DVB-T se presenta en la siguiente figura, según describe el estándar [13].

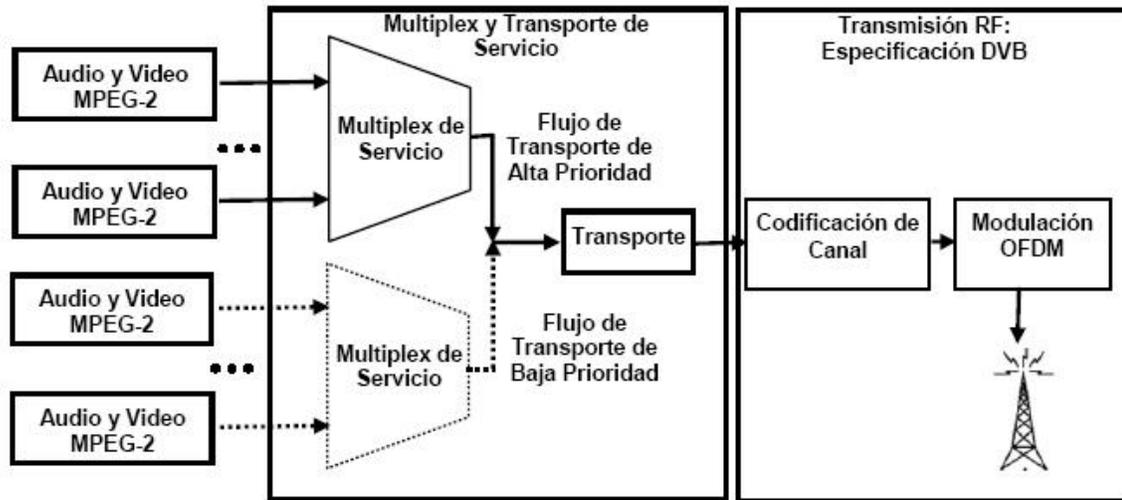


Figura 1.1 Diagrama general del sistema DVB-T.

En el sistema DVB-T las señales de video y audio son comprimidas y codificadas según la norma MPEG-2 [30-31], el sistema DVB se asegura de ser compatible con medios de almacenamiento de contenido existentes y futuros como DVD, DVC, D-VHS, etcétera. Ello requiere que los flujos de datos de DVB satisfagan ciertas condiciones, por ejemplo, tasas de datos máxima para señales de audio y video. Varios programas (video, audio y datos) codificados y comprimidos con MPEG-2 pueden ser multiplexados en un único flujo de transporte MPEG-2, permitiendo así compartir el canal para distribuir programas múltiples simultáneamente. En todo caso, el estándar DVB también permite la operación con formatos AC-3 o DTS para sonido envolvente, como se indica en el estándar [15].

El sistema DVB-T permite además combinar jerárquicamente hasta dos flujos de transporte en una sola transmisión digital, uno de *alta prioridad* (AP) y otro de *baja prioridad* (BP), este último mostrado con línea punteada en la figura 1.1. El flujo AP requiere menor razón señal a ruido (SNR) para ser decodificado que el BP. Así, por ejemplo: el flujo AP podría portar señales de video en resolución normal

con una codificación de canal de alta redundancia, haciendo posible su decodificación a distancias lejanas a la antena de transmisión (donde la SNR es baja). El flujo BP, en cambio, podría portar la misma programación en alta resolución utilizando una codificación de alta tasa (poca redundancia), el que sería decodificado satisfactoriamente por receptores ubicados a distancias menores (SNR alta). Cabe destacar, no obstante, que el receptor puede escoger libremente entre los flujos AP y BP y que ambos flujos de transporte podrían perfectamente ser utilizados para transmitir programación completamente distinta.

El subsistema de múltiplex y Transporte combina las señales de los programas y se conforma el flujo de transporte con longitud de paquete fija. En el bloque de Codificación de Canal se le aplica a la señal un conjunto de técnicas, cuyo objetivo es proteger los flujos de transporte de los efectos de las diversas fuentes de ruido e interferencias propias del soporte radioeléctrico que degradan las transmisiones. Las normas DVB-S y DVB-C y DVB-T utilizan el mismo sistema de codificación, lo que permite aprovechar economías de escala en el desarrollo de equipos y así llegar al consumidor con productos de costos más convenientes. El sistema de codificación de DVB-T está especificado en la referencia [13]. En el procesamiento de señal se establece la técnica de modulación OFDM, en la que la subportadora es modulada en QAM por el paquete de datos provenientes de la etapa anterior.

1.3 Características de la Fuente.

1.3.1 Características del video.

DVB soporta diferentes resoluciones de pantalla. Los formatos se indican a continuación en la tabla según la resolución, forma de barrido (progresivo (P) o entrelazado (I)) y tasa de cuadros por segundo. Cabe mencionar que las resoluciones indicadas operan con anchos de banda de transmisión de 6, 7 u 8 MHz y los formatos de video corresponden a los definidos en el estándar MPEG-2.

Líneas Verticales	Píxeles por Línea	Razón de Aspecto	Frecuencia de Tramas
1080	1920	16:9	50P (HDTV)
1080	1920,1440	16:9, 4:3	25I, 25P (HDTV)
720	1280	16:9, 4:3	25P, 50P (HDTV)
1080	1920,1440	16:9, 4:3	60I, 30P, 24P (SDTV)
720	1280, 960	16:9, 4:3	60P, 30P, 24P (SDTV)
576	720, 704, 544, 480, 352	16:9, 4:3	25I, 25P (SDTV)
480	720, 640, 544, 480, 352	16:9, 4:3	60P, 60I, 30P, 24P (SDTV)
288	352	16:9, 4:3	25P (SDTV)
240	352	16:9, 4:3	24P, 30P (SDTV)

Tabla 1.1 Resoluciones de pantalla.

1.3.2 Características del audio.

Como se ha mencionado, el sistema de audio usa el estándar MPEG-2. Sin embargo, es posible utilizar formatos AC-3 o DTS. El sistema permite transportar hasta seis señales de audio, es decir, sonido envolvente, a tasas de hasta 384 kbps.

1.4 Características del sistema de codificación y modulación.

1.4.1 Descripción de la codificación de canal.

El sistema de codificación de DVB-T fue diseñado en gran medida para manejar la Interferencia Dentro del Canal (IDC) e Interferencia de Canal Adyacente (ICA) producidas por transmisiones, tanto analógicas como digitales. El alto grado de protección necesario se logra mediante una concatenación de códigos Reed-Solomon (RS) y convolucional (Conv), y entrelazadores, según se describe a continuación en la figura 1.2.

La Interferencia Dentro del Canal (IDC) es aquella producida por otras estaciones transmitiendo en la misma frecuencia (o canal) en otra ubicación geográfica. La Interferencia de Canal Adyacente (ICA) es aquella producida por otras estaciones transmitiendo en canales de frecuencias adyacentes en la misma ubicación geográfica.

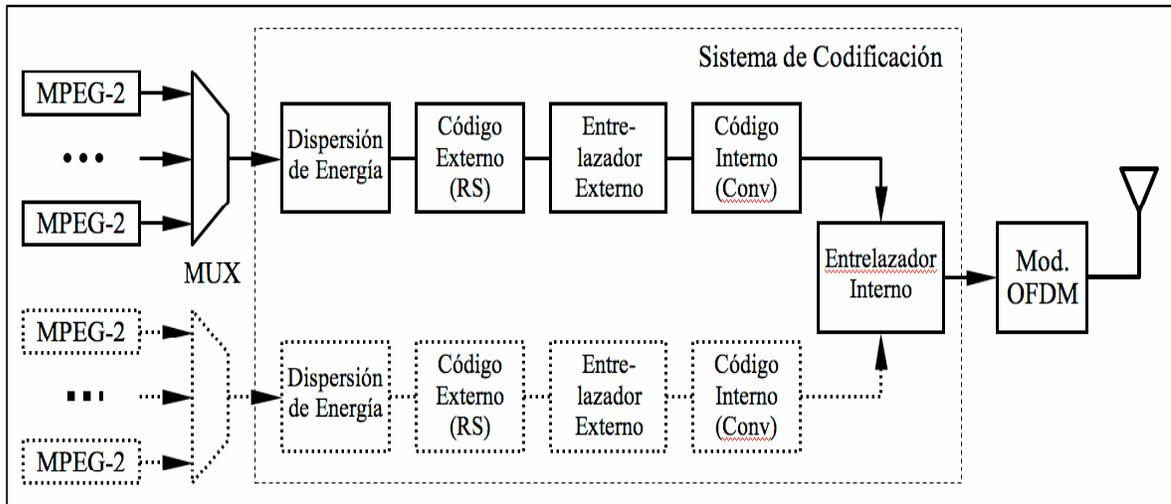


Figura 1.2 Sistema de codificación de canal DVB- T.

Los datos de entrada de cada uno de los flujos de transporte (alta y baja prioridad) son procesados del mismo modo, según se describe a continuación:

1.4.1.1 Dispersión de energía.

Para asegurar la “*dispersión de energía*” del espectro radiado, la señal de entrada debe hacerse cuasialeatoria, de forma que se eviten largas series de ceros o de unos .Por esta razón, el múltiplex de entrada debe ser “*aleatorizado,*” lo cual se realiza mediante un proceso cuyo esquema se muestra en la figura1.3.

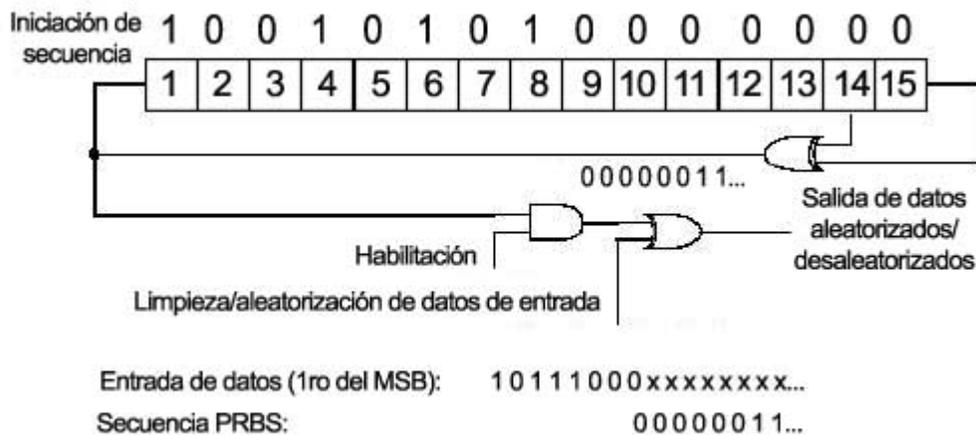


Figura 1.3 Generador PRBS para la dispersión de energía del flujo de transporte.

En este proceso se trata de obtener una “*secuencia binaria pseudo aleatoria (PRBS)*”, para lo cual se emplea un generador que usa el polinomio:

$$1 + x^{14} + x^{15}$$

Los registros del generador PRBS, que sirven tanto para desordenar como para ordenar, tienen cargada la secuencia “100101010000000”, la cual debe iniciarse al comienzo de un conjunto de 8 paquetes de transporte. Los bytes de sincronización no se ven afectados por la “aleatorización”. Para proporcionar una señal de inicialización en el decodificador del receptor, que permita identificar cada conjunto de 8 paquetes de transporte afectados por la aleatorización, el byte de sincronización del primer paquete de cada conjunto de 8 está invertido, pasando de 0 x 47 (01000111). Este proceso es el que se conoce por “adaptación del flujo de transporte”.

El funcionamiento es como sigue: el primer bit en la salida del generador PRBS se aplica al primer bit (el MSB) del primer byte que sigue al byte de sincronización invertido del TS (el 0xB8) y así sucesivamente con los demás bits. Para ayudar al resto de funciones de la sincronización, durante los bytes de sincronismo de los otros 7 paquetes, la generación PRBS continúa, pero está deshabilitada, dejando a estos bytes intactos. Así, el período de la secuencia PRBS es de 1.503 bytes (188 x 8-1).

El proceso descrito debe permanecer activo, incluso cuando no exista flujo de transporte a la entrada o cuando éste no cumpla con el formato estándar MPEG-2. El resultado del proceso de “Adaptación y Dispersión de Energía del Flujo de Transporte” se indica esquemáticamente en la figura 1.4.

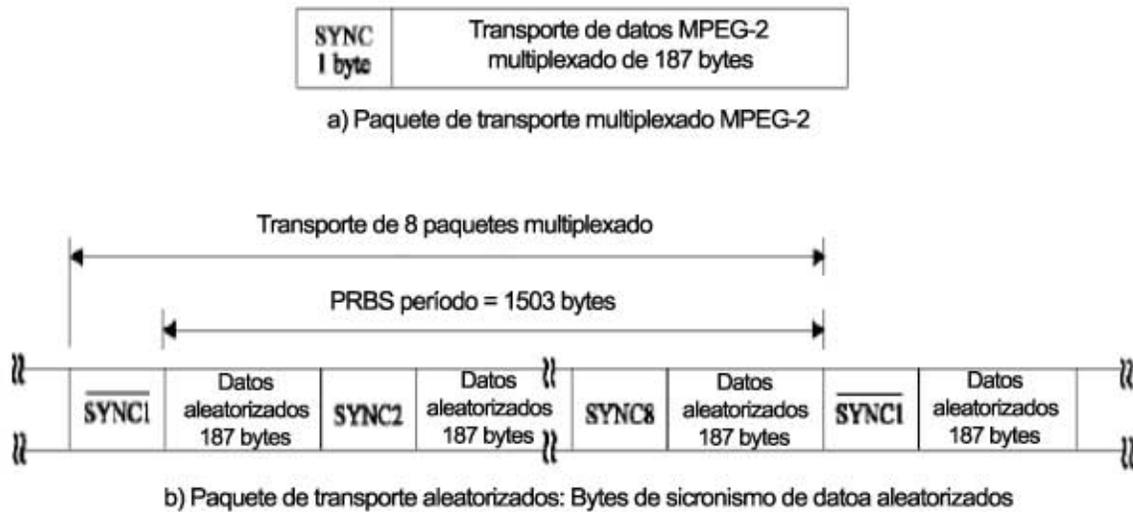


Figura 1.4 Resultado de la adaptación y dispersión de energía del TS MPEG 2.

1.4.1.2 Código externo (Reed-Solomon).

Para permitir la corrección de errores (FEC) en la recepción se introduce una cierta redundancia en la estructura de los paquetes de transporte, procedimiento que se conoce como “codificación”.

La codificación llamada “externa” se emplea en todos los estándares DVB y se complementa con otra llamada “interna” en el caso de los estándares de transmisión vía satélite y terrestre. La “codificación externa” usada es de tipo Reed-Solomon RS (204, 188, t=8), que es una versión acortada de la codificación original RS (255, 239, t=8); mediante la cual se añaden 16 bytes de paridad a los iniciales 188 de cada paquete de transporte; resultando un total de 204 bytes.

En estas condiciones pueden corregirse hasta un total de 8 bytes erróneos, de ahí la denominación del código RS (204, 188, t=8). La forma acortada se realiza añadiendo primeramente 51 bytes nulos delante de los 188 bytes de información, con lo que se completan 239 bytes. Al pasar por el codificador RS (255, 239, t=8) se añaden los 16 bytes de paridad para un total de 255 bytes, finalmente se eliminan los 51 bytes nulos con lo que se resultan los 204 bytes para cada paquete de transporte afectado por la “Codificación Externa”.

En la figura 1.5 se muestra la estructura de los paquetes de transporte después de la “Codificación y entrelazado externo”. Esta combinación favorece la corrección de errores de tipo “ráfaga” introducidos por el canal de transmisión

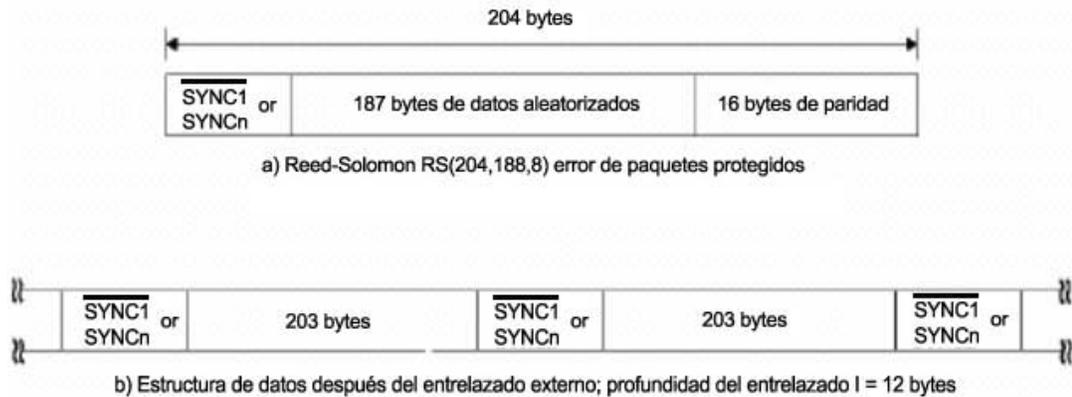


Figura 1.5 Resultado de la codificación externa (Reed-Solomon) y entrelazado convolucional externo (Forney).

1.4.1.3 Entrelazador Externo.

Entrelazado convolucional: La figura 1.6 muestra el esquema de concepto de “entrelazado convolucional” relativo al byte y con profundidad $l=12$, a que se someten los datos que han sido previamente protegidos mediante la codificación externa Reed-Solomon. El proceso de entrelazado convolucional se basa en la aproximación de Forney; compatible con la aproximación de Ramsey tipo III, con $l=12$. Los bytes de datos entrelazados pertenecientes a los paquetes de transporte protegidos, están delimitados por los bytes de sincronización MPEG=2 invertidos y no invertidos que no sufren alteración alguna. El entrelazado preserva, por tanto, la periodicidad de 204 bytes de los paquetes de transporte.

El “entrelazador” se compone de $l=12$ ramas cíclicamente conectadas al flujo de datos de entrada mediante el conmutador de entrada. Cada rama “j” constituye un registro de desplazamiento FIFO (First-In, First-Out) con profundidad “ $j \times M$ ” células, donde:

$$M=17 = N/l; \text{ siendo: } N=204$$

Los conmutadores de entrada y salida, que avanzan un paso por cada byte de datos, obviamente deben estar sincronizados. Los bytes SYNC invertidos y no

invertidos, para poder ser localizados, deben rutearse siempre por la rama “0” del entrelazador, la cual corresponde a retardo nulo.

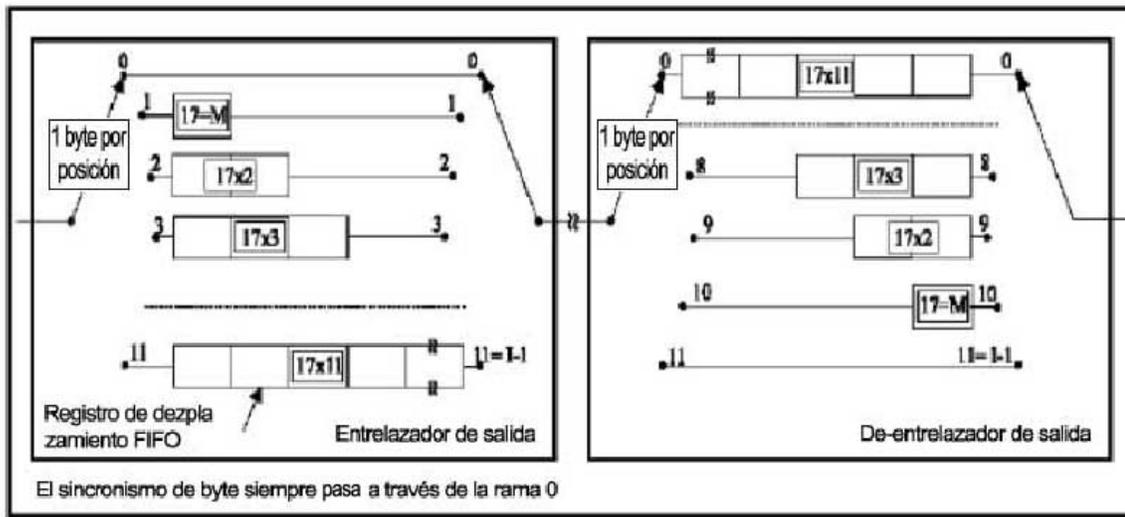


Figura 1.6 Diagrama conceptual del entrelazado y desentrelazado convolucional externo (Forney).

El resultado del proceso de entrelazado es que cada byte de los paquetes de transporte se encuentra desplazado en el tiempo en un número de posiciones igual a $j \times 17$, con lo que los bytes originales de un paquete de transporte quedarán repartidos entre dos paquetes consecutivos. El desentrelazador tiene un principio similar al entrelazador; salvo que los índices de las ramas están invertidos, es decir: “ $j=0$ ” se corresponde con el máximo retardo. La sincronización se obtiene rutando el primer byte SYNC reconocido (invertido o no) hacia la rama “0”.

En estas condiciones, en el desentrelazador cada byte se retarda $(11-j) \times 17$ posiciones, con lo que el retardo total entre emisión y recepción es de $(j+11-j) \times 17 = 187$; valor que por ser idéntico para todos los bytes permite recuperar en la recepción el orden original. Todo este proceso reduce los errores por ráfagas introducidos por el canal de transmisión (errores que afectan a varios bytes consecutivos) ya que después de la reordenación de los datos en el receptor estos errores se habrán distribuido entre paquetes sucesivos, lo que favorecerá que no se excedan los límites en que la codificación Reed Solomon puede recuperar la información original.

1.4.1.4 Código interno (convolucional).

Después de la codificación y entrelazado externos, los datos se someten a un nuevo proceso de codificación y entrelazado, denominado “interno” (figura1.7) La “codificación de bit” es de tipo convolucional y se complementa con un proceso llamado de “perforado” obteniéndose diferentes modos de transmisión dependiendo del esquema de perforado elegido.

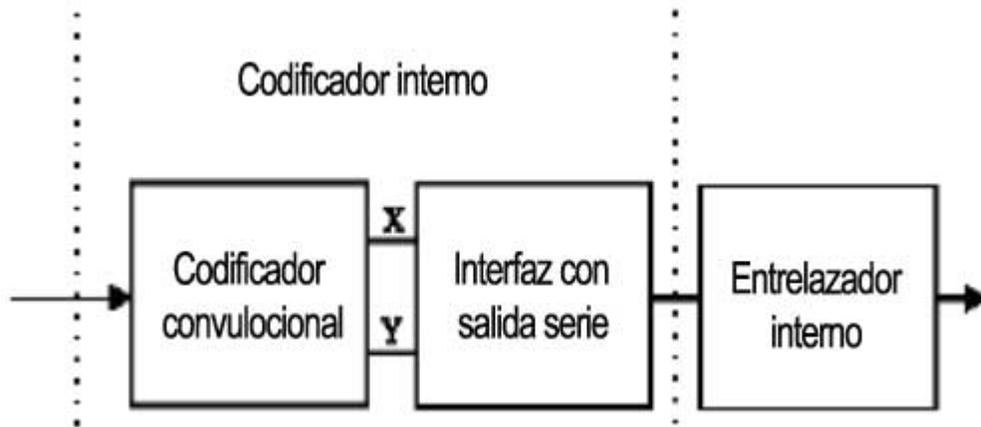


Figura 1.7 Codificación interna (convolucional + perforado) y entrelazado interno.

La figura1.8 muestra el esquema de principio del “codificador convolucional” de relación 1/2 con 64 estados (K=7 tomas), en que se basa el mecanismo.

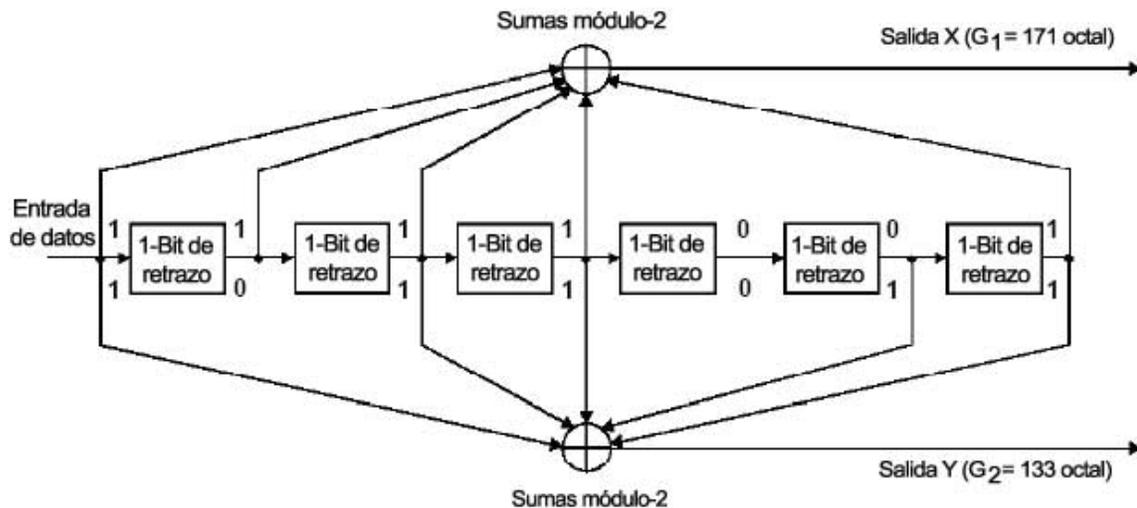


Figura 1.8 Codificador convolucional de relación 1/2.

Este codificador, con frecuencia llamado erróneamente de "viterbi" debido al algoritmo usado en recepción para la decodificación, está orientado al byte y distribuye en dos salidas (X e Y) el flujo de datos original a base de combinar (sumas módulo-2) los datos de entrada con los obtenidos en las tomas situadas detrás de una serie de registros de desplazamiento.

Los polinomios generadores son: $G_1=171$ (octal) para la salida X; y $G_2 = 113$ (octal) para la salida, y esto significa que se suma a los datos de entrada el dato de la toma correspondiente cuando el valor del polinomio generador (expresado en binario) en la toma en cuestión corresponde a "1" y no se usa el dato de la toma cuando el valor es "0". En efecto 171 octales se escriben en binario 1111001, mientras que 133 octales es en binario 1011011 lo que corresponde con las secuencias de tomas usadas y no usadas en el diagrama de la figura 1.8.

La gran redundancia obtenida mediante el codificador de relación 1/2 descrito (el 100%) hace muy potente la corrección de errores cuando éstos son aleatorios, generalmente asociados a una baja relación señal/ruido del canal de transmisión utilizado, pero reduce a la mitad la capacidad del canal. Para no limitar tanto la capacidad del canal, el sistema permite seleccionar para la transmisión sólo algunos de los datos obtenidos en las salidas X e Y, los cuales son posteriormente convertidos a secuencia en serie; este proceso denominado "perforado" o "picado" recogido esquemáticamente en la figura 1.9.

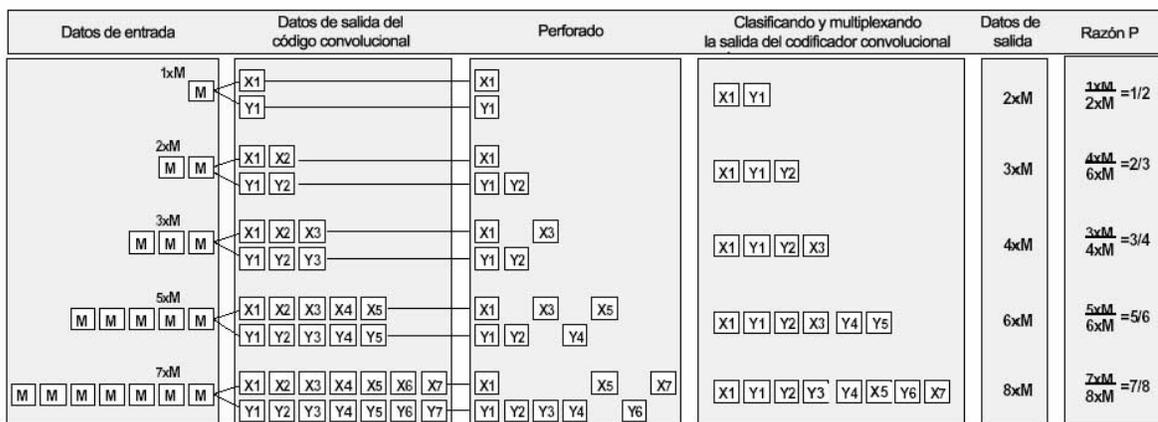


Figura 1.9 Codificación interna. Esquema de perforado y secuencia transmitida en la salida serie.

Así, dependiendo del esquema de perforado elegido:

- ✓ 1xM datos de entrada se convierten en 2xM datos de salida en caso de relación 1/2.
- ✓ 2xM datos de entrada en 3xM de salida cuando la relación de codificación es 2/3 y así sucesivamente hasta la relación de codificación 7/8.

Naturalmente, la protección contra errores es menor para valores más altos de la relación de codificación, pero la capacidad del canal aumenta. El valor más adecuado para un caso práctico dependerá del área de cobertura deseada para una potencia de emisión dada.

1.4.1.5 Entrelazador interno.

El “entrelazado interno” se compone de un primer proceso de entrelazado relativo al bit que va seguido de un entrelazado de símbolos. Ambos, el relativo al bit y el entrelazado de símbolos están basados en bloques. En la figura 1.10 se muestra el esquema de principio para el caso “no jerárquico” y esquema de modulación con constelación 64-QAM.

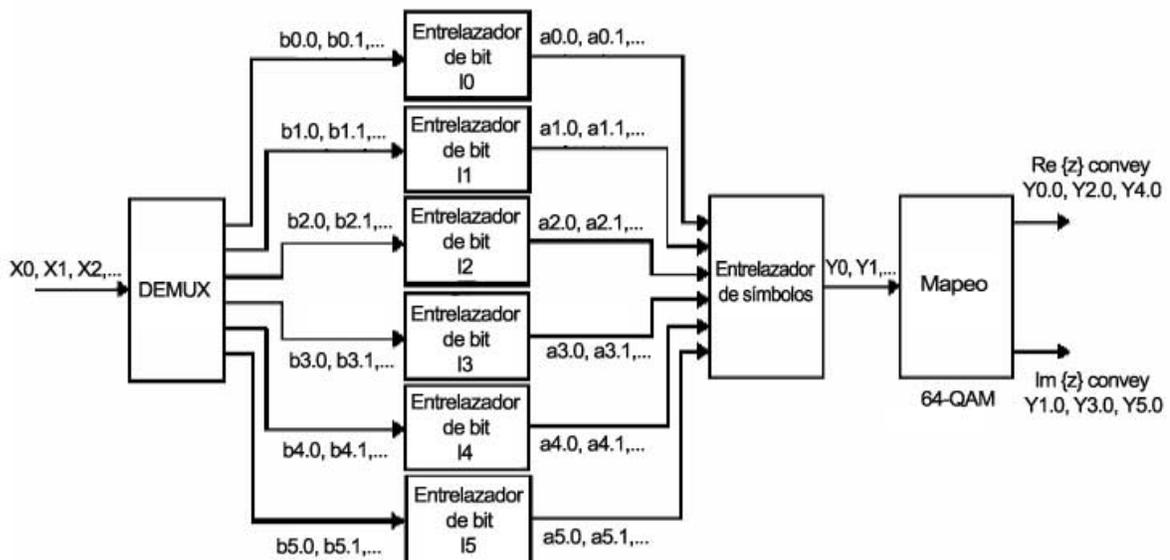


Figura 1.10 Entrelazado interno y “mapeado” para modo “no jerárquico” con constelación 64-QAM.

Desde el principio, el proceso de entrelazado se orienta al tamaño de los símbolos, que es función de la constelación. Así, los símbolos tienen 2 bit en QPSK, tienen 4 bits en 16-QAM y finalmente 6 bits en 64 QAM para ambos casos: el “jerárquico” y el “no jerárquico” (figuras 1.11 y 1.12). En el caso de modos “no jerárquicos” el único flujo de transporte de entrada; compuesto por bits X_i se demultiplexa en “v” subflujos, siendo “v” el número de bits por símbolo, resultando en cada vía los bits $B_{i,j}$.

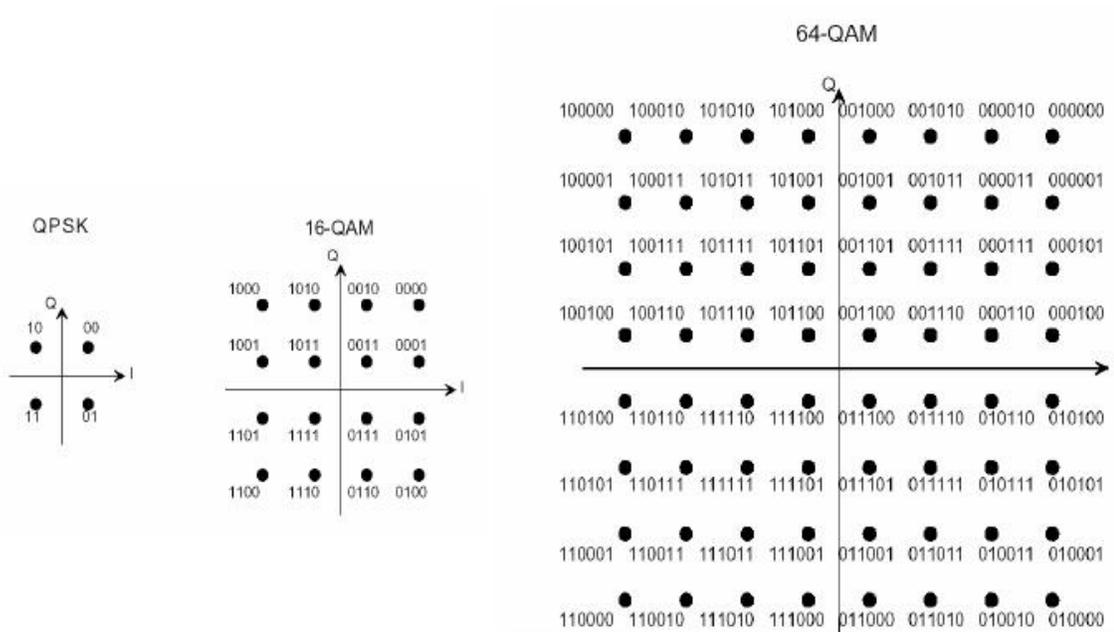


Figura 1.11 Diagramas de constelación: QPSK, 16-QAM y 64-QAM (no jerárquico con $\alpha = 1$).

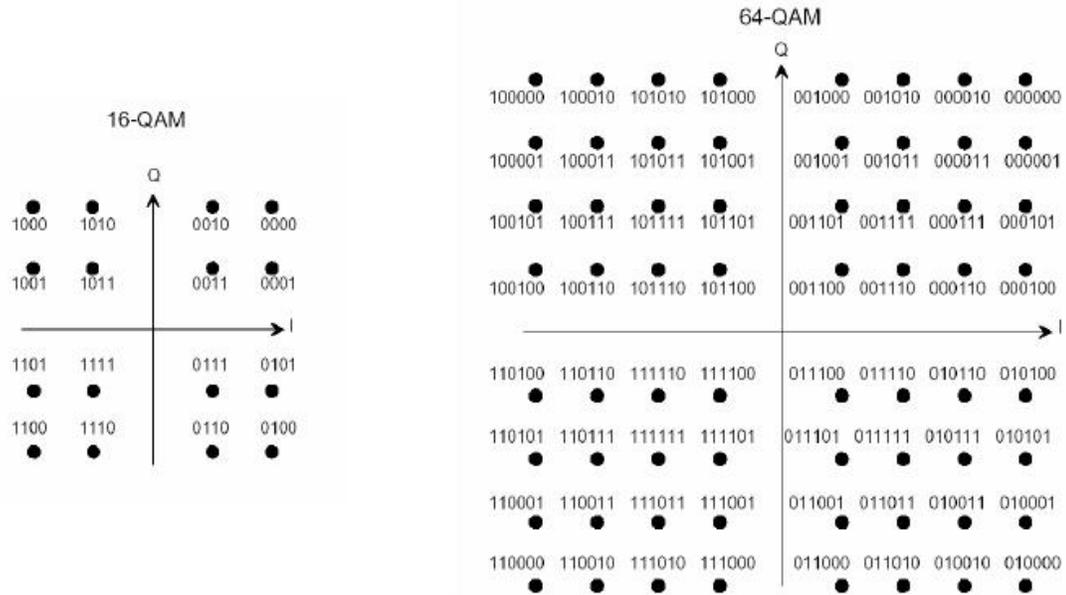


Figura 1.12 Diagramas de constelación 16-QAM y 64-QAM (jerárquico con $\alpha = 2$).

En cambio, en el caso de modos “jerárquicos” el flujo de transporte de entrada de alta prioridad, compuesto por los bits x'_i se demultiplexa en 2 subflujos, a la vez el de baja prioridad de bits x''_i lo hace en “ $v-2$ ” sub-flujos, siendo “ v ” el número de bits por símbolo en la constelación resultante final. Los sub-flujos de las distintas vías llevan los bits b_{ij} . La figura 1.13 ilustra la aplicación al caso 64-QAM, que corresponde a $v = 6$.

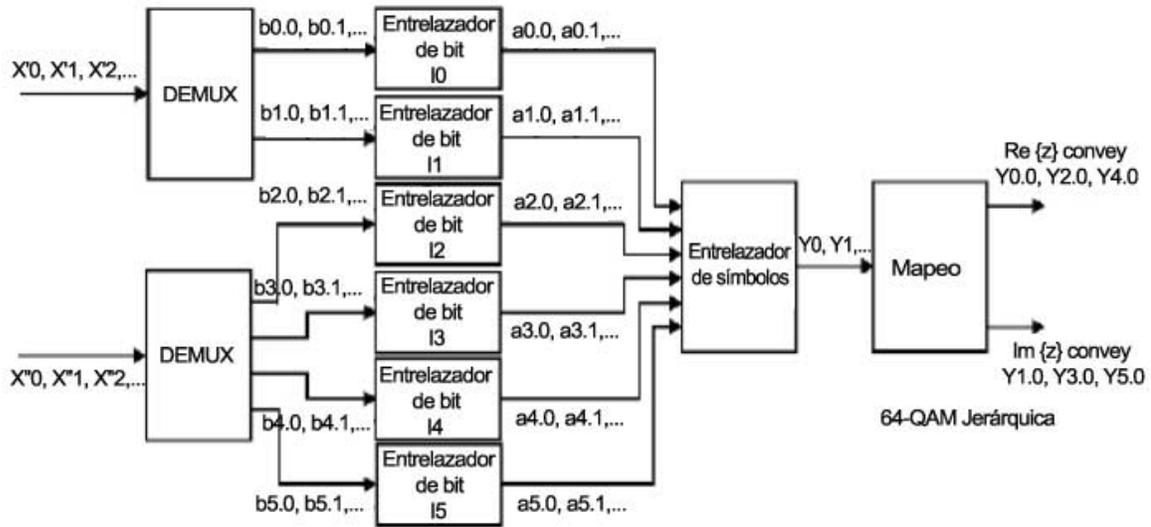


Figura 1.13 Entrelazado interno y “mapeado” para modo “jerárquico” con constelación 64-QAM.

El esquema de demultiplexado de los bits X_i (X'_i y X''_i en el caso jerárquico) en los resultantes D_{ij} para el caso 64-QAM es el siguiente:

Transmisión no jerárquica.

$$X_0 \rightarrow b_{0,0}$$

$$X_1 \rightarrow b_{2,0}$$

$$X_2 \rightarrow b_{4,0}$$

$$X_3 \rightarrow b_{1,0}$$

$$X_4 \rightarrow b_{3,0}$$

$$X_5 \rightarrow b_{5,0}$$

Transmisión jerárquica.

$$X'_{0 \rightarrow} b_{0,0}$$

$$X'_{1 \rightarrow} b_{1,0}$$

$$X''_{0 \rightarrow} b_{2,0}$$

$$X''_{1 \rightarrow} b_{4,0}$$

$$X''_{2 \rightarrow} b_{3,0}$$

$$X''_{3 \rightarrow} b_{5,0}$$

Después del demultiplexado, cada sub-flujo se procesa por separado en un entrelazador de bits. Hay por tanto “v” entrelazadores de bits (hasta 6) que se numeran desde I0 hasta I5. Los entrelazadores I0 e I1 se usan para QPSK, I0 a I3 para 16-QAM y I0 a I5 para 64-QAM.

Entrelazado de bits.

El “entrelazado de bits” se realiza por bloques y solo actúa sobre los datos útiles. El tamaño de estos bloques es de 126 bits para todos los entrelazadores, aunque la secuencia de entrelazado es diferente de unos a otros. El citado tamaño para los bloques implica que este proceso se repite un número exacto de veces por cada símbolo OFDM, tanto si se usa el estándar 2k como si se usa el 8k:

	Estándar 2k	Estándar 8k
Nº de portadoras activas para datos:	1.512	6.048
Bits totales por símbolo OFDM:	$v \times 1.512$	$v \times 6.048$
Nº de entrelazadores de bits:	v	v
Repetición del entrelazado		
(nº de veces por símbolo OFDM):	$(v \times 1.512) / (v \times 126) = 12$	$(v \times 6.048) / (v \times 126) = 48$

Así, los bloques de bits de entrada a cada entrelazador están compuestos por:

$$B(e) = (b_{e,0} \ b_{e,1} \ b_{e,2} \ \dots \ b_{e,125}) \quad \text{donde "e" va desde 0 hasta } v-1$$

Los bloques de bits de salida de cada entrelazador están compuestos por:

$$A(e) = (a_{e,0} \ a_{e,1} \ a_{e,2} \ \dots \ a_{e,125})$$

La relación entre los bits de ambos bloques, de entrada y salida, es la siguiente:

$$a_{e,w} = b_{e,He(w)} \quad \text{donde "w" va desde 0 hasta 125}$$

y siendo $He(w)$ una función de permutación, que es diferente de unos entrelazadores a otros:

Entrelazador I0: $H_0(w) = w$

Entrelazador I1: $H_1(w) = (w + 63) \text{ mod } 126$

Entrelazador I2: $H_2(w) = (w + 105) \text{ mod } 126$

Entrelazador I3: $H_3(w) = (w + 42) \text{ mod } 126$

Entrelazador I4: $H_4(w) = (w + 21) \text{ mod } 126$

Entrelazador I5: $H_5(w) = (w + 84) \text{ mod } 126$

Las salidas de los "v" entrelazadores se agrupan para formar palabras (y'_w) de "v" bits, de manera que se toma cada vez un único bit de la salida de cada entrelazador, correspondiendo el bit más significativo a la salida de I0, es decir:

$$y'_w = (a_{0,w} \ a_{1,w} \ a_{2,w} \ \dots \ a_{v-1,w})$$

Entrelazado de símbolo.

El "entrelazado de símbolos" se realiza sobre las anteriores palabras y'_w conteniendo cada una de ellas "v" bits, de forma que a la salida del entrelazador queden agrupadas en bloques, cuyo tamaño está calculado para que los datos se puedan distribuir directamente entre las 1.512 (modo 2k) ó 6.048 (modo 8k) portadoras activas que tiene cada símbolo OFDM.

Para ello, las palabras y'_w se agrupan para formar unos vectores Y' de la siguiente forma, dependiendo del estándar (modo) de transmisión:

Estándar 2k	Estándar 8k
12 conjuntos de 126 palabras	48 conjuntos de 126 palabras
$Y' = (y'_0 \ y'_1 \ y'_2 \ \dots \ y'_{1511})$	$Y' = (y'_0 \ y'_1 \ y'_2 \ \dots \ y'_{6047})$

Estos vectores Y' a la entrada del entrelazador de símbolos se convierten en los vectores entrelazados Y a su salida:

$Y = (y_0 \ y_1 \ y_2 \ \dots \ y_{N_{\max}-1})$ siendo: $N_{\max} = 1.512$ en modo 2k
 $N_{\max} = 6.048$ en modo 8k

Donde:

$y_q = y'_{H(q)}$ desde $q = 0$ hasta $q = N_{\max}-1$ para símbolos OFDM impares
 $y_{H(q)} = y'_q$ desde $q = 0$ hasta $q = N_{\max}-1$ para símbolos OFDM pares

$H(q)$ es una función de permutación que se puede generar mediante el algoritmo cuyo diagrama de bloques esquemático se muestra en la (figura 1.14a) para el modo 2k y en la figura 1.14b para el modo 8k.

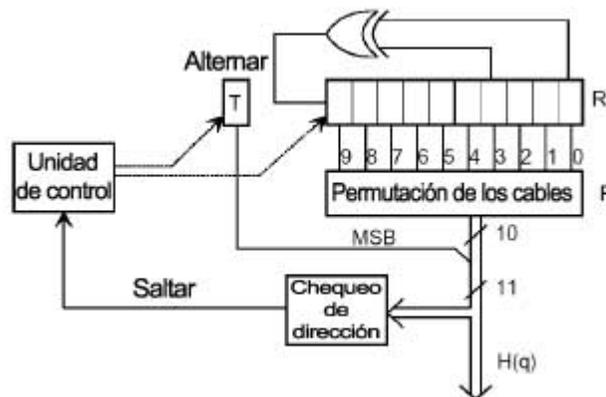


Figura 1.14a Algoritmo generador de la función de permutación $H(q)$ para modo 2k.

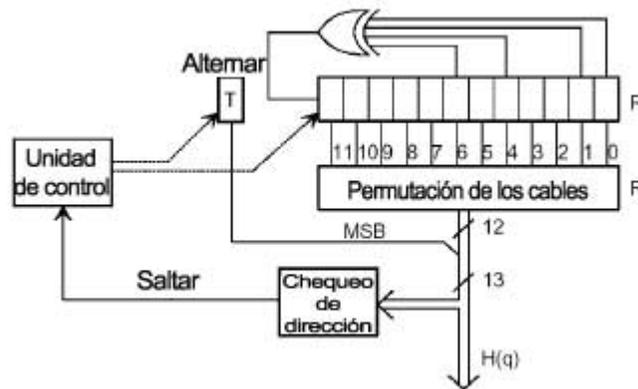


Figura 1.14b Algoritmo generador de la función de permutación $H(q)$ para modo 8k.

En los diagramas de bloques de las figuras 14a y 14b, R_i son palabras binarias compuestas por 10 bits en el modo 2k y 12 bits en el modo 8k, que toman los siguientes valores:

Modo 2k:

$$R_0 [9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0] = 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0$$

$$R_1 [9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0] = 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0$$

$$R_2 [9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0] = 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1$$

$$2 < i < 2048 \quad R_i [8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0] = R^{i-1} [9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1]$$

$$R_i [9] = R^{i-1} [0] + R^{i-1} [3]$$

Modo 8k:

$$R_0 [11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0] = 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0$$

$$R_1 [11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0] = 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0$$

$$R_2 [11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0] = 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1$$

$$2 < i < 8192 \quad R_i [10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0] = R^{i-1} [11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1]$$

$$R_i [11] = R^{i-1} [0] + R^{i-1} [1] + R^{i-1} [4] + R^{i-1} [6]$$

R_i son vectores derivados de los R_i mediante las permutaciones de bits que recogen las siguientes tablas.

Posiciones de bits de R_i	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Posiciones de bits de R_i	0	7	5	1	8	2	6	9	3	4

Tabla 1.2a modo 2k

Posiciones de bits de R_i	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
osiciones de bits de R_i	5	11	3	0	10	8	6	9	2	4	1	7

Tabla 1.2b modo 8k

1.4.1.6 Mapeado de símbolo.

Cada palabra $y_{q'}$ perteneciente al vector Y de salida del entrelazador de símbolos, tiene “v” bits:

$$y_{q'} = (y_{0,q'} \ y_{1,q'} \ y_{2,q'} \ \dots \ y_{v-1,q'}) \quad \text{siendo:} \quad \begin{aligned} 0 = q' = 1.511 \text{ en modo } 2k \\ 0 = q' = 6.047 \text{ en modo } 8k \end{aligned}$$

Estos “v” bits de la palabra número q’ modulan con un esquema de modulación correspondiente al valor de v, la portadora número q’ de las 1.512 (modo 2k) ó 6.048 (modo 8k) portadoras activas para datos que tiene cada símbolo OFDM. Para ello es necesario distribuir (“mapear”) en dos señales I y Q el flujo serie de datos presente a la salida del entrelazador de símbolos. La figura 1.15 ilustra una situación similar que convierte bytes (compuestos por 8 bits), pasando por símbolos de v = 6 bits, en las 2 señales I y Q necesarias para obtener una constelación de 64-QAM. Nótese que la duración inicial de cada bit se duplica en las salidas I y Q.



Figura 1.15 “Mapeado” para modulación 64-QAM.

El resultado de la modulación de cada portadora puede verse en las figuras 1.11 y 1.12 para lo cual la distribución de los bits entre las señales I y Q se hace con el siguiente orden como muestra en la tabla 1.3.

Constelación	Bits del flujo de datos serie	Bits en la salida I	Bits en la salida Q
QPSK	$y_{0,q}$ $y_{1,q}$	$y_{0,q}$	$y_{1,q}$
16-QAM	$y_{0,q}$ $y_{1,q}$ $y_{2,q}$ $y_{3,q}$	$y_{0,q}$ $y_{2,q}$	$y_{1,q}$ $y_{3,q}$
64-QAM	$y_{0,q}$ $y_{1,q}$ $y_{2,q}$ $y_{3,q}$ $y_{4,q}$ $y_{5,q}$	$y_{0,q}$ $y_{2,q}$ $y_{4,q}$	$y_{1,q}$ $y_{3,q}$ $y_{5,q}$

Tabla 1.3 Orden de distribución de los bits entre las señales I y Q.

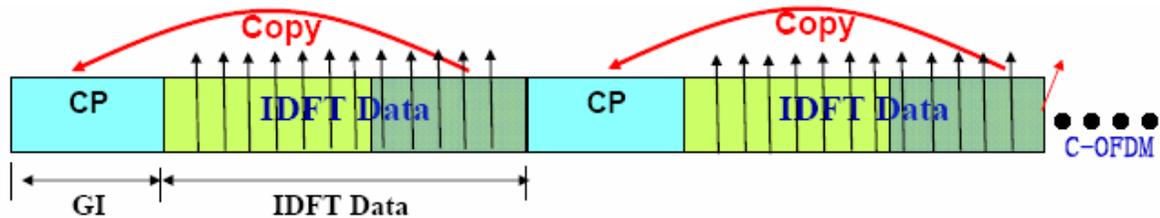
En el caso de modos jerárquicos (figura 1.12) los bits de alta prioridad son los $y_{0,q}$ $y_{1,q}$ siendo los restantes los de baja prioridad. Con la distribución de bits anterior entre las señales I y Q, en caso de que la constelación se decodifique como QPSK (un solo punto de la constelación identificado en cada cuadrante) solamente se recuperarán los bits de alta prioridad $y_{0,q}$ $y_{1,q}$ mientras que la recuperación de todos los bits exigirá la correcta identificación de la constelación completa.

La distancia entre los puntos de la constelación está determinada por el parámetro de modulación “ α ” que se define como la relación de la distancia entre dos puntos de la constelación pertenecientes a cuadrantes adyacentes y la distancia entre puntos del mismo cuadrante (ver figura 1.12). El estándar DVB-T especifica 3 valores para este parámetro: Modulaciones uniformes con $\alpha = 1$ y modulaciones no uniformes con $\alpha = 2$ y $\alpha = 4$.

1.4.2 Modulación OFDM.

La técnica de multiplexación C-OFDM es bien conocida por su habilidad de tratar con la interferencia intersímbolo (ISI) en las comunicaciones inalámbricas de alta velocidad. La multidifusión de video digital para televisión terrestre (DVB-T), como estándar de la TV digital europea, usa C-OFDM como su esquema de modulación, que aunque es fácil de remodular, conlleva un alto precio. En particular, los prefijos cíclicos (CP) mayores que la duración del canal deben ser enviados como los intervalos de guarda entre bloques consecutivos de la Transformada de Fourier discreta inversa (IDTF), provocando una pérdida en la utilización del canal. Además, DVB-T envía un gran volumen de símbolos de entrenamiento (más del

10% de los símbolos de datos) en aras de facilitar la estimación del canal, causando mayores pérdidas en el rendimiento del canal. Lo antes expuesto se puede observar en la figura 1.16.



C-OFDM: Proceso en Dominio de Frecuencia Refreshar parametro:1ms; Cierre de señal:100ms

Figura 1.16 Esquema C-OFDM.

Subportadoras.

Se consideran tres modos de operación según el número de subportadoras. En las cuales se subdivide la banda de transmisión. Concretamente, se tiene el modo “2k” con 2048 subportadoras, el modo “4k” con 4096 sub-portadoras, y el modo “8k” con 8192 subportadora. La modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), es un sistema que utiliza un número considerable de portadoras (ortogonales entre ellas) y en que cada portadora transporta una parte pequeña del total de la información a transmitir. En la práctica, todo el proceso de modulación se hace en forma digital, utilizando métodos basados en la Transformada Rápida de Fourier (FFT). El modo “8k” con 8192 subportadoras. El modo 4k fue añadido recién en 2004 para otorgar mayor flexibilidad de transmisión a terminales móviles y puede ser utilizado para transmisiones terrestre también.

En la práctica sólo se modulan 1705 subportadoras en el modo 2k, 3409 en el modo 4k, y 6817 en el modo 8k (incluye subportadoras con tonos pilotos y parámetros de transmisión), debido a limitaciones de los circuitos de radiofrecuencia. Entre las subportadoras moduladas, la cantidad de subportadoras destinadas a portar datos de video propiamente tales son 1512, 3024 y 6048 respectivamente, mientras que las demás son utilizadas para transmitir parámetros de codificación, modulación y tonos pilotos necesarios para

sincronización y estimación del canal. Esto además permite que cada operador configure su transmisión libremente en cada momento según contenido (noticias, alta definición, flujos priorizados, plan de negocios, etcétera) y que cada receptor se ajuste automáticamente a ella.

El modo de subportadoras utilizado no tiene incidencia sobre la tasa de datos. En efecto, dado el ancho de banda de la transmisión (por ejemplo, 6 MHz u 8 MHz), la duración de los símbolos OFDM en el modo 8k es el doble que los símbolos en el modo 4k, los que a su vez duran el doble que en el modo 2k. Así, *cuatro* símbolos OFDM en el modo 2k requieren del mismo tiempo de transmisión y portan igual cantidad de información que un símbolo 8k.

No obstante lo anterior, el modo 2k es más adecuado para recepción en terminales móviles, puesto que la duración menor de cada símbolo OFDM permite velocidades del móvil mayores (variaciones del canal más rápidas), precisamente hasta 4 veces superiores que en el modo 8k. En cambio, la desventaja de usar el modo 2k es que está limitado a canales 4 veces menos dispersivos que el modo 8k, lo que se traduce en celdas cuyo *radio de cobertura* es 4 veces menor que para el caso 8k, y por ende, cuya *área de cobertura* es 16 veces menor. Esto encarece significativamente el costo de implementación. El modo 4k fue introducido como un compromiso intermedio entre costo y movilidad.

Ancho de Banda de Transmisión.

El ancho de banda de transmisión depende esencialmente del ajuste de frecuencia del reloj de los circuitos que implementa la cadena de codificación de canal y modulación OFDM en transmisores y receptores DVB-T. No obstante, el estándar especifica explícitamente transmisiones en bandas de 5, 6, 7 y 8 MHz, a fin de definir claramente aspectos como tasas de datos y máscaras de radiación fuera de banda. Así, para canales de 8 MHz el período de reloj especificado es $7/64 \mu\text{s}$, y de $7/48 \mu\text{s}$ para canales de 6 MHz. Ello se traduce en una separación de 7,61 MHz entre las subportadoras extremas para bandas de 8 MHz, y 5,71 MHz para bandas de 6 MHz.

Circuitos integrados diseñados para realizar el procesamiento de banda base (Codificación de canal y modulación OFDM) para un ancho de banda de 8 MHz, cubre las necesidades de operar en bandas de 6 MHz. El radio de celda máximo que un determinado modo de subportadora (2k, 4k u 8k) puede soportar es 33% mayor (factor 8/6) en transmisiones de 6 MHz de ancho de banda que en 8MHz. Las áreas de cobertura correspondientes difieren en 77%. La ventaja en el caso de 6 MHz resulta de la menor separación entre las subportadoras, lo que permite operar en canales con mayor selectividad en frecuencia. La desventaja de lograr mayor cobertura de esta forma es una reducción de 33% en la tasa de datos.

Intervalo de guarda temporal.

El propósito de los intervalos de guarda es proveer inmunidad a la dispersión de canal. La técnica consiste en separar símbolos OFDM consecutivos y rellenar la brecha resultante (intervalo de guarda) con datos redundantes. Se especifican cuatro posibles valores para el intervalo de guarda entre símbolos OFDM, de 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 de la duración del símbolo OFDM.

Su elección depende principalmente de la geografía del entorno de transmisión, lo que determina la dispersión del canal correspondiente. En regiones con montañas se debe optar por valores mayores (1/4-1/8) que en las llanuras. En el caso más extremo (intervalo de 1/4), la tasa de datos se ve reducida en un 20%.

Modulación de subportadoras.

Las subportadoras pueden ser moduladas con constelaciones 4-QAM, 16-QAM o 64-QAM. Estas constelaciones son uniformes (símbolos equidistantes) en el caso de transmisión de un flujo de transporte único, mientras que se utiliza un formato no uniforme (símbolos equidistantes dentro de cada cuadrante, pero con separación mayor entre cuadrantes) al combinar flujos jerarquizados AP y BP. Las constelaciones se representan en la figura 1.17.

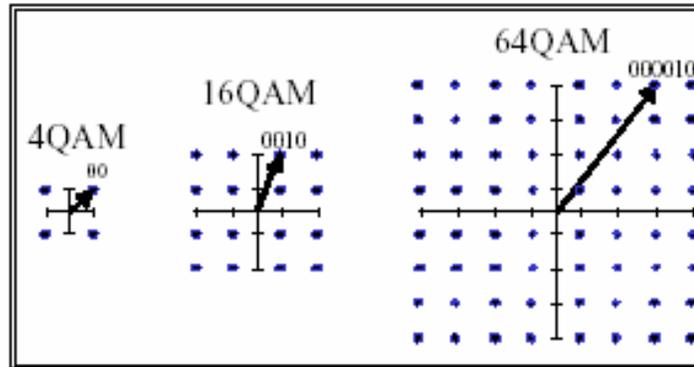


Figura 1.17 Constelaciones usadas.

1.5 Tasas de datos.

Las tasas de datos posibles en DVB-T dependen de los siguientes parámetros de codificación y modulación:

- ✓ Tasa de codificación del código interno (convolucional).
- ✓ Ancho de banda de la transmisión.
- ✓ Tamaño de la modulación QAM.
- ✓ Tamaño del intervalo de guarda.

La tasa de datos en cambio no depende de los siguientes parámetros:

- ✓ Número de subportadoras (2k, 4k u 8k).
- ✓ Transmisión jerarquizada o no.

Dado un ancho de banda de la transmisión y transmisión no jerarquizada (flujo de transporte único), todas las combinaciones de los demás parámetros permiten lograr en total 60 tasas de datos distintas. Para bandas de 6 MHz, las tasas de datos netas para transmisión de contenido están en el rango entre 3,73 Mbits/s y 23,75 Mbits/s. Para bandas de 8 MHz, las 60 tasas posibles son un 33% mayores (factor 8/6), estando por lo tanto en el rango entre 4,98 Mbits/s y 31,67 Mbits/s¹³. Lograr transmisiones *casi libres de errores* (CLE) a una tasa de datos determinada requiere una razón señal a ruido (SNR) mínima en los receptores. Esta SNR mínima es mayor cuanto mayor sea la tasa de datos deseada; depende de las condiciones de propagación y no del ancho de banda (ni del prefijo cíclico). En general, la SNR es menor cuanto más alejado esté un receptor del transmisor,

por lo que tasas de datos mayores (mayor SNR mínima requerida) encogen el área de cobertura en la que se obtiene transmisión CLE.

QEF: Quasi Error-Free transmission: significa menos de un error por hora en la entrada del demultiplexador MPEG-2 del receptor (salida del decodificador externo Reed-Solomon). Ello es equivalente a una tasa de error de 2×10^{-5} a la salida del decodificador Viterbi del código convolucional interno. La menor tasa de datos posible (3,73 Mbits/s o 4,98 Mbits/s), requiere entre 3,1 dB y 5,4 dB de SNR, y la mayor tasa posible (23,75 Mbits/s o 31,67 Mbits/s) requiere entre 20,1 dB

1.6 Características espectrales.

Las características espectrales de una transmisión OFDM dependen principalmente del número de subportadoras y de la duración del intervalo de guarda. La radiación fuera de banda de OFDM disminuye con el cuadrado de la frecuencia y puede ser reducida más aún utilizando filtros apropiados. La norma DVB-T especifica las máscaras espectrales de dichos filtros para evitar interferir con transmisiones de televisión analógica de varias normas (PAL, SECAM, etcétera) realizadas desde el mismo sitio y en canales adyacentes.

Como es sabido los símbolos OFDM constituyen una yuxtaposición de portadoras ortogonales equiespaciadas. Las amplitudes y las fases de las portadoras de datos varían de un símbolo a otro de acuerdo con el proceso de "mapeado" 7,61 MHz, descrito en el subepígrafe 1.4.1.6; obviamente el espectro resultante de todas las portadoras es la suma de los espectros particulares de cada una de ellas. En la figura el espectro teórico para los estándares 2k y 8k con intervalo de guarda $\Delta = T_U / 4$ en canales de 8MHz de anchura de banda se puede ver en la figura 1.18.

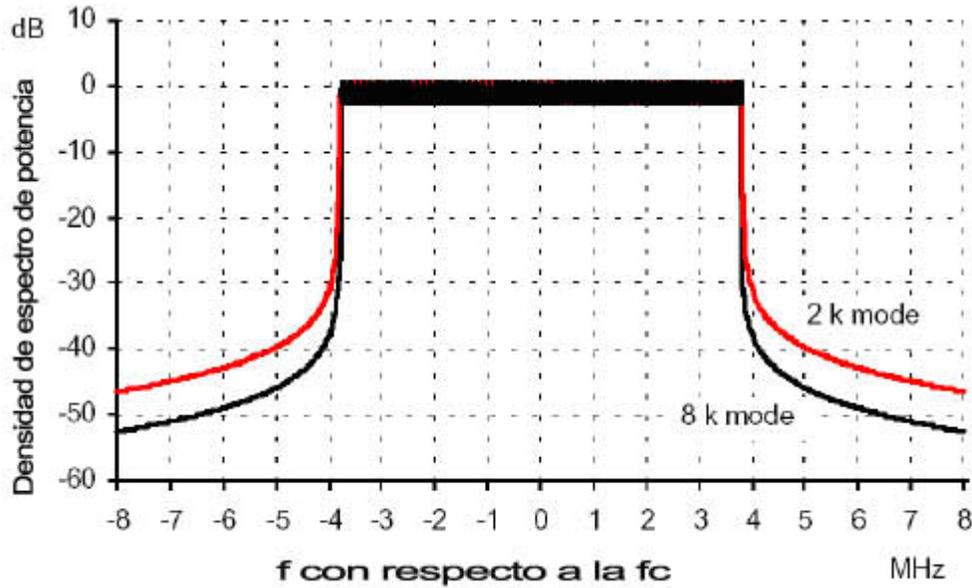


Figura 1.18 Espectro DVB-T teórico para $\Delta=T_u/4$ (canales de 8 MHz).

1.7 Máscara espectral.

Normalmente la señal radiada por los transmisores se procesa de forma que las hombreras queden reducidas a un nivel mínimo. Las técnicas para conseguirlo suelen consistir en la utilización de amplificadores de potencia razonablemente lineales, y en las aplicaciones de pre-correcciones analógicas o digitales a la señal OFDM para compensar las distorsiones de los pasos de potencia. Sin embargo los resultados obtenidos con estos métodos sólo consiguen valores de hombreras comprendidos entre 35 y 40 dB por debajo del nivel nominal de la señal dentro de banda, lo que resulta insuficiente para que los canales adyacentes no resulten afectados. Es necesario por lo tanto emplear un filtro en la salida de los transmisores, cuya curva de repuesta reduzca a valores suficientemente bajos el nivel de las componentes del espectro de la señal situadas fuera de la banda nominal asignada. El espectro resultante de la señal con sus hombreras seguidas del filtro descrito deberá cumplir con un perfil que se especifica mediante una “máscara”.

La figura 1.19 recoge las características de la denominada máscara crítica que es la requerida en el caso de presencia de canales adyacentes de TDT. También dicha figura expresa el valor aproximado para los puntos mas conflictivos situados

a $\pm 4,2\text{MHz}$ respecto a la frecuencia central, en el caso de máscara estándar o no crítica, aplicable en el caso de canales adyacentes de TV analógica.

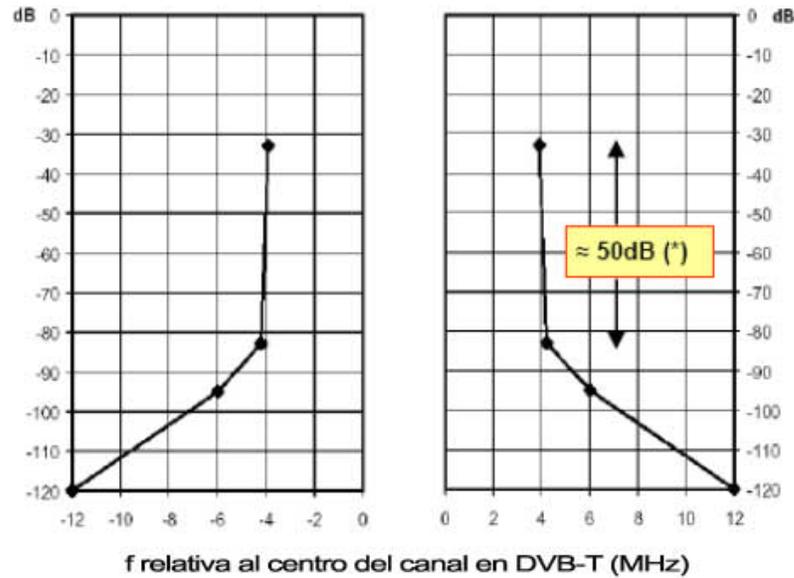


Figura 1.19 Mascara Critica para la señal DVB-Ten canales de 8 MHz.

1.8 Operación con frecuencia única nacional (Red SFP).

Para cubrir un área geográfica, un operador de televisión digital terrestre puede utilizar un solo transmisor de alta potencia y gran alcance, o múltiples transmisores de potencias menores. El concepto de los transmisores múltiples es similar al de las celdas en la telefonía móvil, pero en este último caso, los transmisores pueden ya sea ser configurados para transmitir a frecuencias distintas (red celular de frecuencia múltiple), o bien a la misma frecuencia (red celular con factor de reutilización uno).

En redes de frecuencia única para distribución de TDT, puede haber sectores entre transmisores adyacentes, en los cuales las transmisiones de éstos se solapan. En estos sectores, los receptores perciben las múltiples transmisiones como una propagación de multitrayectoria, puesto que las transmisiones portan el mismo contenido pero están desfasadas en el tiempo y tienen magnitudes relativas que dependen de la ubicación del receptor respecto a los transmisores.

El receptor debe procesar estas múltiples transmisiones para obtener una sola

señal que permita demodular el flujo de transporte con la menor cantidad de errores. En este sentido, si un estándar tiene mejor robustez frente a propagación de multitrayectoria, la tendrá también en términos de la operación en red con frecuencia única.

El principal desafío que enfrenta la operación de un sistema de TV digital mediante Redes de Frecuencia Única (RFU) es lograr y mantener el mejor sincronismo posible entre las estaciones transmisoras, de modo que las señales provenientes de dos o más estaciones puedan ser interpretadas, en la práctica, como ecos de una sola transmisión.

En redes de frecuencia única (RFU) con el estándar DVB-T, como en cualquier otro las múltiples señales recibidas en las zonas de solapamiento de los transmisores deben parecerse lo más posible a un eco. El sincronismo entre estaciones debe ser logrado en tres aspectos:

- ✓ Frecuencias idénticas de las portadoras de radiofrecuencia.
- ✓ Frecuencias idénticas de muestreo entre los moduladores OFDM.
- ✓ Flujos de transporte idénticos y sincronizados entre estaciones.

Diferencias entre las frecuencias de portadora o de muestreo causan una degradación en la señal recibida similar a una pérdida de SNR o a una Interferencia de Co-canal. Si el sincronismo del flujo de transporte no es logrado, con suficiente precisión, las transmisiones de celdas adyacentes tendrán un efecto equivalente al de una propagación de multitrayectoria mucho más dispersiva que la real existente entre el transmisor local (deseado) y el receptor. Si, en cambio, dicho sincronismo no existe, transmisiones idénticas pero desfasadas de celdas adyacentes causarán Interferencia de Co-canal (ICC) en la celda deseada.

En ambos casos, la consecuencia es ya sea una pérdida de eficiencia espectral (menor tasa de datos), o degradación de la calidad de la imagen y audio recibidos.

La operación de un sistema DVB-T mediante RFU está especificada en el documento [18]. Su funcionamiento es conceptualmente sencillo y puede ser resumido de la siguiente forma:

- ✓ El flujo de transporte multiplexado es compuesto en los estudios de un canal de televisión.

- ✓ Periódicamente (al menos una vez cada segundo) se inserta en el flujo de transporte un *paquete de referencia*, el que porta una identificación única y marca horaria de alta precisión. La señal horaria del sistema de posicionamiento global (GPS) es una alternativa viable y cumple con la condición adicional de estar disponible en todas las celdas de transmisión de la RFU.
- ✓ El flujo de transporte adaptado en el punto anterior es distribuido geográficamente hacia los lugares de transmisión (celdas de transmisión, antenas) mediante una red de datos.
- ✓ Cada celda remueve el paquete de referencia horaria del flujo de transporte y compara su marca horaria con la referencia local. Ello permite determinar la compensación necesaria en cada celda al retardo de propagación de la red de distribución para lograr sincronización de la RFU.
- ✓ Cada celda codifica y modula el flujo de transporte en formato DVB-T utilizando los mismos parámetros, y efectúa la transmisión en sincronización con las demás celdas.

Es fundamental señalar que el mecanismo de sincronización puede compensar retardos de propagación en la red de distribución de más de un segundo. Por lo tanto, el tamaño de una RFU de DVB-T está limitado a áreas geográficas, dentro de las cuales la red de distribución de datos tiene retardos menores a un segundo. También cabe destacar que el estándar no especifica la precisión requerida de los osciladores de portadora y banda base para asegurar la sincronización correspondiente entre estaciones. No obstante, el estándar sí considera la funcionalidad para ajustar las portadoras en pasos de 1 Hz. La sincronización de los relojes de banda base no es descrita.

Capítulo 2

El estándar digital chino DTMB.

2.1 Antecedentes generales.

El estudio de esta norma se comienza en el año 1994, a propuesta del gobierno chino, para dar cobertura total a toda su geografía con un estándar apropiado desde el punto de vista técnico y económico. Comenzaron a trabajar de conjunto dos laboratorio de la nacional HDTV (SARFT System tet lab y MII Laboratorio de equipamiento y prueba). Al ser un país tan extenso y teniendo de todo tipo de accidente geográfico, así como ciudades con edificaciones altas y a orillas del mar, los obliga a escoger un estándar lo más robusto posible. Es el país con más telerreceptores del mundo, con 400 millones de tv, con una entrega anual de 40 millones. Con la creación de su propio estándar también logran bajar los costos de los equipos y así poder entrar en el mercado con un producto de calidad y costos más asequibles que el de las normas actuales.

2.2 El sistema DTMB.

DTMB es parte importante del sistema de radiodifusión, trabaja junto a los sistemas de difusión por satélite y cable, para proporcionar una cobertura total. En la figura 2.1 se muestra el diagrama general.

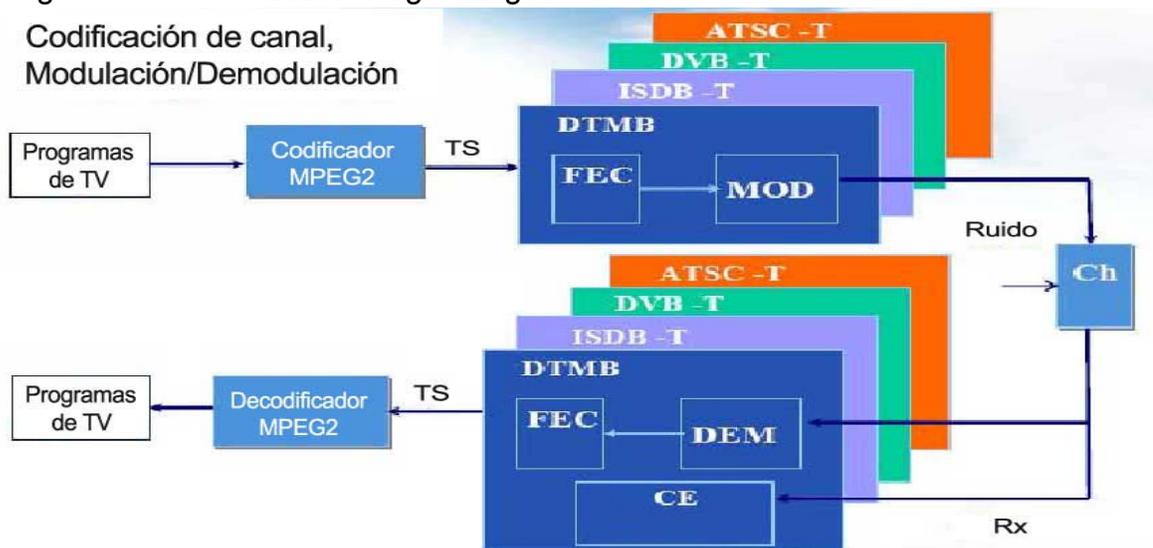


Figura 2.1 Diagrama general del sistema DTMB.

La estructura de marco, codificación de canal y modulación para el Sistema de Radiodifusión por Televisión Digital Terrestre se define en esta norma. La tecnología clave en esta norma es la secuencia PN del cabezal de marco, la que puede ser usada para la sincronización rápida y la estimación/ecualización de alta eficiencia del canal, codificación LDPC –BCH del FEC, y el sistema de información con tecnología de transmisión de extensión del espectro. Esta norma puede soportar tasa de carga neta de 4.813 Mbps a 32.486 Mbps, SDTV y HDTV, recepción móvil y estacionaria, MFN y SFN. El audio del estándar DTMB sigue las recomendaciones del formato MPEG-2 para estéreo.

El sistema de transmisión RF tiene sus características específicas en el bloque de codificación de canal que se explicará más adelante. En dicho bloque se le aplica a la señal un conjunto de procesos, cuyo objetivo es proteger los flujos de transporte de los efectos de las diversas fuentes de ruidos e interferencias que degradan las transmisiones.

El módulo de modulación OFDM genera las señales de radiofrecuencia que son transmitidas por radio a partir de los datos digitales entregados por el codificador de canal.

2.3 Características de la fuente.

2.3.1 Características del video.

DTMB implementará MPEG-2 para transmisión simultánea de canales en una misma portadora de frecuencia, mientras que para transmisión de canales HDTV, utilizará H.264, soportando además las mismas resoluciones en pantalla que las representadas en la tabla 1.1 del subepígrafe 1.3.1.

2.3.2 Características del audio.

Para la compresión del audio, la propuesta DTMB se basará en MPEG-1 Audio layer II (MP2) para audio estéreo y Dolby AC-3 para surround.

2.4 Descripción del sistema.

2.4.1 Consideraciones generales.

El sistema de codificación DTMB al igual que DVB-T fue diseñado en gran medida para manejar la Interferencia Dentro del Canal (IDC) e Interferencia de Canal Adyacente (ICA) producidas por transmisiones, tanto analógicas como digitales. El alto grado de protección necesario se logra mediante el bloque FEC con la combinación BCH+LDPC y entrelazadores, según se describe a continuación (figura 2.2). El significado de IDC e ICA fue descrito en la norma DVB-T en el subepígrafe 1.4.1.; teniendo el mismo significado para las dos. [11]

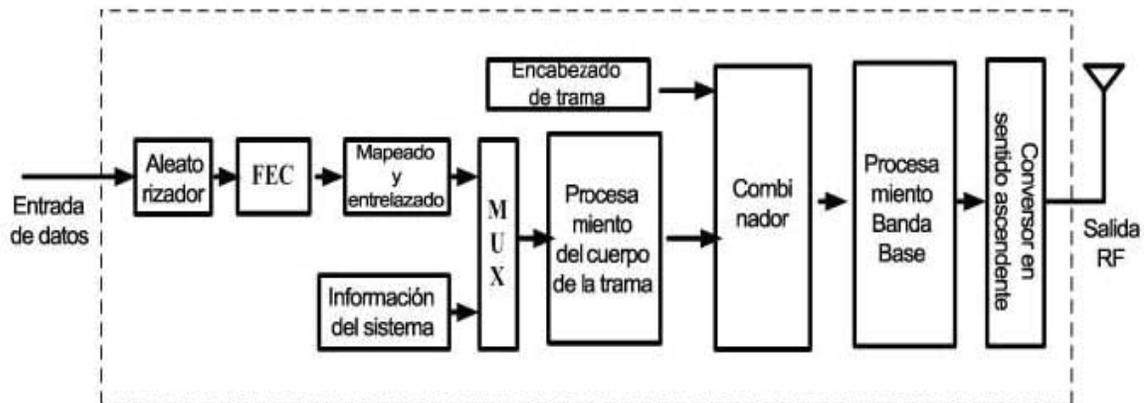


Figura 2.2 Diagrama en bloque del sistema DTMB.

2.4.2 Codificación y modulación de canal.

2.4.2.1 Aleatorizador.

En aras de asegurar una adecuada transición binaria, los datos de entrada MPEG-2 ya multiplexados, deben ser aleatorizados de acuerdo con las configuraciones descritas en la figura 2.3. El polinomio para el generador PRBS debe ser:

$$G(x) = 1 + x^{14} + x^{15}$$

El estado inicial de este LFSR es: "100101010000000". El primer bit a la salida del generador PBRS debe ser aplicado al primer bit (por ejemplo el bit más significativo MSB).

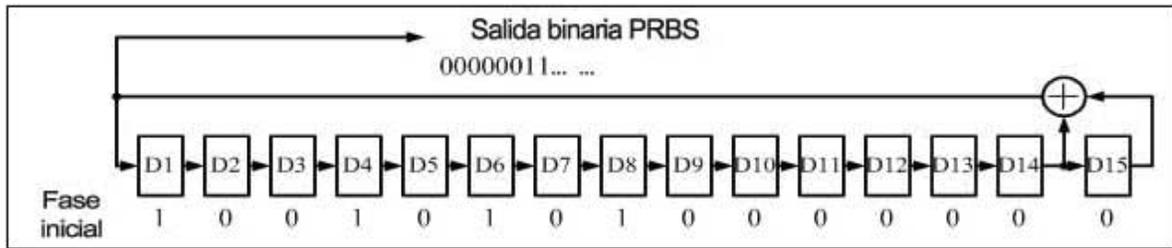


Figura 2.3 Diagrama esquemático de codificación.

2.4.2.2 FEC.

El FEC se hará después que el flujo de datos de la entrada es aleatorizado. El FEC se lleva a cabo mediante la concatenación del codificador BCH más externo y el codificador LDPC más interno. Los parámetros del FEC se muestran en la tabla 2.1.

Número	Longitud del bloque(bits)	Bits de información	Razón de relación
Razón 1	7488	3008	0.4
Razón 2	7488	4512	0.6
Razón 3	7488	6016	0.8

Tabla 2.1 Parámetros de FCE.

El código BCH(762, 752) se deriva del BCH (1023, 1013), donde 261 bits se agregan en la parte frontal de 752 bits de información antes de la aleatorización, para obtener 1013 bits de información. Después de la codificación BCH(1023, 1013), 1023 bits fueron construidos (donde los bits de información se encuentran al inicio). Quitando los primeros 261 bits 0, quedan entonces 762 bits ya codificados. El polinomio para la codificación BCH es:

$$G_{BCH}(x)=1+x^3+x^{10}$$

La matriz de chequeo de paridad del código LDPC se construye basada en códigos RS con dos símbolos de información de la matriz de descomposición, y su matriz de generación G_{qc} se muestra como:

Donde I es la matriz Identidad de $b \times b$, O es la matriz 0 de $b \times b$, y $G_{i,j}$ es una matriz circulante de orden $b \times b$ con $0 \leq i \leq k-1$ y $0 \leq j \leq c-1$. [25]

$$G_{qc} = \begin{bmatrix} G_{0,0} & G_{0,1} & \cdots & G_{0,c-1} & I & O & \cdots & O \\ G_{1,0} & G_{1,1} & \cdots & G_{1,c-1} & O & I & \cdots & O \\ \vdots & \vdots & G_{i,j} & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{k-1,0} & G_{k-1,1} & \cdots & G_{k-1,c-1} & O & O & \cdots & I \end{bmatrix}$$

El código LDPC es generado por la matriz circulante $G_{i,j}$. Los códigos FEC más internos con 3 razones diferentes se construyen como sigue:

1 Razón de Código 0.4(7488, 3008).

Cuatro códigos BCH(762, 752) son concatenados para formar la entrada del código LDPC(7493, 3048), donde sus primeros 5 bits de chequeo de paridad son eliminados para reducir la longitud de dicho código hasta 7488. La matriz de generacion del código LDPC(7493,3048) G_{qc} tiene la estructura mostrada en la definición anterior, con $k=24$, $c=35$ y $b=127$

2 Razón de Código 0.6(7488, 4512).

Seis códigos BCH(762, 752) son concatenados para formar la entrada del código LDPC(7493,4572), donde sus primeros 5bits de chequeo de paridad son eliminados para reducir la longitud de dicho código hasta 7488. La matriz de generacion del código LDPC(7493,4572) G_{qc} tiene la estructura mostrada en la definición anterior, con $k=36$, $c=23$ y $b=127$.

3 Razón de Código de 0.8(7488, 6016).

Ocho códigos BCH(762, 752) son concatenados para formar la entrada del código LDPC(7493,6096), donde sus primeros 5 bits de chequeo de paridad son eliminados para reducir la longitud de dicho código hasta 7488. La matriz de generacion del código LDPC(7493,6096), G_{qc} tiene la estructura mostrada en la definición anterior, con $k=48$, $c=11$ y $b=127$.

2.4.2.3 Constelación de señales y mapeo.

Sumario.

La salida del FEC será uniformemente convertida a flujos de símbolos nQAM, (donde n son los puntos de la constelación), siendo el bit menos significativo (LSB) de cada símbolo el primer bit FEC codificado a la entrada.

Este estándar soporta las siguientes constelaciones: 64QAM, 32QAM, 16QAM, 4QAM, 4QAM-NR. La normalización de la potencia se considera durante el mapeo del símbolo, lo cual contribuye con que la potencia promedio de los diferentes mapeos permanezca en el mismo nivel.

El factor de normalización de potencia se considera en las siguientes constelaciones.

Constelaciones.

✓ **Mapeo 64QAM.**

Para la 64QAM, 6 bits de entrada serán mapeados como 1 símbolo de la constelación. Los bits FEC de datos de salida se dividen en grupos de 6 bits (b5b4b3b2b1b0). Para la componente en fase, I= b2b1b0, mientras que para la componente en cuadratura, Q=b5b4b3. Los valores exactos de los puntos de la constelación para las componentes I y Q son -7 , -5 , -3 , -1 , 1 , 3 , 5 y 7, respectivamente.

✓ **Mapeo 32QAM.**

Para la 32QAM, 5 bits de entrada serán mapeados como 1 símbolo de la constelación. Los bits FEC de datos de salida se dividen en grupos de 5 bits (b4b3b2b1b0). Los valores exactos de los puntos de la constelación para las componentes I y Q son -7.5 , -4.5 , -1.5 , 1.5 , 4.5 y 7.5, respectivamente.

✓ **Mapeo 16QAM.**

Para la 16QAM, 4 bits de entrada serán mapeados como 1 símbolo de la constelación. Los bits FEC de datos de salida se dividen en grupos de 4 bits (b3b2b1b0). Para la componente en fase I=b1b0, mientras que para la componente en cuadratura Q=b3b2. Los valores exactos de los puntos de la constelación para las componentes I y Q son -6 , -2 , 2 y 6 respectivamente.

✓ **Mapeo 4QAM.**

Para la 4QAM, 2 bits de entrada serán mapeados como 1 símbolo de la constelación. Los bits FEC de datos de salida se dividen en grupos de 2 bits (b1b0). Para la componente en fase I=b0, mientras que para la componente en cuadratura Q=b1. Los valores exactos de los puntos de la constelación para las componentes I y Q son -4.5 y 4.5 respectivamente.

✓ **Mapeo 4QAM-NR.**

En el mapeo 4QAM-NR, la codificación NR se agrega antes del mapeo 4QAM. El entrelazado fue hecho "bit inteligente" en la salida FEC, entonces se aplica una codificación NR de 8 a 16 bits, llamada mapeo cuasiortogonal. La salida de la codificación NR primero se mapea a 4QAM y luego se multiplexa con la información del sistema. El código NR convierte cada 8 bits de entrada en 16 bits, y estos 16 bits son: $x_0x_1x_2x_3x_4x_5x_6x_7y_0y_1y_2y_3y_4y_5y_6y_7$.

Donde $x_0x_1x_2x_3x_4x_5x_6x_7$ son bits de información, $y_0y_1y_2y_3y_4y_5y_6y_7$ son bits derivativos, cada bit tomará el valor de 0 o 1. El polinomio NR es:

$$\begin{aligned}
 y_0 &= x_7 + x_6 + x_0 + x_1 + x_3 + (x_0 + x_4)(x_1 + x_2 + x_3 + x_5) + (x_1 + x_2)(x_3 + x_5) \\
 y_1 &= x_7 + x_0 + x_1 + x_2 + x_4 + (x_1 + x_5)(x_2 + x_3 + x_4 + x_6) + (x_2 + x_3)(x_4 + x_6) \\
 y_2 &= x_7 + x_1 + x_2 + x_3 + x_5 + (x_2 + x_6)(x_3 + x_4 + x_5 + x_0) + (x_3 + x_4)(x_5 + x_0) \\
 y_3 &= x_7 + x_2 + x_3 + x_4 + x_6 + (x_3 + x_0)(x_4 + x_5 + x_6 + x_1) + (x_4 + x_5)(x_6 + x_1) \\
 y_4 &= x_7 + x_3 + x_4 + x_5 + x_0 + (x_4 + x_1)(x_5 + x_6 + x_0 + x_2) + (x_5 + x_6)(x_0 + x_2) \\
 y_5 &= x_7 + x_4 + x_5 + x_6 + x_1 + (x_5 + x_2)(x_6 + x_0 + x_1 + x_3) + (x_6 + x_0)(x_1 + x_3) \\
 y_6 &= x_7 + x_5 + x_6 + x_0 + x_2 + (x_6 + x_3)(x_0 + x_1 + x_2 + x_4) + (x_0 + x_1)(x_2 + x_4) \\
 y_7 &= x_0 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6
 \end{aligned}$$

Los más usados por DTMB se representan en la figura 2.4.

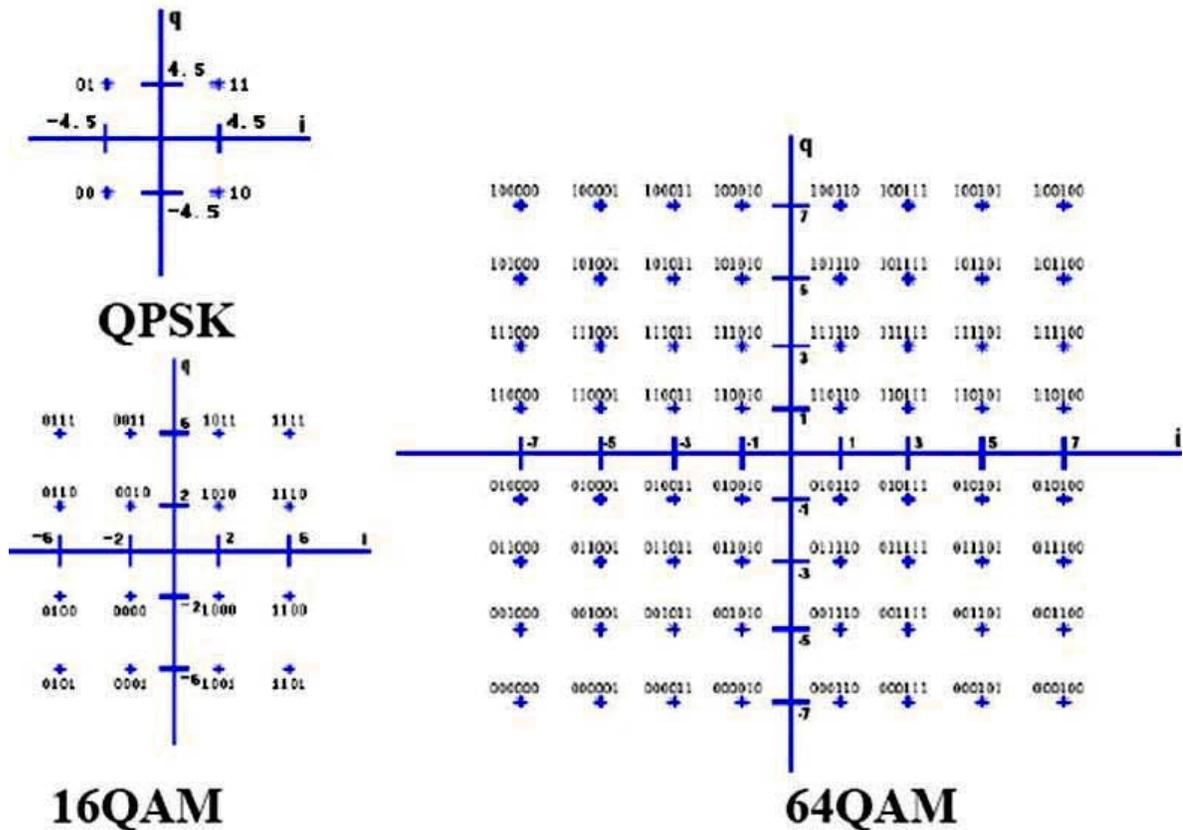


Figura 2.4 Constelaciones más usadas de DTMB.

2.4.2.4 Entrelazado en el tiempo.

El entrelazado en el dominio del tiempo se aplica a lo largo de varias tramas de señales. Un entrelazador convolucional se usa para el entrelazado temporal, mostrado en la figura 2.5 donde B es el número de ramificaciones de entrelazamiento y M es la profundidad de entrelazado. La ramificación 0 se sincroniza con el primer símbolo del bloque de datos básicos. La demora total de entrelazado y de-entrelazado es de $B \cdot (B-1) \cdot M$ símbolos.

Modo 1 B=52 , M=240 símbolos. La demora total de entrelazado y de-entrelazado es de 170 tramas de señal.

Modo 2 B=52 , M=720 símbolos. La demora total de entrelazado y de-entrelazado es de 510 tramas de señal.

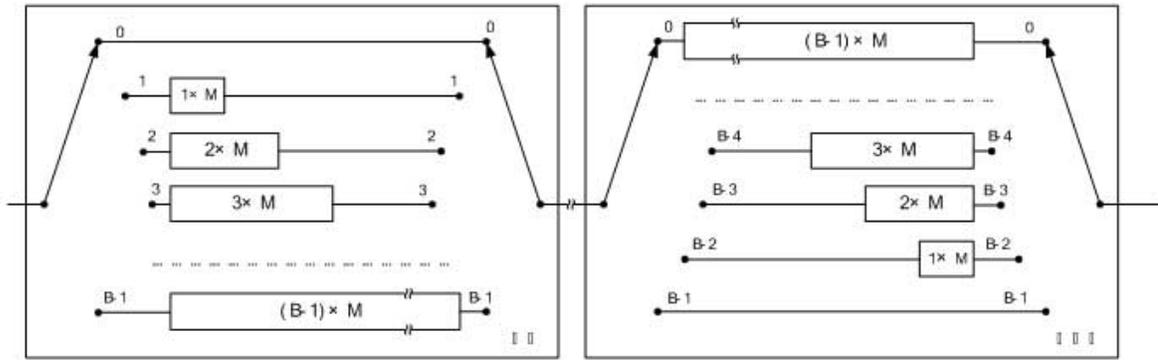


Figura 2.5 Entrelazado convolucional entre bloques de datos.

De los dos modos el más usado es:

B/M: 52/240 Con retraso 170 Trama de Señal

B/M: 52/720 Con retraso 510 Trama de Señal

2.4.2.5 Frecuencia de entrelazado.

La frecuencia de entrelazado se usa cuando $C=3780$ con la definición de subportadora establecida, la cual se muestra en el sub epígrafe 2.4.5. La frecuencia de entrelazado es hecha dentro del cuerpo de la trama, y su tamaño es 3780 que es exactamente el número de subportadoras. Esta frecuencia se define como: $X [3780]$ y consiste en 36 símbolos de información del sistema al inicio del cuerpo de la trama seguidos por 3744 símbolos de datos.

2.4.3 Trama.

2.4.3.1 Descripción de la estructura de trama.

La estructura de trama del canal físico de este estándar se muestra en la figura 2.6. La estructura de tramas es jerárquica con 4 capas o niveles. La capa inferior se le denomina trama de señal. La trama de señal está formada por dos partes, llamadas cabecera de trama y cuerpo de la trama. La super trama se define como un grupo de tramas de señal. La trama de minutos se define como un grupo de super tramas. La capa superior se llama trama día calendario (CDF). El canal físico es periódico y sincronizado al tiempo absoluto. [25]

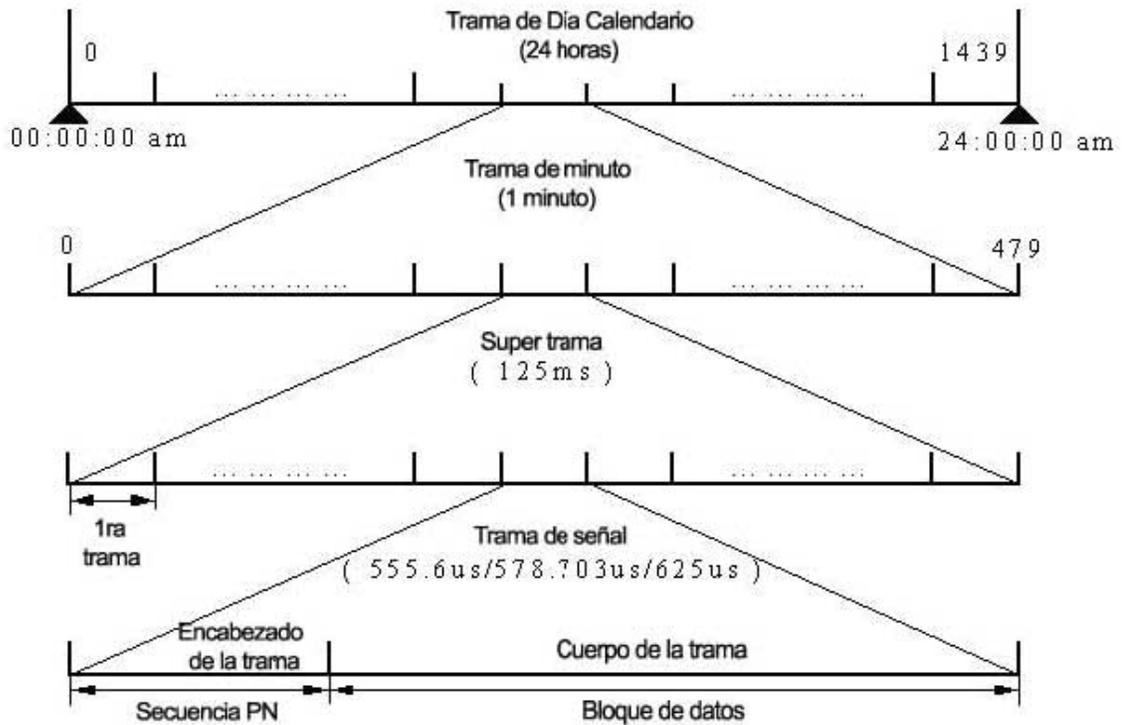


Figura 2.6 Jerarquía de la estructura de trama.

Trama de señal.

La trama de señal es el elemento básico de la estructura de tramas del sistema. Consiste de dos partes: encabezado y cuerpo de la trama. La razón de símbolos en banda base para ambas es la misma y están definidas como 7.56 Mbps.

El encabezado de la trama usa una secuencia PN y hay 3 opciones en la longitud de la cabecera. La cabecera de la trama usa esquemas de modulación 4QAM con los mismos componentes I y Q.

El cuerpo de la trama consiste en 36 símbolos de información del sistema y 3744 símbolos de datos. La duración del cuerpo de la trama es 500 μ s ($3780 \cdot 1/7.56 \mu$ s).

Super trama.

Una super trama dura 125 ms, lo cual equivale a 8 super tramas en un segundo, lo cual ayuda en la temporización de los sistemas (por ejemplo, en los GPS) durante sus períodos de calibración. La primera trama de señal en la super trama se define como trama de cabecera.

Trama de minuto.

Dura 1 minuto, lo cual incluye 480 super tramas.

Trama de día calendario.

Se repite periódicamente cada día. A las 0:0:0 am la estructura de trama del canal físico se reseteará y una nueva trama de día calendario comenzará, durando 24 horas.

2.4.4 Trama de señal.

Estructura de la trama de señal.

El elemento de trama básico, llamado trama de señal, consiste en la cabecera y cuerpo de la trama, con tres opciones de longitud para la cabecera de trama como se muestra en la figuras 2.7 a, b y c, en dependencia de las aplicaciones que se vayan a soportar. Mientras que el cuerpo de la trama y la supertrama siempre tienen períodos de tiempo fijos, una super trama tendra 225, 216, y 200 tramas de señal, en correspondencia con las opciones de longitud para los encabezados de tramas, según se muestra en las figuras de la 27a a la 27c, respectivamente.

Encabezado de la trama (420símbolos)(55.6µs)	Cuerpo de la trama (información del sistema y datos) (3780 símbolos) (500µs)
---	--

Figura 2.7 a Estructura 1 de la trama de señal.

Encabezado de la trama (595símbolos)(78.7µs)	Cuerpo de la trama (información del sistema y datos) (3780 símbolos)(500µs)
---	---

Figura 2.7 b Estructura 2 de la trama de señal.

Encabezado de la trama (945símbolos)(125µs)	Cuerpo de la trama (información del sistema y datos) (3780 símbolos)(500µs)
--	---

Figura 2.7 c Estructura 3 de la trama de señal.

2.4.4.1 Encabezado de trama.

Opción 1.

Las secuencias PN usadas en la cabecera de la trama, en la primera opción, se definen como una extensión cíclica de octavo orden de secuencia m implementada por un registro de desplazamiento con realimentación lineal del tipo Fibonacci (LFSR). Las secuencias PN se mapearán en una señal binaria de no retorno a cero con el mapeo del cero en el nivel +1 y el uno en el nivel -1.

La cabecera de la trama en la primera opción consiste de un preámbulo, de una secuencia PN de 255 bits de longitud y un post preámbulo. El primero y el ultimo de estos componentes se definen como una extensión cíclica de la secuencia PN255. La condición inicial del LSFR determina la fase de la secuencia PN. Existen 225 tramas de señal en una super trama. Las cabeceras de tramas son diferentes para diferentes tramas de señales dentro de la misma super trama, sirviendo así con propósitos de identificación. Ejemplificada en la figura 2.8.

Pre amble 82 símbolos	PN255	Post amble 83 símbolos
--------------------------	-------	---------------------------

Figura 2.8 PN420 estructura.

El polinomio LFSR se define como:

$$G_{255}(x)=1+x+x^5+x^6+x^8$$

La condición inicial de 8 bits del LFSR será reseteada al inicio de cada super trama.

El diagrama en bloques del LFSR se muestra en la siguiente figura 2.9.

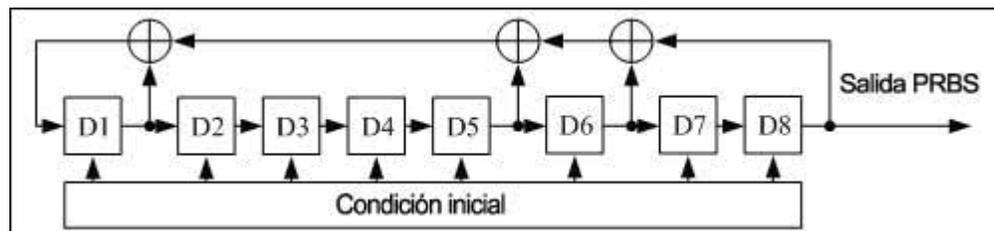


Figura 2.9 Estructura de secuencia m de orden 8.

Basado en la condición inicial, se pueden generar secuencias 255 PN420 con diferentes fases, con el índice desde 0 hasta 254. Estas secuencias se eligen en este estandar con el índice desde 0 hasta 254. Para 225 tramas de señales cada super trama, cada trama de señal usa secuencias PN420 con diferentes fases para la identificación. Para reducir la correlación entre las secuencias PN420 con índices cercanos unos de otros, la selección de computadoras ha sido conducida para arreglar óptimamente estas secuencias PN420. El LFSR será reseteado a la condición inicial con índice 0 en el comienzo de cada super trama.

Opción 2.

La secuencia PN que se usa en esta opción se define como la m-ésima secuencia de orden 10 (longitud máxima de 1023), cuyos primeros 595 bits escogen como la cabecera de trama.

El polinomio de la secuencia de orden m se define como:

$$G_{1023}(x) = 1 + x^3 + x^{10}$$

La condición inicial del LFSR es 0000000001, aunque ésta se resetea en cada señal de trama. El diagrama en bloque del LFSR se muestra en la figura 2.10.

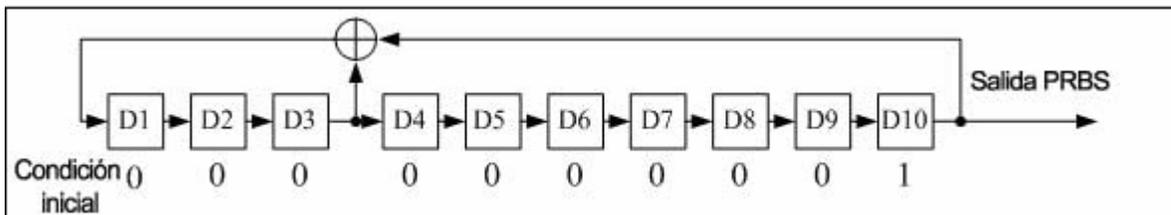


Figure 2.10 Estructura de secuencia m de orden 10

Las secuencias PN se mapearán en una señal binaria de no retorno a cero con un mapeo definido como de forma tal que el 0 se corresponde con un nivel +1 y el 1 con un valor -1. Existen 216 tramas de señal en cada super trama, y todas las tramas de señal usan la misma secuencia PN. La potencia del encabezado de trama es la misma que la potencia promedio del cuerpo de la trama.

Opción 3.

La secuencia PN usada en esta opción se define como la m-ésima secuencia de extensión cíclica de 9no. orden implementada por un registro del tipo Fibonacci (LFSR). Las secuencias PN se mapearán en una señal binaria de no retorno a cero con el mapeo del 0 en +1 y del 1 en -1.

El encabezado de la trama en esta opción (945 símbolos) consiste de un preámbulo que antecede y sucede a una secuencia PN de 511 bits de longitud (PN-511). Este preámbulo está formado por 217 símbolos. Estos preámbulos se definen como una extensión cíclica de la secuencia PN511. La condición inicial del LFSR determina la fase de la secuencia PN. Existen 200 tramas de señal en una super trama. Los encabezados de tramas son diferentes para diferentes tramas de señal dentro de la misma super trama, sirviendo para propósitos de identificación. Como se ilustra en la figura 2.11.



Figura 2.11 Estructura PN945.

El polinomio LFSR se define como:

$$G_{511}(x)=1+x^2+x^7+x^8+x^9$$

La condición inicial de 9 bits del LFSR será reseteada al inicio de cada super trama. El diagrama en bloque del LFSR se muestra en la figura 2.12.

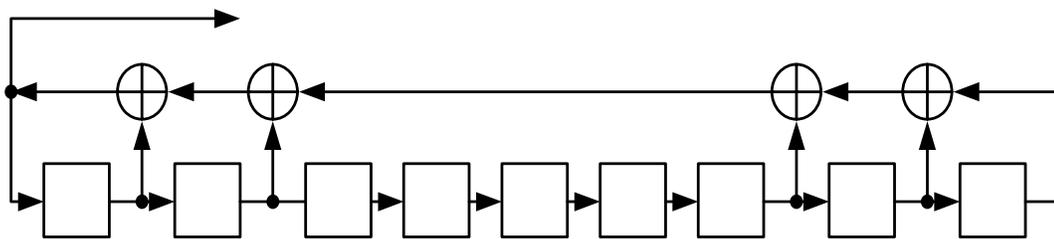


Figura 2.12 Estructura de secuencia m de orden 9.

Basado en la condición inicial 511 secuencias PN945 con diferentes fases podrán ser generadas, con índices desde 0 hasta 510. 200 secuencias PN945 se escogen en este estándar con índices desde 0 hasta 199. Para 200 tramas de señal en cada super trama, cada trama de señal usa secuencias PN945 con diferentes fases para identificarlas. Para reducir la correlación entre las secuencias PN945 con índices cercanos unos de otros se han implementado programas de software que hacen arreglos óptimos de estas secuencias PN945 EL LFSR será reseteado a la condición inicial con índice 0 al inicio de cada super trama. De estas 3 opciones la 1 y la 3 son las más usadas.

Nota: Cuando no se necesita la identificación PN, se usa la condición inicial con índice 0 para todas las tramas de señal.

2.4.4.2 Información de sistema.

Esta información se usa para proporcionar la información necesaria de demodulación y decodificación, incluyendo los modos de las constelaciones, los rangos LDPC, modos de entrelazado e información del cuerpo de la trama de forma general. En conjunto, existen 64 modos representados por 6 bits ($s_5s_4s_3s_2s_1s_0$ siendo s_5 el bit más significativo o MSB-More Significant Bit) y son transmitidos usando las tecnologías de espectro extendido. Se define como: Los últimos 4 bits($s_3s_2s_1s_0$): definen la constelación y la razón de codificación FEC, lo cual se muestra en la tabla 2.2.

$s_3s_2s_1s_0$	Definición
0000	Indicador del encabezado de trama de la súper trama con número impar de trama
0001	4QAM LDPC razón 1
0010	4QAM LDPC razón 2
0011	4QAM LDPC razón 3
0100	Reservado
0101	Reservado
0110	Reservado
0111	4QAM-NR LDPC razón 3
1000	Reservado
1001	16QAM LDPC razón 1
1010	16QAM LDPC razón 2
1011	16QAM LDPC razón 3
1100	32QAM LDPC razón 3
1101	64QAM LDPC razón 1
1110	64QAM LDPC razón 2
1111	64QAM LDPC razón 3

Tabla 2.2 Tipo de constelación y razón de codificación FEC.

Bit de información del sistema s_4 : información de entrelazado definida en la siguiente tabla.

s_4	Definición
0	Modo de entrelazado 1
1	Modo de entrelazado 2

Tabla 2.3 Definición del sistema de información bit s_4 .

Bit de información del sistema s_5 : reservado. Los 6 bits de información primero se convierten en un vector de información de 32 bits mediante el uso de la tecnología de espectro extendido. Una secuencia Walsh con una longitud de 32 bits y PRBS con longitud de 32 bits se usan para esta conversión. Generación de 32 vectores de Walsh con longitud 32. Estos se derivan del bloque de Walsh con longitud 32. El bloque básico de Walsh se muestra como la fórmula:

$$\mathbf{W}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

y el bloque del sistema Walsh para el método de generación se muestra como la fórmula:

$$\mathbf{W}_{2^n} = \begin{bmatrix} \mathbf{H} & \mathbf{H} \\ \mathbf{H} & -\mathbf{H} \end{bmatrix} \quad \text{Donde H es el bloque o módulo Walsh de } W_{2^{(n-1)}}$$

Llevando a cabo una operación inversa a la explicada anteriormente con respecto a los 32 vectores Walsh en su conjunto, 64 vectores con longitud de 32 bits se pueden obtener incluidos con el original, así como estos 32 vectores de Walsh. Los vectores se mapearán en una señal binaria de no retorno a cero con un mapeo a un nivel de +1 para el 1 y -1 para el 0, entonces 64 vectores binarios se generarán.

Llevando a cabo una operación XOR entre estos 64 vectores binarios y un PRBS de longitud 32 bits, se obtendrán finalmente un sistema de 64 vectores de información. El PRBS de 32 bits esta formado por la m-ésima secuencia de 5to. orden con una longitud máxima de 31 seguida por un 0. El polinomio generador de esta secuencia esta dado por:

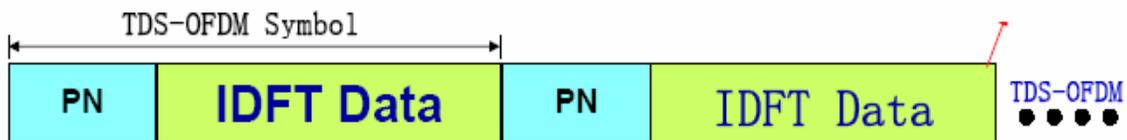
$$G_{31}(x)=1+x+x^3+x^4+x^5$$

2.4.4.3 Datos de símbolos.

La longitud de los datos en una trama es de 3744 símbolos nQAM. El entrelazado temporal se definió en el subepígrafe 2.4.2.

2.4.5 Procesamiento de los datos del cuerpo de la trama.

El sistema DTMB usa un nuevo sistema de modulación, el TDS-OFDM. El transmisor de TDS-OFDM procesa los datos con la IDTF de la misma forma que para el CP-OFDM. Sin embargo, en vez de CPs, el TDS-OFDM inserta secuencias pseudos-ruidosas (PN) en los intervalos de guarda, las que además sirven como símbolos de entrenamiento [39]. La combinación de los intervalos de guarda y los símbolos de entrenamiento pueden reducir la tasa de transmisión y entonces proporcionar un mejor rendimiento como muestra la figura 2.13.



TDS-OFDM: Proceso en dominio de Tiempo/Frecuencia
Estimacion del canal:0.56ms; Cierre de señal: 5ms
Ganacia de sincronizacion: >20dB

Figura 2.13 Esquema TDS-OFDM.

El procesamiento de los datos del cuerpo de la trama se realiza de la siguiente manera:

C tiene dos modos: C=1 y C=3780

Si $X(k)$ está definido como el símbolo de información del cuerpo de la trama.

Cuando C=1, la señal del cuerpo de la trama en el dominio del tiempo se describe como sigue:

$$FBody(k) = X(k) \quad k = 0,1,\dots,3779$$

Cuando C=1, dos pilotos pueden ser insertados como una opción a una razón de símbolo de ± 0.5 dentro de los datos en banda base después que se ha formado la trama de señal. La potencia total de los dos pilotos es de -16 dB menor que la potencia total de la señal. Los pilotos serán agregados a cada trama de señal de la

trama de día, cuando el índice de la trama de señal es impar, el piloto tiene parte real 1 y parte imaginaria 0; sin embargo, cuando el índice de la trama de señal es par, el piloto tiene parte real 1 y parte imaginaria 0.

2.4.6 Post procesamiento en banda base.

Un filtro de raíz cuadrada del coseno alzado (SRRC) se usa para formar la señal en banda base con un factor de caída α de 0.05.

La respuesta de frecuencia de este filtro se describe en la siguiente expresión:

$$H(f) = \begin{cases} 1 & |f| \leq f_N(1-\alpha) \\ \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \frac{\pi}{2f_N} \left(\frac{|f| - f_N(1-\alpha)}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} & f_N(1-\alpha) < |f| \leq f_N(1+\alpha) \\ 0 & |f| > f_N(1+\alpha) \end{cases}$$

Donde $f_N = 1/2T_s = R_s/2$ es la frecuencia de Nyquist. α es el factor de caída o roll-off del filtro, T_s es la duración del símbolo de la señal de entrada ($1/7.56 \mu s$) y R_s es la razón de símbolo.

2.4.7 Tasa de dato.

Las tasas de datos posibles en DTMB dependen de los siguientes parámetros de codificación y modulación:

- ✓ Tasa de codificación del código interno (convolucional.)
- ✓ Ancho de banda de la transmisión.
- ✓ Tamaño de la modulación QAM.
- ✓ Tamaño del intervalo de guarda.

La tasa de datos en cambio no depende de los siguientes parámetros:

- ✓ Número de subportadoras (2k, 4k u 8k).

El sistema DTMB soporta 24 tasas de datos distintas. Para bandas de 6 MHz, las tasas de datos netas para transmisión de contenido están en el rango entre 4.0605 Mbits/s y 21.6578 Mbits/s. Para bandas de 8 MHz, las 24 tasas posibles es mayores en un (factor 3/4), estando por lo tanto en el rango entre 5.414 Mbits/s y

28.877 Mbits/s. Lograr transmisiones *casi libres de errores* (CLE) a una tasa de datos determinada requiere una razón señal a ruido (SNR) mínima en los receptores. Esta SNR mínima es mayor cuanto mayor sea la tasa de datos deseada; depende de las condiciones de propagación y no del ancho de banda (ni del prefijo cíclico). En general, la SNR es menor cuanto más alejado esté un receptor del transmisor, por lo que tasas de datos mayores (mayor SNR mínima requerida) encogen el área de cobertura en la que se obtiene transmisión CLE.

2.4.8 Señal de RF.

Esta señal se describe por la siguiente expresión:

$$S(t) = \text{Re}\{\exp(j \cdot 2\pi F_c t) \times [h(t) \otimes \text{Frame}(t)]\}$$

Donde

S (t) Señal de RF

F_C Frecuencia de la portadora (MHz)

h(t) Función de respuesta al impulso

Frame (t) Señal banda base, consistente en el encabezado y cuerpo de la trama.

2.4.9 Características del espectro de la señal en banda base y máscara del espectro.

2.4.9.1 Características del espectro.

El espectro de la señal banda base ideal (sin los pilotos) se ilustra en la siguiente figura:

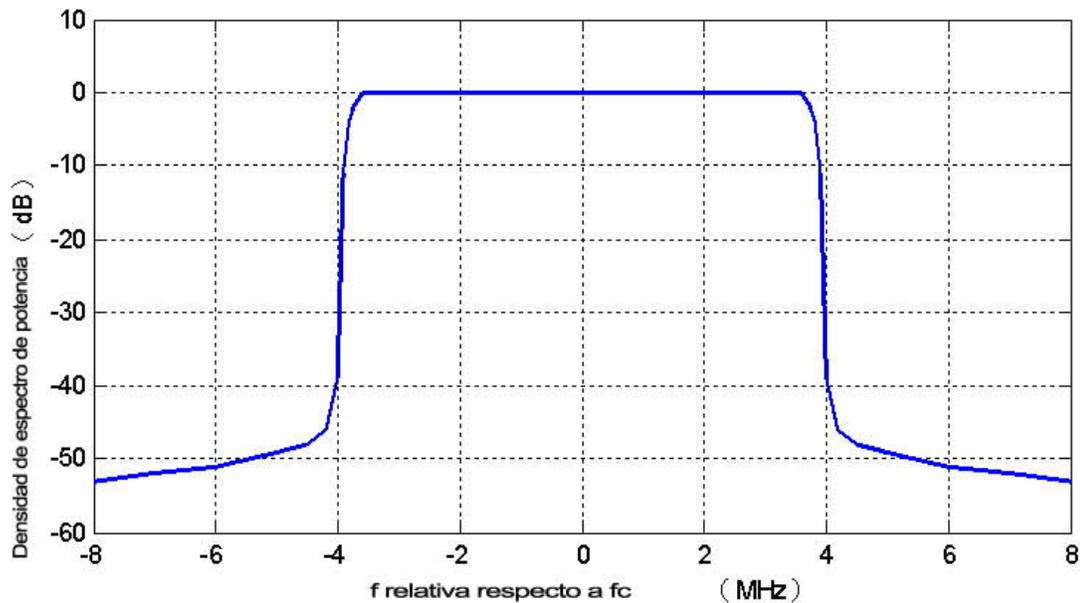


Figura 2.14 Espectro de la señal de banda base ideal después del filtro SRRC.

2.4.9.2 Máscara del espectro fuera de banda.

El espectro a las frecuencias que se encuentran fuera del ancho de banda nominal pueden ser reducidas mediante un filtrado apropiado. Las máscaras de espectro para casos donde el transmisor está cosituado con otro y operando en un canal adyacente a otro de un transmisor de TV analógica, se muestran en la figura 2.15 y la tabla 2.4. Los espectros mostrados en la figura 2.15 cubren la protección mínima necesaria para la TV analógica, donde los transmisores de las TV digital y analógica están cosituados (ubicados en un mismo lugar o bien próximo uno de otro) y son aplicables para los casos donde:

- ✓ No se usa discriminación de polarización entre la TDT y analógica y la potencia radiada por ambos transmisores es la misma (potencia pico para el analógico igual a la potencia total del transmisor de TDT).
- ✓ Si las potencias radiadas desde los dos transmisores no son idénticas, una corrección proporcional puede ser aplicada como sigue: Corrección = erp analógica mínima - erp digital mínima.

La figura 2.15 está medida en un ancho de banda de 4 KHz, donde 0 dB se corresponde con la potencia total de salida.

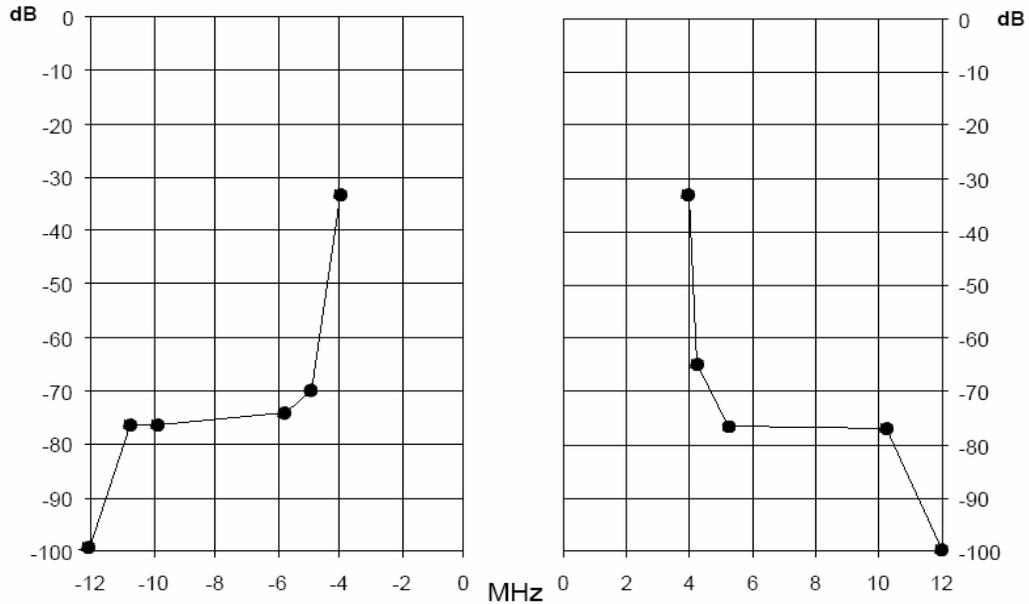


Figura 2.15 Máscaras de espectro para un transmisor de TDT operando en un canal superior o inferior adyacente de un Tx de TV analógico co-situado con el digital.

Frecuencia relativa (MHz)	Espectro (dB)
-12	-100
-10.75	-76.9
-9.75	-76.9
-5.75	-74.2
-4.94	-69.9
-3.9	-32.8
+3.9	-32.8
+4.25	-64.9
+5.25	-76.9
+6.25	-76.9
+10.25	-76.9
+12	-100

Tabla 2.4 Puntos de detección para la máscara de espectro.

Para los casos críticos como los canales de TV adyacentes a otros servicios (baja potencia o receptor solamente) una máscara de espectro con una atenuación mayor fuera de canal se puede necesitar. Este tipo de máscara se muestra en la figura 2.16. Los puntos de ruptura se dan en la tabla 2.5. La figura 2.16 está medida en un ancho de banda de 4 KHz, donde 0 dB se corresponde con la potencia total de salida.

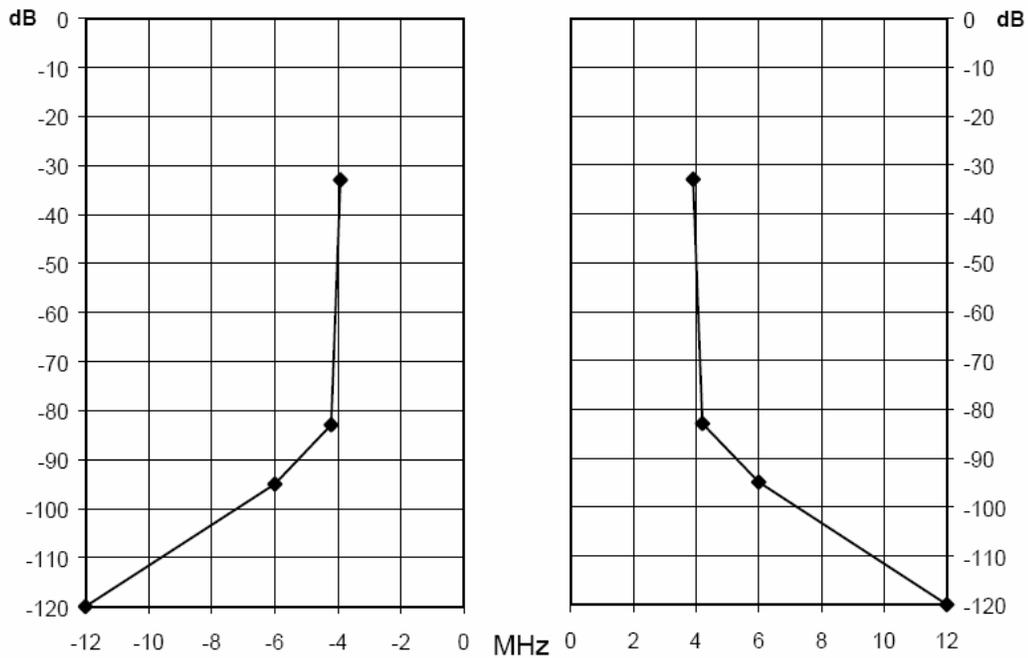


Figura 2.16 Máscara del espectro para casos críticos.

Frecuencia Relativa (MHz)	Espectro (dB)
-12	-120
-6	-95
-4.2	-83
-3.8	-32.8
+3.8	-32.8
+4.2	-83
+6	-95
+12	-120

Tabla 2.5 Puntos de ruptura para la máscara del espectro en casos críticos.

2.5 Operación con frecuencia única nacional (SFN).

El trabajo en SFN del estándar DTMB es similar al utilizado por el estándar DVB-T ya explicado en el epígrafe 1.8. Como el estándar DTMB usa modulación TDS-OFDM tiene un mejor desempeño, traducido esto en un menor retardo de tiempo de sincronización.

Las principales diferencias en particular son: [44]

- ✓ El intervalo de guarda.
- ✓ Los datos TPS.

Capítulo 3

Comparación entre los estándares DVB-T y DTMB.

Cada uno de los dos sistemas de TDT analizados en este estudio presenta fortalezas y debilidades en diversos aspectos, y ninguno se destaca en forma absoluta. La decisión de seleccionar uno u otro estándar debe entonces basarse en el contexto del país o región de aplicación y en el rol que las fortalezas y debilidades de cada estándar juegan en dicho contexto. Estos son los criterios que subyacen el análisis que sigue.

3.1 Comparación en cuanto a los aspectos teóricos.

En este capítulo se hará referencia a las principales diferencias de las dos normas que estamos comparando, desde el punto de vista teórico y práctico con las pruebas de campo realizadas en la Ciudad de La Habana. Se quiere señalar que aunque la norma China supera virtualmente a la Europea no es tan relevante como se esperaba, esto obedece a que la norma China para su creación realizó estudios de las principales dificultades de las normas Americana y Europea, pero mantuvo algunas de sus características, lo que trae como resultado que su comportamiento sea muy similar. En algunos parámetros a tener en cuenta por su importancia práctica, la diferencia de una norma a otra es poco apreciable, esto se ve demostrado en tablas y gráficos que se muestran en los anexos.

En el estudio realizado en este trabajo se ha constatado que las dos diferencias más notables de estas dos normas, desde el punto de vista teórico son: [39]

- ✓ El sistema de modulación de la norma China es TDS-OFDM, mientras la norma Europea utiliza CP-OFDM, al usar TDS-OFDM éste introduce pseudo ruido (PN), lográndose de esta manera:
 - una superior eficiencia del espectro;
 - y una rápida sincronización del canal codificado.
- ✓ El sistema de codificación donde la norma China utiliza BCH+LDPC la Europea usa RS+CONVOLUTIONAL CODE, con la utilización del código

BCH+LDPC hay una mejor codificación de canal, mayor ganancia y por tanto una baja relación E_b/N_0 requerido para un mismo BER, lográndose con esto:

- mayor cobertura;
- mejor disponibilidad.

Se debe destacar también que en Cuba, donde el ancho de banda es 6MHz, al ajustar el estándar europeo el factor útil es (8/6) siendo el estándar chino de (3/4).

3.2 Comparación en cuanto a los aspectos prácticos.

Los resultados prácticos de la comparación de las dos normas se realizaron de la siguiente manera:

Durante la segunda quincena de diciembre de 2007, se organizaron pruebas preliminares de la TDT en la Ciudad de La Habana, con el propósito de evaluar el desempeño de la norma China y comparar el mismo con la norma Europea; para ello se instaló un transmisor chino en el Hotel Habana Libre, con igual potencia al transmisor europeo allí existente, y ambos irradiaron de forma simultánea señales de TDT.

Se prepararon 4 vehículos de prueba, que recorrieron diversos puntos de la Ciudad de La Habana. Los vehículos fueron preparados por las empresas Radiocuba, Copextel, la Industria Electrónica y GKT. Las dotaciones de los vehículos fueron mixtas, con representación en cada vehículo de miembros de las otras empresas. En cada dotación hubo representación de la parte china. Los puntos de medición fueron asignados por la empresa Radiocuba. Se evaluó en cada punto el comportamiento de ambas normas, mediante un protocolo de pruebas que fue preparado por el profesor Presmanes, del Ministerio de Educación Superior, aprobado previamente por todos los participantes.

Las pruebas se concibieron desde un inicio como pruebas comparativas de carácter preliminar entre dos normas de TDT. Las condiciones en que se realizaron no garantizaron la máxima igualdad de condiciones, debido al uso de distintas frecuencias para cada norma y al diferente ancho de banda (6 MHz para la norma Europea y 8 MHz para la norma China). Esto fue debido a que los

chinos no podían suministrar un transmisor de 6 MHz para esta fecha, y por ello significa que sus resultados no son concluyentes.

Las pruebas se concibieron para reproducir en lo posible las condiciones en que los usuarios captarían las señales de la TDT. Se utilizaron cajas decodificadoras comerciales de cada norma y antenas de recepción multibanda, que son fabricadas por el Grupo de la Electrónica, con la cinta de antena que usualmente utiliza la población. Los televisores utilizados fueron los ATEC-HAIER de 21 pulgadas, dos por vehículo, uno para cada norma. Se utilizó un conjunto antenas-cable coaxial, con el propósito de poder hacer una evaluación comparativa de ambas normas, con la mayor exactitud posible. A continuación, se muestra el esquema de medición utilizado en dicha prueba:

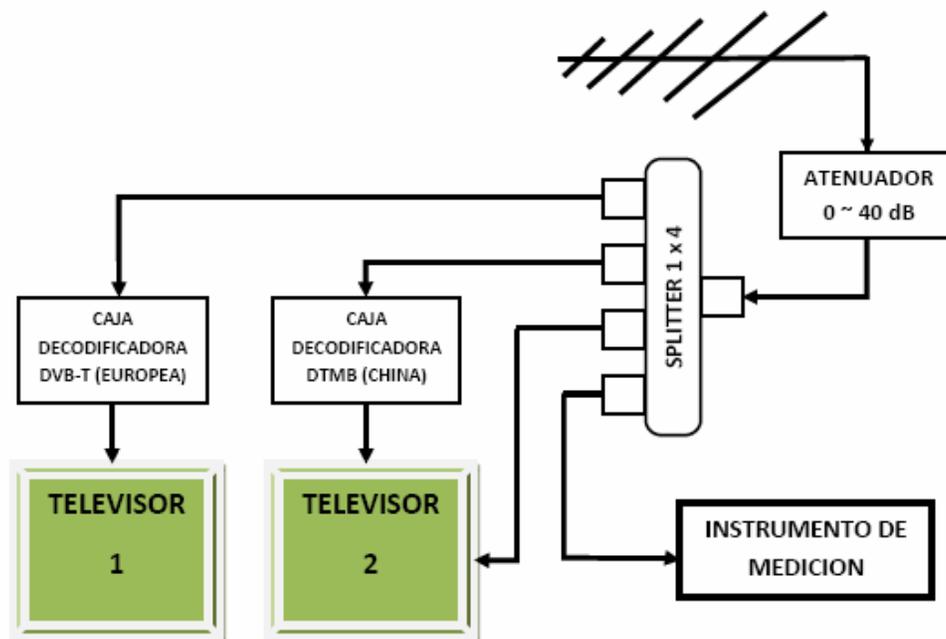


Figura 3.1 Esquema de medición.

Como se ve en la figura 3.1 la señal captada por la antena se hace pasar por un atenuador ajustable y luego se divide en 4 mediante un Splitter. Las primeras dos salidas van a las cajas decodificadoras de cada sistema. La tercera salida va a la entrada de antena de uno de los dos televisores, con el propósito de ver un canal analógico (canal 44). La cuarta salida va a un instrumento de medición que se

encargaba de medir el nivel de la señal y adicionalmente veía la forma del espectro de cada señal. El esquema de transmisión es como se muestra a continuación:

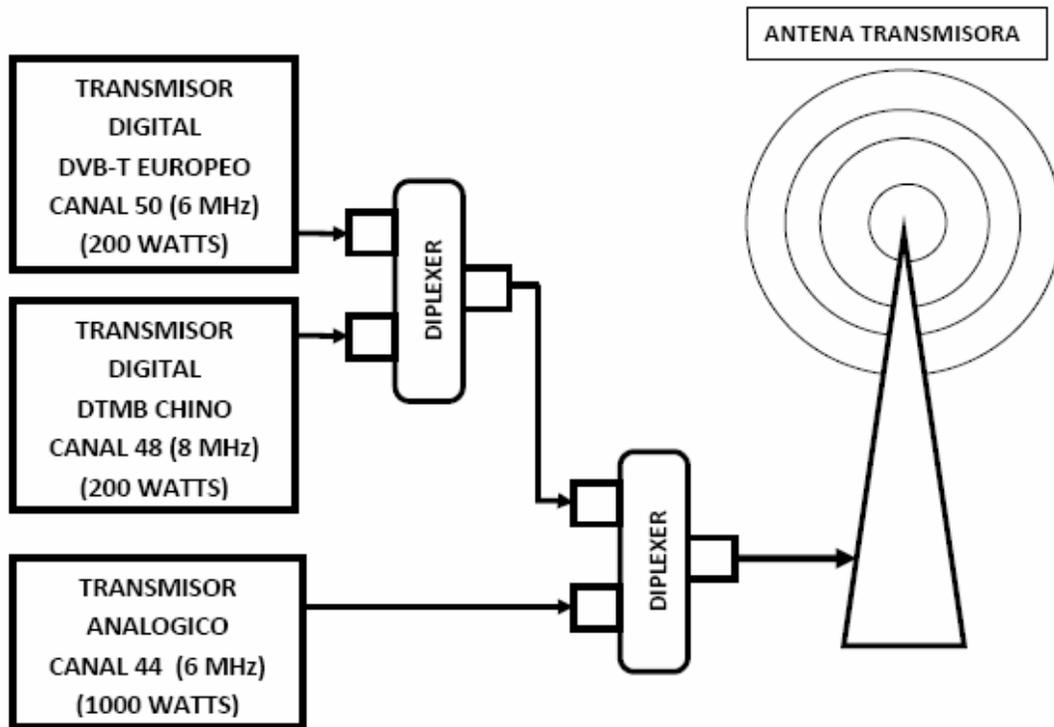


Figura 3.2 Esquema de transmisión.

Mediante el uso de diplexers se irradian por una sola antena las señales de tres transmisores. Dos transmisores digitales, uno de la norma Europea DVB-T y el otro de la norma China DTMB, ambos con 200 Watts de potencia y uno analógico que presta servicio al Canal Educativo 2, en la frecuencia del canal 44. El transmisor chino es de 8 MHz de ancho de banda y se ubica en una frecuencia cercana a la del canal 48. El transmisor analógico es por supuesto de 6 MHz. Esta solución permite transmitir de forma simultánea el sistema europeo y el chino, y por ello pueden captarse a la vez con un televisor para cada uno. Esto permite el uso de varios carros para medir y es posible en poco tiempo realizar muchas mediciones. Tiene el inconveniente que a pesar de ser cercanas las frecuencias, en la práctica las condiciones de propagación varían según el entorno a las distintas frecuencias, y ello dificulta realizar una evaluación rigurosa, al comparar ambas normas. Como quiera que no se disponía de un transmisor chino de 6

MHz, (lo que es otro factor a considerar) las mediciones no se podían realizar en total igualdad de condiciones y por ello se decidió usar esta solución. Las mediciones se confeccionaron de la siguiente forma:

En los puntos asignados, se desplegaba una antena a una altura de 3 metros sobre el nivel del suelo. Si existía alguna duda, se volvía a medir a una altura superior, de 4 o de 5 metros. Se sintonizaba el canal 44, y se anotaba su calidad de imagen en una escala del 1 al 5 orientando la antena para lograr la mejor señal. Posteriormente se medían los niveles de señal de los canales digitales y luego se agregaba atenuación hasta ver cuál de los canales digitales dejaba de verse primero. Si en un punto, por ejemplo, el canal europeo se dejaba de ver con 4 dB de atenuación y el chino con 3 dB, eso quiere decir que en ese punto con esas condiciones de antena, lugar, etcétera, el canal europeo tiene más reserva (1 dB) que el canal chino. Al medir en muchos puntos es posible saber como promedio cuál norma se comporta mejor, o lo que es lo mismo, cuál tiene más reserva antes de dejarse de ver. Mientras más puntos se midan, más representativa es la evaluación. Los resultados de las mediciones realizadas se muestran en el Anexo No. 1.

Con los datos de la tabla pueden hacerse varios análisis. En este informe se han realizado los siguientes:

1. Resultados generales de las atenuaciones en cada punto de cada sistema.
2. Resultados de las atenuaciones de cada sistema en condiciones de multitrayecto y en condiciones de ambiente despejado, sin obstáculos cercanos.
3. Resultados de las atenuaciones de cada sistema con la antena a 3 metros, a 4 metros y a 5 metros.
4. Resultados de las atenuaciones de cada sistema en lugares cercanos (cerca a 5 Km), medios (5 a 15 Km) y lejanos (más de 15 Km).
5. Resultados de las mediciones generales de cada dotación.
6. Ventaja relativa de cada norma.

3.3 Resumen de las tablas y gráficos que recogen los datos de las pruebas de campo.

Se tomaron muestras en 90 puntos, pero en 7 de ellos no existía señal suficiente para captar las señales. Por tanto, los puntos válidos son 83, número que se toma como referencia para sacar los por cientos respectivos (83 equivale al 100% de los puntos válidos). En 2 de los 83 puntos las señales estaban en el umbral de recepción, y ambas normas pixelaban sin agregar atenuación. En estos dos puntos las señales no fueron excelentes, siendo excelentes en todos los demás, en al menos una de las normas. En 2 de los 81 puntos con recepción excelente no fue posible ver la norma europea, presumiblemente por la existencia de un transmisor analógico en el canal 49 (zona de Guanabo) que le hace interferencia. La norma china se vio en todos los puntos válidos como se muestra en la tabla 3.1.

Puntos con señal Suficiente: 83 (100%)	Calidad de la imagen		
	No se ve	Pixelando	Excelente
DVB-T (europea)	2	2	79
DTMB (china)	0	2	81

Tabla 3.1 Comparación entre DVB-T y DTMB en cuanto a imagen.

La norma china se comportó mejor que la europea en más del doble de los puntos, cuando existe el multitrayecto (31 a 13); y en todos los puntos (10 a 0), cuando el ambiente está despejado (Anexo 3). En los resultados generales de las atenuaciones en cada punto de cada sistema la norma China se comportó mejor que la Europea en más del triple de los puntos (41 a 13) (Anexo 2). En las atenuaciones de cada sistema con la antena a 3 metros, a 4 metros y a 5 metros la norma China supera a la Europea en todas las categorías, pero se destaca a la altura de 5 metros (Anexo 4). Para el caso de las atenuaciones en lugares cercanos (cerca a 5 Km), medios (5 a 15 Km) y lejanos (más de 15 Km) la norma China se comporta mejor en todas las distancias, pero se destaca en las

distancias lejanas. El total de puntos en este caso es de 59 y no 83, debido a que hay 24 puntos que no tienen señalado la distancia al transmisor (Anexo 5).

En las mediciones generales de cada dotación la norma China se comportó mejor en 3 de los 4 carros de mediciones. La norma Europea se comportó mejor en el carro de la EIE. (Industria Electrónica) (Anexo 6). La norma China tiene 12 puntos con 3 dB de ventaja o más, mientras que la norma Europea tiene dos puntos en esa categoría. La media geométrica de los valores de la tabla anterior es de 2,0 dB para la norma Europea y de 3,0 dB para la norma China. Esto quiere decir que la norma China supera a la Europea, no sólo por el número de puntos ventajosos (41 contra 13), sino también por la magnitud de esa ventaja, que es 1 dB mayor como promedio (Anexo 7).

3.4 Consideraciones acerca del costo del equipamiento de ambas normas.

Un análisis detallado y exhaustivo de costo y disponibilidad de equipos está fuera del alcance de este trabajo; no obstante, a continuación se entregan algunas ideas sobre el tema con el objeto proveer una orientación general.

El costo y disponibilidad de equipos para recepción de TDT es, desde luego, un elemento crítico en la adopción del estándar de TDT. En particular, los costos de los *set-top-boxes* (STB) para cada estándar son un punto muy importante, pues es este el tipo de dispositivo que los usuarios deberán adquirir, en primera instancia, para poder utilizar sus televisores analógicos actuales para ver programación transmitida en formato digital.

En la actualidad los *set-top-boxes* (STB) DVB-T son más caros que los de la norma DTMB, oscilando su precio entre los cuarenta y cinco y sesenta dólares. Los *set-top-boxes* (STB) del estándar chino están cotizados en la actualidad en treinta y cinco dólares, y mantienen una tendencia a bajar aún más, pues recordemos que China es el país con más telerreceptores del mundo, así como la posible implementación del estándar DTMB por otros países, creando un mercado a escala mundial, lo cual hace que la producción vaya en ascenso.

Un análisis cualitativo del costo de STB (y de los receptores incluidos en los televisores digitales) puede ser hecho estudiando los tres elementos principales de los receptores de TDT: el demodulador, el decodificador de canal, y el decodificador de transporte MPG-2. Este análisis es presentado a continuación.

Demoduladores: Se estima que la implementación de demoduladores OFDM para DTMB y DVB-T son de complejidad similar y por ende su costo relativo depende esencialmente de los volúmenes de producción y venta. Esto otorga ventaja a DTMB como se explicó en el párrafo anterior.

Decodificadores de canal: El decodificador de canal del estándar DTMB utiliza esencialmente todos los bloques principales del decodificador DVB-T con la diferencia que el sistema DTMB no usa la combinación (jerárquica y no jerárquica), pero establece un nuevo sistema de corrección lo que equipara sus costos. **Decodificadores de transporte y MPEG-2:** Puesto que no hay diferencias sustantivas entre los sistemas de múltiplex y transporte de los dos estándares, se estima que el costo de implementación de estos sistemas es similar en los dos casos.

Cabe destacar que las diferencias de costo entre equipos de estos dos estándares serán siempre reguladas por el tamaño mundial de los mercados correspondientes, así como de la relación costo-calidad.

Conclusiones

Haciendo un análisis de los resultados obtenidos, podemos arribar a las siguientes conclusiones:

- ✓ Los dos estándares no presentan diferencias importantes en cuanto a resoluciones de video posibles, pudiendo todos operar en definición estándar y en alta definición; ni tampoco en términos de la calidad de las señales de audio posibles.
- ✓ Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas de campo realizadas en Ciudad de La Habana se observó que la norma China tuvo mejor desempeño en la mayoría de los parámetros medidos.
- ✓ Las pruebas de campo no son concluyentes, por cuanto no se usaron los dos transmisores con el mismo ancho de banda ni en la misma frecuencia (el europeo a 6 MHz y el chino a 8 MHz).

Recomendaciones

Al término del presente trabajo, y del análisis de los resultados de las pruebas de campo realizadas con el objetivo de comparar ambos estándares, se recomienda:

- ✓ Realizar la comparación entre estos dos estándares en igualdad de condiciones, para que los resultados sean concluyentes; es decir, utilizar un mismo ancho de banda e iguales frecuencias.
- ✓ Incorporar análisis que no se tuvieron en cuenta, y que son de gran importancia para hacer una mejor comparación del comportamiento de estos estándares, entre los que podemos citar:
 - La recepción en interiores.
 - La sensibilidad al ruido de fase.
 - La relación E_b/N_o AWGN del canal
 - En presencia de ruido impulsivo

Bibliografía.

- [1] Apuntes de Clases Curso Redes de Ordenadores. Disponible en <http://www.uv.es/montanan/redes/index.html>, consultado 24 de enero de 2008.
- [2] ARIB Standard B31, Transmission System for Digital Terrestrial Televisión Broadcasting.
- [3] Assia Semmary, Jean-Yves Chouinardy, Xianbin Wangz, Yiyan Wu, *UHF DTV Band Channel Characterization for Mobile Reception*. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May 2004, 4 pages.
- [4] Audio en Televisión Digital. Disponible en http://www.hdtv.videocomputer.com/3_Audio_HDTV.htm, consultado el 24 de enero de 2008.
- [5] B. Muquet, Z. Wang, G.B. Giannakis, M. de Courville, and P. Duhamel, "Cyclic-Prefixed or Zero-Padded Multicarrier Transmissions?," sumited to IEEE Transactions on Communications.
- [6] CPQD: REPORT ON INTEGRATED TECHNICAL AND MARKET ISSUES OF DIGITAL TELEVISION, Version 1.0 – 03/28/2001, Nr of Pages of the Document: 169
- [7] Display Resolution. Disponible en http://en.wikipedia.org/wiki/Display_resolution, consultado el 10 de febrero de 2008.
- [8] DTTB system requiment (Draft),2006.1.13
- [9] DVB-T, "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television," Jan. 2001.
- [10] *DVB-T Domestic Receiver Performance Measurements with a Single Echo*. Radio Technology & Compatibility Group, Project 508 Report, Radio Communications Agency, 2000, 19 pages.
- [11] ETS 300744 "Digital Video Broadcasting (DVB) Framing Structure, Channel Coding and modulation for digital Terrestrial television (DVB-T)" , ETSI EN 300744 V1.4.1(2001.01)

- [12] ETSI. EN 300 744: "DVB; Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television." Agosto 1997.
- [13] ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-11), Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.
- [14] ETSI. ETR 101 290 (v 1.2.1): "DVB Measurement Guidelines for DVB systems." Mayo 2001.
- [15] ETSI ETR 154 Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in satellite, cable and terrestrial broadcasting applications.
- [16] ETSI TR 101 200 Digital Video Broadcasting (DVB); A guideline for the use of DVB specifications and standards.
- [17] ETSI TS 101 190 Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects.
- [18] ETSI TS 101 191 Digital Video Broadcasting (DVB); Mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization.
- [19] ETSI; EN 300 744. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for Digital Terrestrial Television (DVB-T). July 1.999.
- [20] ETSI; ETR 290. Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems. May 1.997.
- [21] ETSI; TR 101 190. Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects. December 1.997.
- [22] ETSI; TS 101 191. Specification of a Mega-frame for SFN Synchronisation. April 1.997.
- [23] G. Faria. Single Frequency Networks; A magic Feature of the COFDM. ITIS-France. 1.997.
- [24] Guidline for preparing the Standard-Application of GB/T1.2-2002 and GB/T1.1-2000, standards press of china, 2002, 9.

- [25] ICS 33.160 M63, GB 20600-2006; Framing Structure, Channel Coding and Modulation For Digital Television Terrestrial Broadcasting System.
- [26] Información sobre compresión de audio MP3. Disponible en <http://www.iis.fraunhofer.de/amm/projects/mp3/index.html>, consultado el 16 de marzo de 2008.
- [27] ISO/IEC 11172-1, "Information Technology - Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 Mbit/s - Part 1: Systems."
- [28] ISO/IEC 11172-2, "Information Technology - Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 Mbit/s - Part 2: Video."
- [29] ISO/IEC 13818-3 Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information. Part 3: Audio.
- [30] ISO/IEC CD 13818-4, MPEG Committee Draft (1994): "MPEG-2 Compliance."
- [31] ISO/IEC IS 13818-1:2000 (E), International Standard, Information technology–Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems.
- [32] ISO/IEC IS 13818-2, International Standard (1996), MPEG-2 Video.
- [33] ISO/IEC IS 13818-2:2000 (E), International Standard, Information technology–Generic coding of moving pictures and associated audio information, video.
- [34] I. Telatar, "Capacity of Multi-antena Gaussian Channels," European Trans. Telecomm, vol. 10, no. 6, pp. 585-596, Nov-Dec 1999.
- [35] ITU Radiocommunication Study Groups, Question ITU-R 205/11, Transmission Performance of ISDB-T, documento 11A/Jyy-E, 14 de Mayo de 1999.
- [36] Jorge Pérez et al, TELEVISIÓN DIGITAL MARZO 2005, Grupo de Análisis y Prospectiva del Sector de las Telecomunicaciones, 83 páginas. Disponible en observatorio.red.es/estudios/documentos/tvdigital.pdf, consultado el 3 de abril de 2008.

- [37] M. Alard and R. Lasalle. Principles of Modulation and Channel Coding for Digital Broadcasting for Mobile Receivers. EBU Review-Technical No 224; pp. 168-190. August 1.987.
- [38] M.C.D. Maddocks. An Introduction to Digital Modulation and OFDM Techniques. B.B.C. Research Development Report, RD1993/10. 1.993.
- [39] L. Yang, Z. Yang, K. Gong, and Y. Wu, "A New Terrestrial Digital Multimedia/Television Broadcasting (DMB-T) Transmission System," to appear in Tsinghua Science and Technology. [2-U]
- [40] prETS 300 802, Digital Video Broadcasting (DVB); Network-independent protocols for DVB interactive services.
- [41] REPORT ON INTEGRATED TECHNICAL AND MARKET ISSUES OF DIGITAL TELEVISION, APPENDICES, Version 1.0 – 3/29/2001, No. of pages in this Document: 85
- [42] S. Adireddy and L. Tong, "Optimal placement of known symbols for nonergodic broadcast channels," Submitted to IEEE Trans. Info. Theory, August 2001, disponible en <http://www.ece.cornell.edu/~ltong>.
- [43] S. Grunwald. Digital TV Rigs and Recipes. Part 4 DVB-T. Rohde & Schwarz Broadcasting Division. February 2.001.
- [44] TeamCast: "Using the Chinese DMB-T terrestrial DTV standard." Disponible en <http://www.teamcast.com/en/maj-e/c2a9i15328/teamcast-news/news/new-dtv-gap-filler-engine-gfx-0300.htm>, consultado el 3 de abril de 2008.
- [45] TR 101 194, Digital Video Broadcasting (DVB); Guidelines for implementation and usage of the specification of network independent protocols for DVB interactive services.
- [46] Video coding, audio coding, and multiplexing specifications for digital broadcasting. ARIB Standard STD-B32, Versión 1.5, Febrero 2004, 127 páginas.

Glosario

ACM	Modulación de código adaptativo
ASI	Interfaz serie asincrónica
AWGN	Ruido Gaussiano blanco aditivo
BB	Banda Base
BC	Compatible hacia atrás
BCH	Bloque de código binario para la corrección de errores múltiples.
BER	Razón de error de bits
BS	Ancho de banda del intervalo de frecuencia asignado a un servicio
BS	Servicio de difusión
BSS	Servicio de difusión satelital.
BW	Ancho de banda
BWs	Ancho de banda del segmento
C/N	Relación portadora ruido
C/R	Respuesta al ruido impulsivo
CBR	Razón de bits constante
CCM	Modulación y codificación constante
CLE	Casi libre de errores
CNI	Razón portadora a ruido más interferencia
CRC	Chequeo de redundancia cíclica (Código de redundancia cíclica)
Cs	Separación de portadora
D	Notación decimal
DD	Decisión directa
DEMUX	Demultiplexor
DF	Campo de datos
DNP	Paquetes nulos borrados(o descartados)
DSNG	Constelación de nuevos satélites
DTH	Directo a casa(o directo al hogar)

DTT	Televisión digital terrestre
DVB	Proyecto de multidifusión de video digital
EBU	Unión de multidifusión europea
EN	Norma europea
FDM	Multiplexación por división en la frecuencia
FEC	Corrección de error hacia adelante
FFT	Transformada rápida de Fourier
FIFO	Primero en entrar, primero en salir (estructura de programación)
FSS	Servicio de satélite fijo
GI	Intervalo de guarda
GS	Secuencia genérica
HDTV	Televisión de alta definición
HEX	Notación hexadecimal
HP	Alta prioridad
IBO	Entrada trasera
IDTEF	Transformada de Fourier discreta inversa
IF	Frecuencia intermedia
IMUX	Filtro multiplexor de entrada
IRD	Decodificador receptor integrado
IS	Servicios interactivos
ISCR	Referencia de tiempo de secuencia de entrada
ISI	Identificador de la secuencia de entrada
ISSY	Sincronizador de la secuencia de entrada
ISSYI	Indicador de sincronización de la secuencia de entrada
ITU	Unión internacional de telecomunicaciones
LDPC	Código de chequeo de paridad de baja densidad
LNB	Bloque de bajo ruido
LP	Baja prioridad
LSB	Bit menos significativo
MIS	Secuencia de entrada múltiple
MPE	Encapsulación multiprotocolo

Glosario

MPEG	Grupo de expertos para imágenes en movimiento
MSB	Bit más significativo
MUX	Multiplexor
NA	No aplicable
NBC	Incompatible hacia atrás
NP	Paquetes nulos
NPD	Detección de paquetes nulos
OBO	Salida trasera
OCT	Notación octal
OMUX	Filtro multiplexor de salida
P/N	Pseudo ruido
PER	Razón de paquetes erróneos
PID	Identificador de paquetes
PL	Capa física
PLL	Lazo por llaveo de fase
PLS	Señalización de capa física
PRBS	Secuencia binaria pseudo aleatoria
PS	Servicios profesionales
PSK	Llaveo por desplazamiento de fase (modulación digital)
QEF	Casi libre de error
QPSK	Llaveo por desplazamiento de fase cuaternaria.
RF	Radiofrecuencia
RFU	Trabajo en redes de frecuencia única
RO	Factor de caída
Rs	Razón de símbolo
SDTV	Televisión de definición estándar
SFN	Trabajo en redes de frecuencia única nacional
SI	Identificador de señal
SIS	Secuencia de entrada simple
SMATV	Televisión de antena satelital master
SOF	Comienzo de trama

Glosario

TDM	Multiplexación por división en el tiempo
TPS	Transición de parámetro de modulación
TS	Secuencia de transporte
TV	Televisión
TWTA	Amplificador de tubo de onda progresiva o viajera
UPL	Longitud del paquete de usuario
VCM	Modulación y codificación variables

Anexos.

Anexo 1.

Tabla resumen de las mediciones.

Nota: Al ser tan grande la tabla se ha dividido en cuatro partes para que se puedan apreciar los datos claramente. La unión de las cuatro partes es de la siguiente forma:

Parte 1	Parte 2
Parte 3	Parte 4

Parte 1

No.	FECHA	LUGAR	DISTANCIA (km)	AZIMUT (grados)	AMBIENTE ALREDEDOR	Altura Antena	DVB-T			
							Calidad Image	Analizador Esp. (dBμV)	PROMAX (dBμV)	ATT CONGELAR (dB)
1	21/12/2007	1ra C y 154 Nautico	9,2 Km		OBSTRUIDO	3 Mts	Excelente	18,8 dBuV	38 dBuV	8,5
2		Mercado Playa Baracoa	22 Km		DESPEJADO	3 Mts	Excelente	17,7 dBuV	35 dBuV	5,5
3		Malecon y C	1,8 Km		OBSTRUIDO	3 Mts	Excelente	25,3 dBuV	46 dBuV	18,5
4		Serafina esq. Central, Juanelo	6,4 Km		OBSTRUIDO	3 Mts	Excelente	18,9 dBuV	35 dBuV	6,5
5		Calle 351 D e/ 5ta 7ma,	15,3 Km		OBSTRUIDO	3 Mts	Excelente	35,9 dBuV	54 dBuV	29,5
6		Ave. 9na esq. F Guanabacoa	7,5 Km		DESPEJADO	3 Mts	Excelente	37 dBuV	58 dBuV	26,5
7	22/12/2007	Calle 6 y 3ra Miramar	3,4 Km		OBSTRUIDO	3 Mts	Excelente	22,5 dBuV	44 dBuV	No se pudo
8		Calle 41 e/ 9 y 11, Playa	3,6 Km		OBSTRUIDO	3 Mts	Excelente	22,2 dBuV	44 dBuV	16,5
9		234 E/ 51 y 39 San Agustin	11,4 Km		OBSTRUIDO	3 Mts	No video	16,8 dBuV	30 dBuV	No se pudo
10		27 B y 236 La Coronela	11,8 Km		OBSTRUIDO	3 Mts	Excelente	19,5 dBuV	40 dBuV	7,5
11	24/12/2007	240 y 5ta A Jaimanitas	11,7 Km		OBSTRUIDO	3 Mts	No video	16,1 dBuV	24 dBuV	No se pudo

Parte 2

Calidad Imagen	DTMB			ANALOG CH-44			REMARKS
	Analizador Esp. (dBμV)	PROMAX (dBμV)	ATT CONGELAR (dB)	Cal.Imagen (1-5)	Analizador Esp. (dBμV)	PROMAX (dBμV)	
Excelente	18 dBuV	34 dBuV	8,5	4	43,5	49,7	El espectro de ambas normas esta deformado en su
Excelente	17 dBuV	32 dBuV	5,5	3	40,3	47,4	El espectro de ambas normas esta deformado en su
Excelente	27,7 dBuV	47 dBuV	18,5	3		58	El espectro de ambas normas esta deformado,ya que presenta una oscilacion en su parte superior.En ambas normas con una atenuacion de 4 dB, se pixelaban con el paso de autos por el frente de nuestra posicion
Excelente	24,8 dBuV	40 dBuV	16,5	3	50	51	El espectro de ambas normas esta deformado en su parte superior y ademas en las bajas frecuencias para la norma DMBT
Excelente	35,6 dBuV	52 dBuV	30,5	5		68,6	El espectro de ambas normas esta deformado en su
Excelente	39,7 dBuV	57 dBuV	28,5	5		71	El espectro de ambas normas esta bastante plano, se puede decir que es normal
Excelente	19,8 dBuV	39 dBuV	No se pudo	1	29	39	El espectro de ambas normas esta deformado,ya que presenta una oscilacion en su parte superior. Esto hace que el nivel de la señal varie constantemente. Esta frente a un banco de transformadores
Excelente	17,2 dBuV	38,5 dBuV	16,5	1	26,2	28	El espectro de ambas normas esta deformado en su parte superior.
No video	16,4 dBuV	24 dBuV	No se pudo	1	16,6	21	El espectro de ambas normas esta deformado completamente. No se obtuvo ni audio ni video en ninguna de las dos normas.
Excelente	19,6 dBuV	35 dBuV	8,5	1	18,2	18	El espectro de ambas normas esta deformado en su parte superior.
No video	16 dBuV	23 dBuV	No se pudo	1	26,3	33	El espectro de ambas normas es muy bajo.La prueba de atenuacion no se pudo realizar.No se obtuvo ni audio ni video en ninguna de las dos normas.

Parte 3

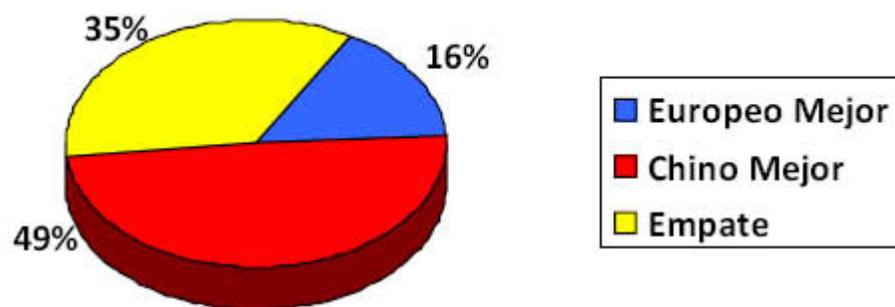
12	24/12/2007	Ave. Albear esq. Oeste Cerro	3,4 Km		OBSTRUIDO	3 Mts	Excelente	22,5 dBuV	43,7 dBuV	14,5
13		93 y Autopista, La Lisa	11,2 Km		DESPEJADO	3 Mts	Excelente	26,3 dBuV	48 dBuV	20,5
14		Rotonda de la CUJAE (SERVICENTRO)	9,7 Km		DESPEJADO	3 Mts	Excelente	33,9 dBuV	54 dBuV	31,5
15	26/12/2007	Calle 23 e/ 42 y 44, Playa	6,1 Km		OBSTRUIDO	4 Mts	Excelente	19,3 dBuV	35 dBuV	10,5
16		5ta C y 90 A Playa	7 Km		OBSTRUIDO	4 Mts	Excelente	30,2 dBuV	51,8 dBuV	26,5
17		9na y 146 Playa	8,2 Km		OBSTRUIDO	4 Mts	Excelente	20,2 dBuV	39,3 dBuV	8,5
18		1ra y 182 Playa	10,1 Km		DESPEJADO	4 Mts	Excelente	45 dBuV	66,5 dBuV	Mas de 42,5
19		Reparto Barbosa Playa	13,6 Km		OBSTRUIDO	4 Mts	Excelente	17,7 dBuV	32 dBuV	No se pudo
20		Rpto. XX Aniv. La Lisa	17 Km		OBSTRUIDO	5 Mts	Excelente	24,8 dBuV	46 dBuV	19,5
21		Guatao, La Lisa	19 Km		OBSTRUIDO	5 Mts	Excelente	21 dBuV	42 dBuV	15,5
22		Rpto. Valle Grande, La Lisa	22 Km		OBSTRUIDO	5 Mts	No video	se pudo hacer	26 dBuV	No se pudo

Parte 4

Excelente	21,9 dBuV	43,5 dBuV	16,5	4	51,9	59,5	El espectro de ambas normas esta deformado en su parte superior.
Excelente	29,3 dBuV	45,4 dBuV	23,5	4	52,8	59,7	El espectro de ambas normas esta bastante plano, se puede decir que es normal
Excelente	38,6 dBuV	56 dBuV	31,5	4	64	70	El espectro de ambas normas esta bastante plano, se puede decir que es normal
Excelente	19 dBuV	34 dBuV	9,5	3	37,7	48	El espectro de ambas normas esta deformado en su parte superior.
Excelente	33,2 dBuV	52,3 dBuV	28,5	5	54,2	64,4	El espectro de ambas normas esta deformado en su parte superior.
Excelente	23,5 dBuV	38 dBuV	9,5	4	46,4	58	El espectro de ambas normas esta deformado en su parte superior.
Excelente	46,5 dBuV	66,8 dBuV	42,5	5	67,7	78,5	El espectro de ambas normas esta bastante plano, se puede decir que es normal
Excelente	17,5 dBuV	34 dBuV	No se pudo	1	34,4	49	El espectro de ambas normas es muy bajo.La prueba de atenuacion no se pudo realizar
Excelente	27,1 dBuV	46,7 dBuV	21,5	1	47,6	57	El espectro de ambas normas esta deformado en su parte superior.
Excelente	23,1 dBuV	40 dBuV	16,5	4	46,6	55,8	El espectro de ambas normas esta bastante plano, se puede decir que es normal
No video	se pudo hacer	25dBuV	No se pudo	1		37,5	El espectro de ambas normas esta deformado completamente. No se obtuvo ni audio ni video en ninguna de las dos normas.

Anexo 2.

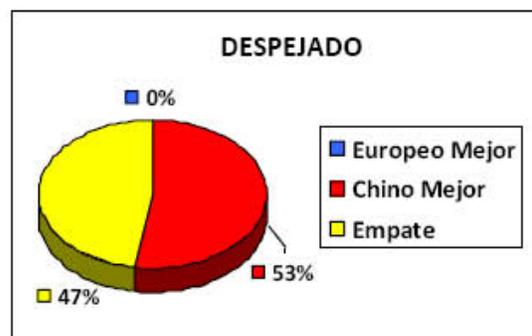
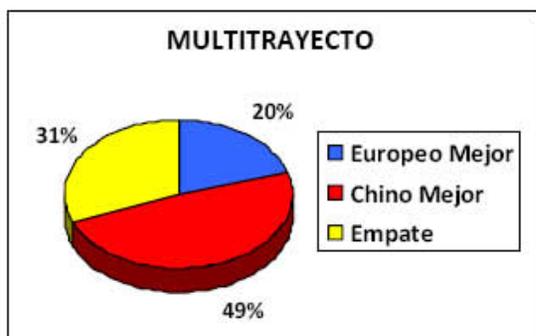
Resultados generales de las atenuaciones.



	Europeo Mejor	Chino Mejor	Empate	TOTAL
PUNTOS	13	41	29	83
%	16%	49%	35%	100%

Anexo 3.

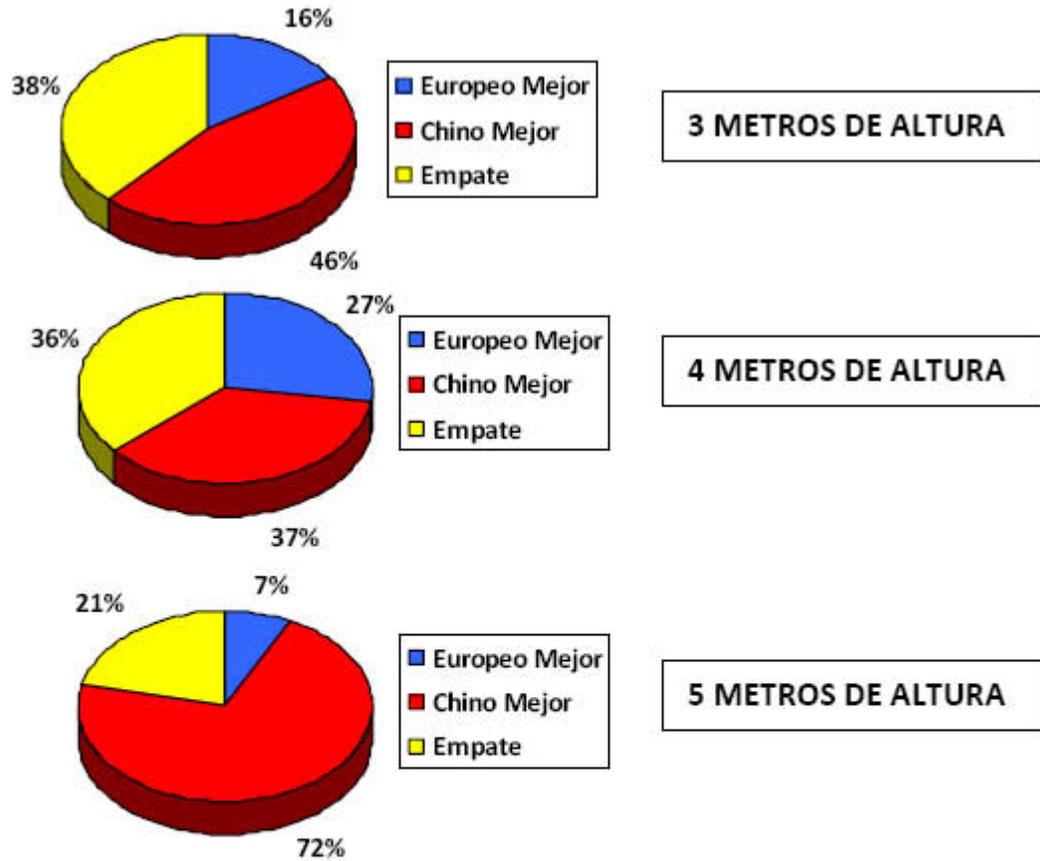
Resultados cuando existe multitrayecto y ambiente despejado.



PUNTOS	Europeo Mejor	Chino Mejor	Empate	TOTAL
CON MULTITRAYECTO	13	31	20	64
CON AMBIENTE DESPEJADO	0	10	9	19
TOTAL	13	41	29	83

Anexo 4.

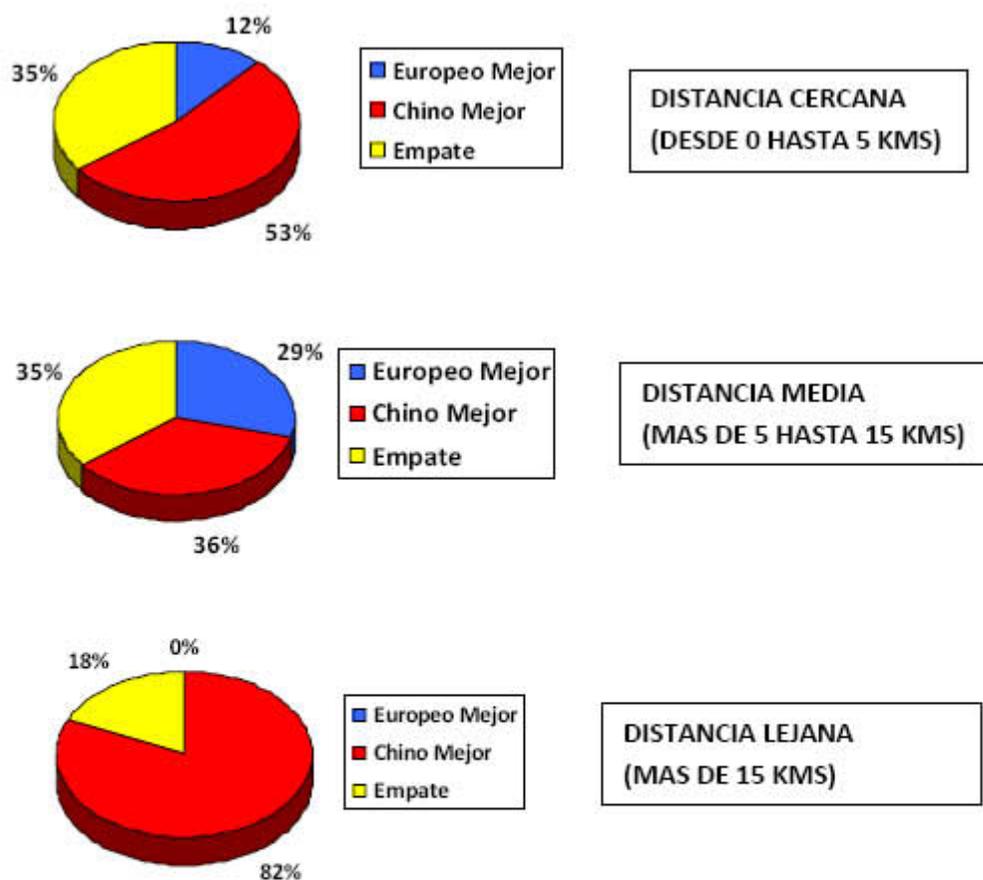
Atenuaciones para antenas de 3, 4 y 5 metros.



ALTURA DE LA ANTENA	Europeo Mejor	Chino Mejor	Empate	TOTAL
3 metros	9	27	22	58
4 metros	3	4	4	11
5 metros	1	10	3	14
TOTAL	13	41	29	83

Anexo 5.

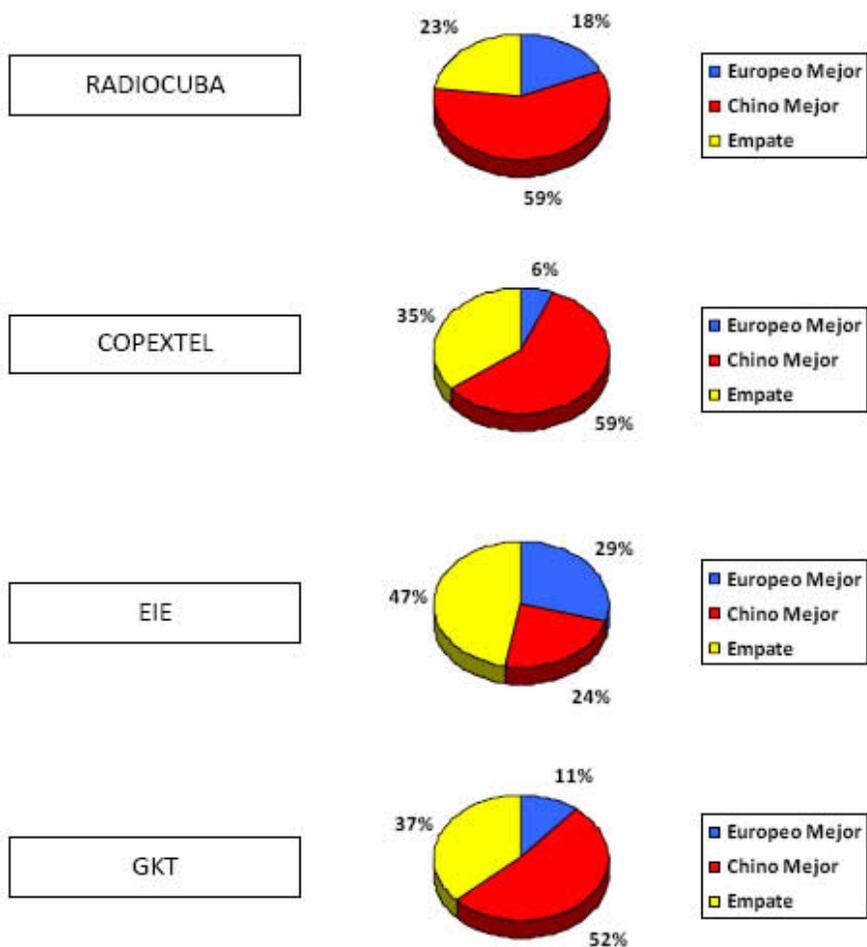
Atenuaciones en lugares cercanos (cero a 5, de 5 a 15 y más de 15 km).



DISTANCIA EN KMS	Europeo Mejor	Chino Mejor	Empate	TOTAL
0 hasta 5	2	9	6	17
Más de 5 hasta 15	9	11	11	31
Más de 15	0	9	2	11
TOTAL	11	29	19	59

Anexo 6.

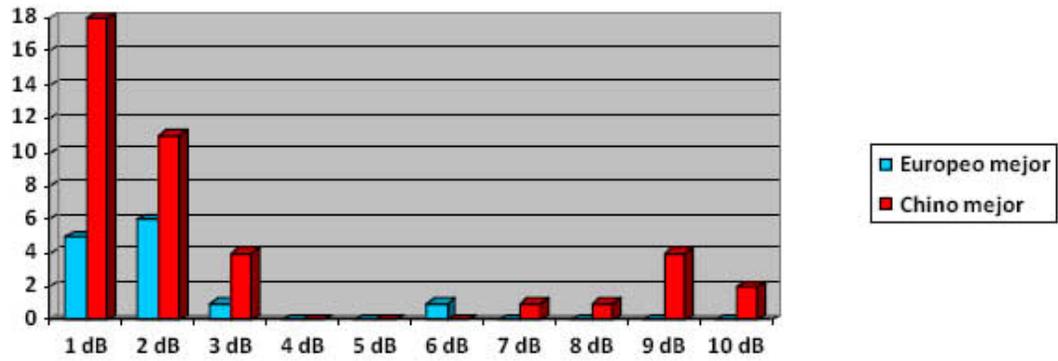
Mediciones generales por dotación.



	RADIOCUBA	COPEXTEL	EIE	GKT	TOTAL
Europeo Mejor	4	1	5	3	13
Chino Mejor	13	10	4	14	41
Empate	5	6	8	10	29
TOTAL	22	17	17	27	83

Anexo 7.

Ventajas en dB.



	1 dB	2 dB	3 dB	4 dB	5 dB	6 dB	7 dB	8 dB	9 dB	10 dB
Europeo mejor	5	6	1	0	0	1	0	0	0	0
Chino mejor	18	11	4	0	0	0	1	1	4	2
TOTAL	23	17	5	0	0	1	1	1	4	2