UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILIS TOGA. 1948

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones**

# TRABAJO DE DIPLOMA

## *"DOCUMENTO PARA EL USO Y EXPLOTACIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL EN SANTA CLARA"*

**Autor:** **Dian Echevarría Pérez**

**Tutor: Ing.** **Irina Siles Siles**

**Santa Clara 2013**

**"Año 55 de la Revolución"**

# TRABAJO DE DIPLOMA

**“Documento para el uso y explotación de la Televisión Digital en Santa Clara”**

Autor: Dian Echevarría Pérez

E-mail: epdian@uclv.edu.cu

Tutor: Ing. Irina Siles Siles

E-mail: Irinass@uclv.edu.cu

**Santa Clara 2013**

**"Año 55 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 Autor

Firma del Jefe de Departamento donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de Información Científico-Técnica

# *PENSAMIENTO*

*La ciencia humana consiste más en destruir errores que en descubrir verdades.*

*Sócrates*

# *DEDICATORIA*

*A mi familia por todo su amor y comprensión, por su apoyo constante en cada paso de mi vida. Este trabajo es un tributo al esfuerzo y dedicación de mi mamá Marisol durante mis 24 años de vida.*

*Dian*

# *AGRADECIMIENTOS*

*A mi tutora Irina que desde el primer momento me ofreció todo su apoyo y conocimiento, sin ella no hubiese podido enfrentar este reto tan grande con el empeño que se necesita.*

*A mis amigos y compañeros de estudios que estuvieron junto a mí y que nunca me fallaron en estos cinco años de sacrificio, sepan que nunca los olvidaré.*

*A todos los profesores de la FIE y en particular a los que de una forma u otra contribuyeron a mi formación como profesional.*

*A Dios por permitirme llegar y vencer esta etapa de mi vida con la fuerza necesaria.*

*Dian*

# TAREA TÉCNICA

Las tareas técnicas trazadas en el presente trabajo son las que se relacionan a continuación:

- Revisión bibliográfica acerca del tema de las técnicas de codificación audiovisuales existentes y particularmente las que se ponen en práctica en el estándar DTMB.
- Descripción del esquema de transmisión utilizado en el estándar, utilizando siempre la bibliografía disponible y más actualizada en el tema
- Descripción del esquema del transmisor ubicado en Santa Clara, así como las potencialidades que ofrece el mismo, teniendo como apoyo el manual de dicho transmisor.
- Elaboración del informe.

Firma del Autor

Firma del Tutor

# RESUMEN

El presente trabajo contribuye con la preparación del personal calificado de Radio Cuba en la implementación de la Televisión Digital en Santa Clara y el mismo tiene como objetivo la creación de un documento que aglutine toda la información posible sobre el estándar de Televisión Digital DTMB. En el mismo se realiza una descripción del proceso de codificación de audio y video utilizado en la norma, en este caso MPEG-2 y AVS y una descripción del esquema de transmisión teniendo en cuenta el funcionamiento de cada uno de los bloques que conforman dicho esquema, desde el aleatorizador hasta la conversión en frecuencia. Por último se explica el funcionamiento y las características del transmisor instalado en Santa Clara. Con este trabajo quedan mostradas las potencialidades que brinda el estándar chino que se adecua perfectamente al entorno de nuestro país y queda creada una herramienta que puede ser utilizada por el personal que estará trabajando directamente con esta nueva tecnología.

# GLOSARIO

- **AASF:** Audio Storage Format/ Formato de almacenamiento de audio utilizado en la norma AVS.
- **AATF:** Audio Transport Format/ Formato de transporte de audio utilizado en la norma AVS.
- **ARM9:** Advanced RISC Machine 9/ Versión 9de los controladores ARM.
- **AVS:** Audio Video Coding Standard/ Estándar de codificación de Audio y Video utilizado en la norma china de televisión digital.
- **CBC:** Context-Dependent Bitplane Coding/ Codificación dependiente del contexto del plano de bits. Es un tipo de codificación de entropía utilizado para la codificación de audio AVS.
- **BCH:** Bose-Chaudhuri-Hocquenghem/ Código utilizado en el esquema de codificación FEC de la norma DTMB.
- **BNC:** Bayonet Neill-Concelman/ Es un tipo de conector para uso con cable coaxial.
- **BPSK:** Binary Phase Shift Keying/ Tipo de modulación angular donde se producen dos fases de salida.
- **CAT: C**onditional Access Table/ Tabla de acceso condicional. Se incluye en el momento que el programa tenga un acceso condicional.
- **CDF:** Calendar Day Frame/ Trama de un día de duración.
- **DCT:** Discrete Cosine Transform/ Transformada discreta del coseno.
- **DPCM:** Differential Pulse Code Modulation/ Modulación Diferencial por Impulso Codificado. Técnica utilizada en la predicción de imágenes.
- **DTMB:** Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting, es estándar de televisión digital adoptado por China.

- **DTTB:** Digital Terrestrial Television Broadcasting/Radiodifusión Terrestre de Televisión Digital.
- **ES:** Elementary Stream/ cadena elemental. Utilizada en MPEG-2
- **FEC:** Forward Error Correction /Corrección de Errores hacia Delante, tipo de código que se utiliza en aplicaciones que no toleran retransmisiones o que se producen en tiempo real. El receptor debe ser capaz de detectar y corregir los errores que ocurran en el canal de comunicación.
- **FPGA:** Field Programmable Gate Array/ Arreglo de Campos de Compuerta Programable. Es un dispositivo semiconductor que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad puede ser configurada mediante un lenguaje de descripción especializado.
- **HDTV:** High Definition Television/ Televisión de alta definición.
- **IDFT:** Inverse Discrete Fourier Transform/ Transformada Discreta Inversa de Fourier.
- **intMDCT:** Integer Modified Discrete Cosine Transform/ Transformada entera discreta del coseno. Utilizada en la codificación de audio AVS.
- **JPEG:** Join Photographic Experts Group/ Grupo de Expertos Fotográficos Unidos. Es una norma para la compresión de datos de imágenes fijas.
- **LCD:** Liquid Crystal Display/ Pantalla de cristal líquido. Es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos
- **LDMOS:** Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductor/ Tecnología de construcción de transistores utilizando materiales semiconductores.
- **LDPC:** Low Density Parity Check/ Código de chequeo de paridad de baja densidad.
- **LFSR:** Lineal Feedback Shift Register/ Registro de desplazamiento lineal realimentado.

- **MER:** Modulation Error Ratio/ Tasa de error permitido en una constelación digital.
- **MFN:** Multiple Frequency Network/ Red de múltiple frecuencia.
- **MPEG:** Moving Picture Experts Group/ Grupo de Expertos de Imágenes en movimiento. Este grupo de expertos se dedica a la elaboración de técnicas eficientes de compresión de audio y video.
- **NR:** Nordstrom-Robinson/ Código conocido también como pre-mapeo Cuasi-ortogonal.
- **NRZ:** Non-Returnto Zero/ Tipo de codificación que asigna valor 1 al uno lógico y -1 al cero.
- **PAT:** Program Association Table/ Tabla de asociación de programa. Indica la relación entre el número del programa y el PID.
- **PES:** Packetized Elementary Stream/ Cadena elemental paquetizada. Utilizada en MPEG-2.
- **PID:** Packet Identifier/ Identificador de paquete. Es el valor que identifica a un paquete dentro de un programa.
- **PMT:** Program map Table/ Tabla de mapa de programa.
- **PQSPSC:** Post-Quantization Square Polar Stereo Coding/ Post-cuantización cuadrada con codificación polar. Es utilizada en la codificación de audio AVS.
- **PRBS:** Pseudo Random Bits Sequence o Secuencia de Bits Pseudoaleatoria.
- **PS:** Program Stream/ Cadena de programa. Utilizada en MPEG-2.
- **QAM:** Quadrature Amplitude Modulation. Tipo de modulación digital en la que se suman dos señales ortogonales moduladas en amplitud y desfasada 90º
- **QPSK:** Quadrature Phase Shift keying/ Tipo de modulación angular de amplitud constante, la misma es una técnica de codificación M-ario, en donde M=4, con QPSK son posibles 4 fases de salida para una sola frecuencia de portadora.

- **RF:** Radio Frequency/ Radio Frecuencia.
- **SDTV:** Standard Definition Television/ Televisión de definición estándar.
- **SFN:** Single Frequency Network/Red de una sola frecuencia.
- **SRRC:** Square Root Raised Cosine Filter/ Filtro Coseno Alzado.
- **TS:** Transport Stream/ Paquete de transporte utilizado en MPEG.
- **TTL:** Transistor-Transistor Logic/ Lógica transistor a transistor. Tecnología utilizada en la construcción de dispositivos electrónicos con alta escala de integración.
- **UHF**: Ultra High Frequency. Banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz.
- **VHF**: Very High Frequency. Banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30 MHz a 300 MHz.
- **VLC:** Variable Length Code/ Codificación de longitud variable.
- **XOR:** operación lógica binaria que toma valor 1 cuando la cantidad de 1s de sus entradas es impar.

# TABLA DE CONTENIDOS

*PENSAMIENTO*.....i

*DEDICATORIA* ..... ii

*AGRADECIMIENTOS* ..... iii

TAREA TÉCNICA.....iv

RESUMEN .....v

GLOSARIO .....vi

TABLA DE CONTENIDOS .....x

INTRODUCCIÓN .....1

CAPÍTULO 1. CODIFICACIÓN DE AUDIO Y VIDEO .....5

1.1 MPEG-2 .....5

1.1.1 Compresión Espacial (Intracuadro) .....6

1.1.2 Compresión Temporal (Intercuadro) .....6

1.1.3 Niveles y perfiles en MPEG-2 .....8

1.1.4 Codificador de video MPEG-2 .....9

1.1.5 Codificación de audio .....13

1.1.6 Trama de audio MPEG-2 (ES).....14

1.1.7 Constitución del paquete de transporte MPEG-2 .....15

1.1.8 Organización del multiplex de transporte.....17

1.2 AVS (Audio Video Coding Standard).....18

1.2.1 Codificación de audio .....18

1.3 Conclusiones parciales.....20

CAPÍTULO 2. ESQUEMA DE TRANSMISIÓN DTMB .....21

2.1 Consideraciones Generales .....21

2.2 Diagrama del sistema ..... 21
2.2.1 Interfaces entrada/ salida ..... 21
2.2.2 Aleatorizador (*Scrambler*) ..... 22
2.2.3 FEC (Forward Error Correction) ..... 23
2.2.3.1 Código externo BCH ..... 24
2.2.3.2 Código interno LDPC ..... 25
2.2.4 Mapeo ..... 28
2.2.4.1 nQAM ..... 28
2.2.4.2 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) ..... 29
2.2.5 Entrelazado ..... 30
2.2.5.1 Entrelazado convolucional ..... 31
2.2.5.2 Entrelazado en frecuencia ..... 32
2.2.6 Jerarquía de tramas ..... 33
2.2.6.1 Supertrama ..... 33
2.2.6.2 Trama Minuto ..... 33
2.2.6.3 Trama Día (Calendar Day Frame) ..... 33
2.2.7 Trama Señal ..... 34
2.2.7.1 Modelo de 420 símbolos para el encabezado de trama ..... 34
2.2.7.2 Modelo de 595 símbolos para el encabezado de trama ..... 35
2.2.7.3 Modelo de 945 símbolos para el encabezado de trama ..... 36
2.2.8 Secuencias PN ..... 36
2.2.9 Información del sistema ..... 37
2.2.9.1 Obtención de los 32 bits de información ..... 37
2.2.10 Procesamiento del cuerpo de trama ..... 38

2.2.11 TDS-OFDM (Time Domain Synchronous-Orthogonal Frequency Division-Multiplexing) ..... 39

2.2.11.1 OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) ..... 39

2.2.11.2 Modelo TDS-OFDM ..... 40

2.2.12 Procesamiento en banda base ..... 41

2.2.13 Up-Converter (Conversión en frecuencia) ..... 42

2.2.14 Carga útil de datos en banda base ..... 42

2.3 Conclusiones parciales ..... 43

CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL TRANSMISOR DE TELEVISIÓN DIGITAL DE UHF DE 500W/1KW ..... 44

3.1 Descripción general ..... 44

3.2 Especificaciones técnicas ..... 45

3.2.1 Especificaciones generales ..... 45

3.3 Especificaciones de desempeño digital ..... 46

3.4 Descripción del transmisor ..... 46

3.4.1 Composición ..... 46

3.4.2 Principio de operación ..... 46

3.5 Descripción de las principales unidades ..... 47

3.5.1 Excitador ..... 47

3.5.1.1 Modo de operación ..... 49

3.5.2 Enlace(Attachment) ..... 51

3.5.3 Módulos de amplificadores de potencia ..... 51

3.5.3.1 Splitter y combinador de potencia ..... 53

3.5.4 Unidad de distribución. ..... 53

3.5.5 Unidad central de control ..... 53

3.5.5.1 Características generales ..... 53

3.5.5.2 Interfaz principal ..... 53

3.5.5.3 Menú ..... 54

3.5.5.4 Control remoto ..... 57

3.6 Conclusiones parciales ..... 58

CONCLUSIONES ..... 59

RECOMENDACIONES ..... 60

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 61

ANEXOS ..... 63

Anexo A. Estructura de trama MPEG-2 ..... 63

Anexo B.Constelaciones 4QAM, 16QAM, 32QAM, 64QAM y QPSK ..... 64

Anexo C. Datos de Información del sistema y razones binarias ..... 66

Anexo D. Filtro SRRC ..... 70

Anexo E. Módulos del transmisor de TV Digital ..... 71

# INTRODUCCIÓN

En pleno siglo XXI donde priman las nanotecnologías, la virtualización, la modelación con métodos matemáticos de nano-estructuras, el desarrollo de nuevos compuestos químicos que sugieren un gran futuro en lo que a materiales para la industria electrónica respecta y el auge del procesamiento digital de señales e imágenes; el advenimiento de la era de la televisión digital deja de ser un mito e idealización para convertirse en una realidad vigente para el disfrute, ocio e interactividad entre los usuarios y el mundo exterior.

Desde sus inicios, la televisión fue uno de los medios de comunicación más difundidos en el mundo debido a los volúmenes de información que puede transmitir, principalmente entretenimiento, deportes y noticias. Con la evolución tecnológica de los últimos años se podía llegar a pensar que la televisión iba a perder espacio dentro del contexto de las comunicaciones pues se encontraba en pleno ascenso la conocida red de redes, sin embargo la demanda de la misma creció a medida que aumentaba también la producción de programas televisivos. También con el transcurso de los años han aumentado las exigencias de calidad y de prestaciones por parte de los espectadores debido a las necesidades existentes en el mundo actual, en base a esto los creadores de las normas de televisión se han esforzado por lograr que su estándar cumpla al máximo con dichos requerimientos y que sea el más difundido a nivel global para colocarse a la cabeza de la competencia.

Se hace entonces necesario destacar el surgimiento y evolución de la televisión digital como sustituta de la analógica convencional, siendo los países con un alto desarrollo tecnológico los primeros en presentar un estándar digital a la comunidad internacional. Sin embargo las limitantes iniciales estuvieron dadas fundamentalmente por las altas razones de transmisión necesarias para imágenes en formato digital, estas dificultades se vieron un tanto atenuadas con la creación de estándares de compresión como la familia MPEG (siglas en inglés de *Moving Picture Experts Group*) o AVS (siglas en inglés de *Audio Video coding Standard*)que sin bajar la calidad de la imagen mantenían razones de transmisión no tan elevadas(Rodríguez 2011). La televisión digital incorpora también opciones de recepción no solo en modo estacionario sino también que posibilita captar la señal en movimiento, además de permitir un uso más eficiente del espectro radioeléctrico.

Nuestro país, Cuba, también se encuentra dando grandes pasos de avances en este tema de la TV digital. Tras años de análisis, debates y pruebas las organizaciones y entidades nacionales pertinentes han estado de acuerdo en la adopción de un estándar de TV Digital, al final se decidió que este fuese la norma china DTMB (siglas en inglés de *Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting*), la cual goza de técnicas de codificación y corrección de errores que se encuentran entre las más avanzadas en comparación con el resto de los estándares, garantizando al máximo la fidelidad y calidad de las señales audiovisuales a transmitir, además de contar con posibilidades de movilidad e interoperabilidad para los usuarios. Un trabajo en conjunto entre el Instituto Cubano de Radio y Televisión (ICRT) que posibilita la conformación de una trama totalmente digitalizada y codificada, la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) que brinda el soporte para la transmisión de datos y la empresa Radio Cuba que es quien propicia la radiodifusión de las señales, ha determinado que en un plazo de aproximadamente 10 años la coexistencia de tecnologías digitales y analógicas cese por completo, dejando en el pasado los receptores analógicos o hídricos con sus respectivos dispositivos decodificadores y dándole paso solo a modernos receptores(TVs, Teléfonos, laptops, etc). La migración digital dotará en primera instancia de una liberación de algunas frecuencias de VHF/UHF lo que permitirá que el agotado espectro radioeléctrico sea liberado y reutilizado en otros fines.

Por su parte, las universidades cubanas y en particular la Universidad Central ¨Marta Abreu¨ de las Villas, trabaja a fin de suplir el reto de formar egresados aptos para enfrentar el siglo XXI teniendo como primicia el interés por mantenerse como una institución de excelencia y prestigio internacional. En aras de cumplir lo antes expuesto la UCLV tiene el compromiso con la sociedad de preparar a sus estudiantes con la calidad y el rigor requeridos, buscando siempre un equilibrio en los enfoques científico-tecnológico, acordes con las necesidades de nuestro país. En el cambiante mundo de las informáticas y las comunicaciones se hace necesario que el personal que labore en un determinado ámbito tenga un conocimiento total acerca del tema en que se desenvuelve y que sea capaz de dar una respuesta rápida y efectiva ente cualquier situación que se presente, sin quedar exentos de esta situación los ingenieros en Telecomunicaciones y Electrónica formados en la universidad.

Ante esta situación de índole nacional y de carácter social, surge la situación problémica de esta investigación: ¿Cómo conformar un documento que aglutine basamentos teóricos y prácticos que sirva de material de consulta a los operarios e ingenieros de la empresa de Radio Cuba de la provincia sobre la DTV y el estándar DTMB?

Esta investigación tiene como objetivo principal: Elaboración de un documento para el uso y explotación de la Televisión Digital en Santa Clara.

Objetivos específicos:

- Describir el proceso de codificación de audio y video utilizado por el estándar de televisión DTMB.
- Describir el esquema de transmisión del estándar DTMB.
- Realizar una descripción técnica del transmisor BBEF de Televisión Digital instalado en Santa Clara así como las potencialidades que ofrece el mismo.

Interrogantes científicas:

- ¿Cómo se realiza el proceso de codificación de las señales audiovisuales en la norma china de televisión digital?
- ¿Cómo se realiza el procesamiento de la trama MPEG en el esquema da transmisión DTMB?
- ¿Qué potencialidades brinda el transmisor de televisión digital?

Tareas de investigación:

- La descripción de la codificación de audio y video utilizado por la norma.
- La descripción del esquema de transmisión.
- La descripción del transmisor BBEF instaurado en Santa Clara.

El presente trabajo de diploma tiene la siguiente estructura:

- Capítulo 1: Codificación de audio y video.

Se realiza una descripción de los algoritmos y técnicas de codificación de las señales de audio y video que se utilizan en el estándar DTMB de televisión digital.

- Capítulo 2: Esquema de transmisión DTMB.

  En este capítulo se describe el esquema de transmisión de la norma china de televisión digital adecuada a un ancho de banda de 6MHz, se realiza una explicación del funcionamiento de cada uno de los bloques que conforman dicho esquema hasta la creación de la trama y la traslación de frecuencia para la transmisión.

- Capítulo 3: Descripción del Transmisor BBEF de Televisión Digital de UHF 500W/1kW.

  En este capítulo se hace una descripción del funcionamiento del transmisor de televisión digital así como las potencialidades que el mismo ofrece, también se muestran los módulos que conforman el transmisor.
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Anexos

# CAPÍTULO 1. CODIFICACIÓN DE AUDIO Y VIDEO

El estándar DTMB permite el uso de varios formatos o estándares de codificación de audio y video. MPEG-2 es el más utilizado en la estaciones de televisión a la hora de producir, almacenar y transmitir programas, sin embargo también son utilizados MPEG-4 y AVS, este último fue desarrollado recientemente por el gobierno chino permitiendo la escalabilidad. Todos estos flujos pueden ser utilizados debido a la compatibilidad que permite la interfaz de entrada del sistema de trasmisión DTMB. Para la transmisión de datos y video se puede utilizar MPEG-2 y MPEG-4 mientras que para el caso del audio se utiliza MPEG-2 además de AVS. En el presente capítulo serán abordados los temas referentes a la codificación de audio y video que resultan de vital importancia a la hora de comprender el funcionamiento y las características de la televisión digital.

## 1.1 MPEG-2

MPEG-2 es un códec con capacidad de proporcionar imágenes y sonido con alta calidad, y altas razones de datos inclusive para la transmisión de HDTV (siglas en inglés de *High Definition Television*). La velocidad de transmisión puede ir desde 2 hasta 40 Mbps y puede soportar relaciones de aspecto de 4/3 y 16/9 así como múltiples canales de audio y video por el mismo tren binario.

Para lograr tasas de compresión adecuadas, el estándar se auxilia de técnicas de codificación intracuadro e intercuadro con predicción y compensación de movimiento. En el proceso de predicción los macrobloques de 16x16 de un campo son comparados con todos los macrobloques del cuadro anterior, sobre un área de búsqueda dada. En MPEG-2 se utilizan para la predicción los denominados cuadros I (intracuadro), los cuadros P (predictive) y los B (bidirectional), la primera imagen de un grupo es siempre la I y el conjunto de cuadros que se encuentra entre dos I se denomina GOP (grupo de cuadros). MPEG-2 se basa en algoritmos de codificación y compresión manteniendo una buena calidad de audio y video logrando que las razones binarias no sean tan elevadas y que se pueda lograr la decodificación en el receptor sin una complejidad de hardware muy elevada. A continuación serán analizadas las principales técnicas utilizadas en MPEG-2, a fin de lograr un entendimiento de cómo funciona este códec.

### 1.1.1 Compresión Espacial (Intracuadro)

La compresión espacial se implementa en una imagen o cuadro independiente. Con ella se logra la eliminación de elementos poco significativos dentro de la propia imagen, logrando así que las tasas de bits disminuyan considerablemente.

- *Eliminación de información no perceptible:* Esta técnica aprovecha las características del sistema visual humano para eliminar aquella parte de la información que resulta difícil o imposible de distinguir dentro de una imagen como son las altas frecuencias (detalles). Esto se logra implementando varios formatos de muestreo que toman de disímiles maneras las componentes Y, Cr y Cb que están contenidas en cada píxel en función del servicio final de las imágenes. (4:4:4, 4:4:2, 4:2:0 o 4:1:1)

- *Eliminación de la información redundante:* Para este tipo de compresión las tramas de video se dividen en bloques de 8x8 píxeles; a su vez cuatro bloques forman un macrobloque de 16x16 píxeles. Los bloques son transformados al dominio de la frecuencia espacial aplicándoles la transformada discreta del coseno (DCT). Esta técnica es muy eficiente para este tipo de aplicación ya que concentra la mayor parte de la información en un número reducido de coeficientes dado que en los bloques transformados predominan las componentes de bajas frecuencias(ver epígrafe 1.1.4). En el decodificador se realiza la operación inversa a esta. En la figura 1.1 se muestra un ejemplo del procesamiento que sufre una imagen y el uso de la DCT.

### 1.1.2 Compresión Temporal (Intercuadro)

La compresión temporal se auxilia del poco cambio que se experimenta entre dos imágenes o cuadros sucesivos para disminuir de manera considerable el total de información a codificar. La técnica consiste en comparar y codificar solo las diferencias y obviar aquella parte de la información de la imagen que es común en ambas y que fue tratada con anterioridad con técnicas intracuadro. Este fenómeno se explota empleando dos mecanismos diferentes:

- Los bloques y macrobloques que no cambian en campos sucesivos se envían una sola vez con una determinada sincronización.

- Basándose en la uniformidad de los movimientos en la naturaleza, que los hace predecibles si no hay cambios bruscos de dirección, se puede reducir la cantidad de información utilizando los denominados vectores de movimiento. Esta técnica consiste en asociar a los bloques y macrobloques que se desplazan entre imágenes un vector que represente el desplazamiento sufrido(Cruz 2006).

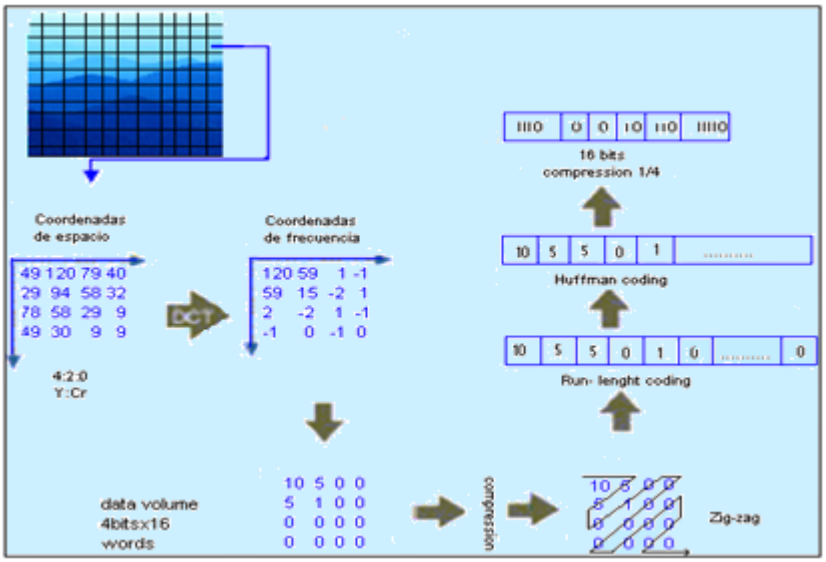



Figura 1.1.Uso de la DCT.

En MPEG-2 se transmiten los vectores de movimiento y unas imágenes (comprimidas usando la DCT) que corresponden a la diferencia entre la predicción del movimiento (que dan los vectores) y la imagen verdadera. Si los vectores están bien calculados la imagen diferencia contiene poca información y el nivel de compresión es elevado. En MPEG-2 se utilizan tres tipos de imágenes para la compresión como se había mencionado anteriormente:

- Imágenes I: Se codifican como si fueran imágenes fijas utilizando la norma JPEG. Para lograr la decodificación no son necesarias otro tipo de imágenes, solo ellas mismas. El nivel de compresión no es elevado puesto que solo utilizan la redundancia espacial y se utilizan como puntos de acceso a la trama binaria ya que permiten al decodificador iniciar su tarea sin referirse a imágenes previas.

- Imágenes P: Se codifican empleando algoritmos de predicción a partir de una imagen I o P anterior. Su nivel de compresión es elevado puesto que elimina redundancia espacial y temporal. Para decodificarla solo se necesita ella misma y la I o P anterior.
- Imágenes B: Se codifican empleando la I o P anterior y la I o P siguiente. En ellas se alcanza el mayor nivel de compresión, para permitir la predicción "hacia atrás" a partir de imágenes futuras el codificador debe ordenar las imágenes de manera que las B sean enviadas después que las pasadas o futuras a las que están referenciadas (ver figura 1.2)(Watkinson 2001).

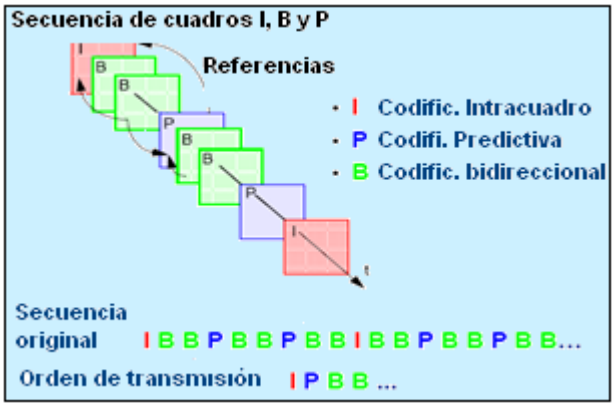



Figura 1.2 Orden de las imágenes

### 1.1.3 Niveles y perfiles en MPEG-2

Las características o especificaciones de cada aplicación que se vaya a utilizar se componen de niveles y perfiles, estos aparecen en la figura 1.3 No todas las combinaciones entre niveles y perfiles pueden ser implementadas.

- *Niveles:* Rangos de parámetros soportados por la implementación de cada servicio. Tratan fundamentalmente de las resoluciones espaciales y temporales soportadas. Los niveles bajos corresponden a bajas tasas binarias y viceversa.
- *Perfiles:* De uno a otros se introducen algoritmos para mejorar la codificación(Cruz 2006).

| Nivel | Resolución horizontal (muestras/línea) | Resolución vertical (líneas /imagen) | Resolución temporal (imágenes/s) |
|---|---|---|---|
| bajo | 352 | 288 | 30 |
| principal | 720 | 576 | 30 |
| Alto 1400 | 1440 | 1152 | 60 |
| Alto | 1920 | 1152 | 60 |

| Perfil | Algoritmos |
|---|---|
| Simple | Video entrelazado, 4:2:0, solo imágenes I y P |
| Principal | Añade imágenes tipo B |
| Escalable en S/N | Algoritmo de mejora de la S/N de la imagen |
| Escalable espacialmente | Algoritmo para obtener imágenes con diferentes resoluciones |
| Alto | Codificación de color en 4:2:2 |

Figura 1.3. Niveles y perfiles en MPEG-2.

### 1.1.4 Codificador de video MPEG-2

En la figura 1.4 se muestra el diagrama en bloques de un codificador MPEG-2 de tipo intercuadro. Las funciones de cada uno de los bloques serán explicadas a continuación. Los bloques $Q^{-1}$ y $DCT^{-1}$no son descritos pues en ellos se implementa la función inversa de los bloques Q y DCT respectivamente.

- **Bloque de Reordenamiento de cuadros o imágenes:** Coloca las imágenes en la secuencia lógica necesaria para la transmisión, siempre cumpliendo con el principio de que las imágenes B deben ser enviadas siempre después de las I y las P de las que depende aunque en la secuencia original estén delante.

- **Bloque de estimación de movimiento:** Determina si ocurre movimiento entre dos imágenes consecutivas mediante la implementación de uno de los métodos existentes para determinar la ocurrencia o no de un movimiento (el método del gradiente de luminancia y la estimación por correlación de fase). Si se determina la ocurrencia de un cambio en imágenes sucesivas se procede al cálculo de los vectores de movimiento. Estos serán transmitidos y también empleados para el cálculo de la predicción de la imagen actual. Fundamentalmente se aplican tres métodos para la determinación de los vectores de movimiento: El método de búsqueda logarítmica en 2D, el método de “búsqueda en tres pasos” y el de “dirección conjugada modificada”(Cruz 2006). Estos métodos no serán tratados en el presente documento.

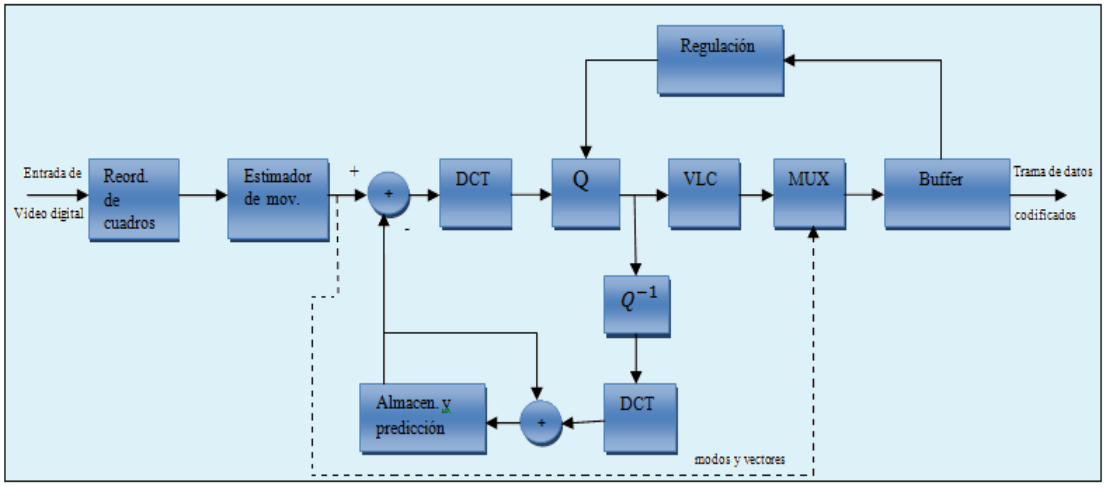



Figura 1.4. Codificador MPEG-2.

***Método del gradiente de luminancia:*** Este método se basa en comparar la luminancia $Y_A$ de una línea activa de TV con las luminancias de todas las líneas activas de la imagen previa. Si $Y_A$ no es igual a su homóloga $Y_P$ en la línea P y es igual a otra $Y_Q$ de una línea Q entonces hubo movimiento, en caso que las luminancias de líneas homólogas coincidan entonces no ocurrió movimiento. Este método permite saber la dirección en que ocurrió el movimiento.

***Método de estimación de movimiento por correlación de fase:*** Este método se basa en que en el dominio del espacio un movimiento se traduce en un cambio de fase del espectro de frecuencias espaciales de la señal de video, el cambio de fase es función de la magnitud del movimiento. Por lo tanto se puede detectar la presencia de movimiento analizando las variaciones de fase de los espectros espaciales de Fourier de líneas de tv equivalentes en imágenes diferentes(Ronald de Bruin 1999).

- **Bloque de Almacenamiento de imágenes y predicción:** Implementa el cálculo de la predicción de la imagen actual a partir de la imagen anterior (almacenada) y de los vectores de movimiento calculados para la imagen actual. La predicción hallada se resta a la imagen actual dando lugar al error de predicción (e) que es lo que se transmite. Existen dos métodos fundamentales para la predicción, el método DPCM (siglas en inglés de *Differential Pulse Code Modulation*) y el de compensación de movimiento.

***DPCM:*** En MPEG, la predicción DPCM será intercuadro y se aplica entre elementos de igual ubicación en dos imágenes respectivas de la misma escena separadas un tiempo T. Los elementos utilizados en la predicción son muestras de luminancia de 16x16 correspondientes a un macrobloque. Si no hay movimientos en la escena, las dos imágenes son iguales y la DPCM da como resultado cero. Es bueno decir que este método es eficiente cuando hay pequeños movimientos en la escena.

***Predicción con compensación de movimiento:*** Se utiliza cuando hay movimientos bruscos en la escena, resulta mucho más eficiente y se utilizan los vectores de movimiento. Lo que se hace es adaptar la predicción intercuadro a las variaciones temporales de la escena. Esta adaptación consiste en localizar un elemento previo que se desplazó igual al elemento actual. Dicho método se aplica para compensar las deficiencias que quedan en la predicción después de haber aplicado la DPCM y de haber determinado los vectores de movimiento. Solo se aplica si el resultado de la DPCM no es cero en un primer instante(Enrici 2005).

- **Bloque DCT:** En este bloque se le aplica la transformada discreta del coseno al error de predicción obtenido. En este caso la transformada es aplicada a cada uno de los bloques (8x8 píxeles ) que conforma la imagen, con esto se logra una transformación de los coeficientes en el dominio espacial al dominio de la frecuencia, las componentes de frecuencias más bajas se concentran siempre más hacia arriba y a la izquierda dentro del bloque. Las altas frecuencias pueden ser eliminadas puesto que representan los detalles dentro de la imagen que en la mayoría de los casos resulta imperceptible para el ojo humano. Hay que decir que la transformada por sí sola no introduce compresión por lo que debe estar acompañada de mecanismos de codificación (RLC, Huffman). En la figura 1.5 se muestra un ejemplo del resultado que puede arrojar la utilización de la DCT(Watkinson 2001).

- **Bloque Q:** En este bloque se cuantifica de forma uniforme la DCT obtenida. El resultado que es el error de predicción cuantizado se pasa al siguiente elemento. Para la cuantización existen tablas con los valores referidos a la información de luminancia

y crominancia, estos valores se basan en las características del sistema visual humano. Seguidamente se realiza una barrido en zig-zag para lograr concentrar los coeficientes de bajas frecuencias antes de los coeficientes de altas frecuencias (Ver figura 1.1)(Cruz 2006).

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7842 | 199 | 448 | 362 | 342 | 112 | 31 | 32 |
| 198 | 151 | 181 | 264 | 59 | 37 | 14 | 13 |
| 142 | 291 | 218 | 87 | 27 | 88 | 27 | 52 |
| 111 | 133 | 159 | 119 | 58 | 65 | 36 | 2 |
| 49 | 85 | 217 | 50 | 8 | 3 | 14 | 12 |
| 58 | 120 | 60 | 40 | 41 | 11 | 2 | 1 |
| 30 | 121 | 61 | 22 | 30 | 1 | 0 | 1 |
| 22 | 88 | 2 | 33 | 24 | 51 | 44 | 81 |

DCT →

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 980 | 12 | 23 | 15 | 13 | 4 | 1 | 0 |
| 12 | 9 | 8 | 11 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | 13 | 8 | 3 | 0 | 2 | 0 | 1 |
| 5 | 6 | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | 3 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 4 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 1.5. Coeficientes obtenidos por el uso de la DCT.

- **Codificación de longitud Variable (VLC):** Este bloque asigna un código Huffman a los datos cuantizados.

  *Código Huffman:* Este es un código que asigna una mayor cantidad de bits a los símbolos que menor probabilidad de aparecer tienen y una menor cantidad de bits a los símbolos con mayor probabilidad.

- **Bloque Buffer:** La salida del VLC es multiplexada, como la tasa binaria que procede del multiplexor es variable, se necesita de este buffer para entregar a la salida un régimen binario constante.
- **Bloque Regulación:** Por medio de este se envía información al bloque Q para que se incrementen o bajen los niveles de cuantización dependiendo del estado en que se encuentre el buffer que puede estar prácticamente lleno o vacío (Cruz 2006).

MPEG es una herramienta utilizada también para aplicaciones de multidifusión, el procesamiento que se realiza para este tipo de aplicaciones a las imágenes es muy similar al procesamiento descrito anteriormente, con algunas diferencias que no serán abordadas. Más adelante será tratado uno de los aspectos más importantes dentro de este tema, la creación del paquete de transporte (TS), puesto que es este paquete el que se recibe a la entrada del transmisor.

### 1.1.5 Codificación de audio

El proceso de la adquisición de audio para su digitalización comienza mediante la captura con un elemento transductor (micrófono) o con la reproducción de una grabación previa, luego se realiza un filtrado eliminando aquellas componentes de frecuencias que no son audibles por los humanos para después llevar a cabo la compresión, y así realizar el muestreo de la señal y su conversión análogo digital. El tratamiento que se le da al audio está basado un fenómeno que ocurre debido a las características del oído humano, dicho fenómeno es el enmascaramiento que no es más que las particularidad del oído humano de escuchar solo algunas componentes de una señal acústica compleja.

Básicamente existen dos tipos de enmascaramiento que son aprovechados a la hora de procesar una señal de audio, estos son el enmascaramiento en frecuencia y el enmascaramiento temporal.

- **Enmascaramiento en frecuencia:** Se produce cuando dos tonos o sonidos determinados suceden simultáneamente y uno enmascara al otro. Al sonido que predomina se le conoce como tono enmascarador. En la actualidad existen gráficas creadas a base de pruebas con los valores de intensidad del sonido enmascarador y de un sonido de prueba en un rango de frecuencias para que ocurra este fenómeno.
- **Enmascaramiento temporal:** Cuando la señal enmascarante desaparece el fenómeno de enmascaramiento no cesa instantáneamente sino que se mantiene ocurriendo durante un instante determinado en el oído. También existe un fenómeno curioso conocido como pre-enmascaramiento el cual no es más que la condición del oído de dejar de percibir las componentes espectrales que serán enmascaradas unos instantes antes de que aparezca la señal enmascarante(Jayant 1999).

El procesamiento inicial que se le realiza a las señales de audio se muestra en la figura 1.6.

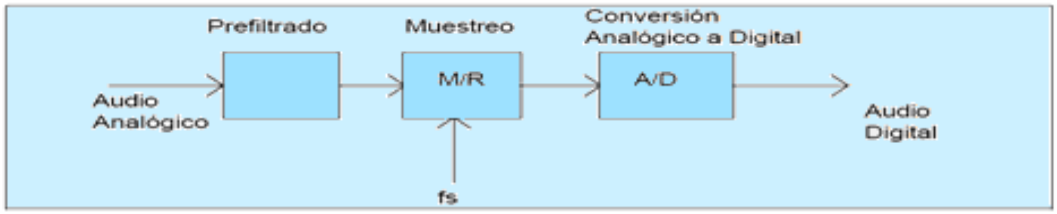



Figura 1.6. Procesamiento inicial del audio.

Una de las técnicas de codificación más empleadas después de realizado el proceso mostrado en la figura es PCM, que consiste en asociar un símbolo con una secuencia de bits determinada. A continuación serán expuestas algunas de las técnicas de compresión utilizadas, es bueno señalar que estos tipos de codificaciones son con pérdidas (Lossy), es decir, parte de la información se pierde y no se puede recuperar.

- *Reducción de la frecuencia de muestreo o de la cantidad de bits*: Es la técnica de compresión más simple para reducir el volumen de datos en una señal digital. Aunque es un método bastante rudimentario todavía puede ser utilizado en algunas aplicaciones con bajos requerimientos de calidad.
- *Lossless:* Consiste en eliminar aquellos datos que son redundantes en la señal de audio (logran relaciones de compresión de 4:1).Por ejemplo, si se observa que una determinada cadena de bits se repite con bastante frecuencia en la señal no es necesario transmitirla todas las veces que aparezca. Se transmite una sola vez y luego se insertan bits de control que indican en que lugares se deben reinsertar estas cadenas.
- *DPCM (*siglas en inglés de *Differential Pulse Code Modulation):* Es parecido al PCM, pero no se procesan las muestras en su totalidad, sino que se trabaja con las diferencias entre una y la anterior. Debido a que las señales de audio son bastante continuas, una muestra y su precedente son muy similares, por lo que no es necesario almacenar el valor absoluto de cada muestra, sino solamente la diferencia entre muestras contiguas. Estas diferencias son bastante pequeñas, por lo que son necesarios pocos bits para transmitirlas; logrando de esta forma una compresión de los datos(Jayant 1999).

La información de audio es procesada y contenida en una trama de audio Elementary Streams (ES), el término “ES” será tratado con más detalle en el epígrafe 1.1.7.

### 1.1.6 Trama de audio MPEG-2 (ES)

En esta trama elemental se incluyen algunas nuevas funciones:

- *Audio Multicanal:* Se introduce el sonido envolvente (surround) análogo al de las salas cinematográficas. El sistema está formado por tres canales frontales, dos traseros y uno de refuerzo de graves.

- *Soporte para audio multilingüe:* Se pueden introducir en la trama hasta 8 canales de voz.

Se introducen nuevas frecuencias de muestreo y valores más bajos de flujo binario para aplicaciones que no requieran tanta calidad.

### 1.1.7 Constitución del paquete de transporte MPEG-2

En la figura 1.7 se muestra de manera general todo el procesamiento que se le realiza a las señales de audio y video de un programa audiovisual determinado, desde la codificación que se realiza de forma independiente al audio y al video, pasando por el empaquetamiento PES y hasta la multiplexación y creación del paquete.

A continuación se exponen cada una de las estructuras utilizadas en MPEG-2.

- *Elementary Stream (cadena elemental, ES)*: Es el nombre dado a cada componente simple de un programa, después que se han codificado digitalmente y comprimido las señales audiovisuales según los métodos vistos anteriormente. Así, un programa ya comprimido de TV se compone de varios "Elementary Streams": Uno para el vídeo, varios para sonido estéreo en diferentes idiomas, otro para el teletexto, etc.
- *Packetized Elementary Stream (Cadena elemental empaquetada, PES):* Cada "ES" se estructura en paquetes, dando lugar a un flujo que se denomina "PES". Los PES tienen longitud variable con un máximo de 64kbytes

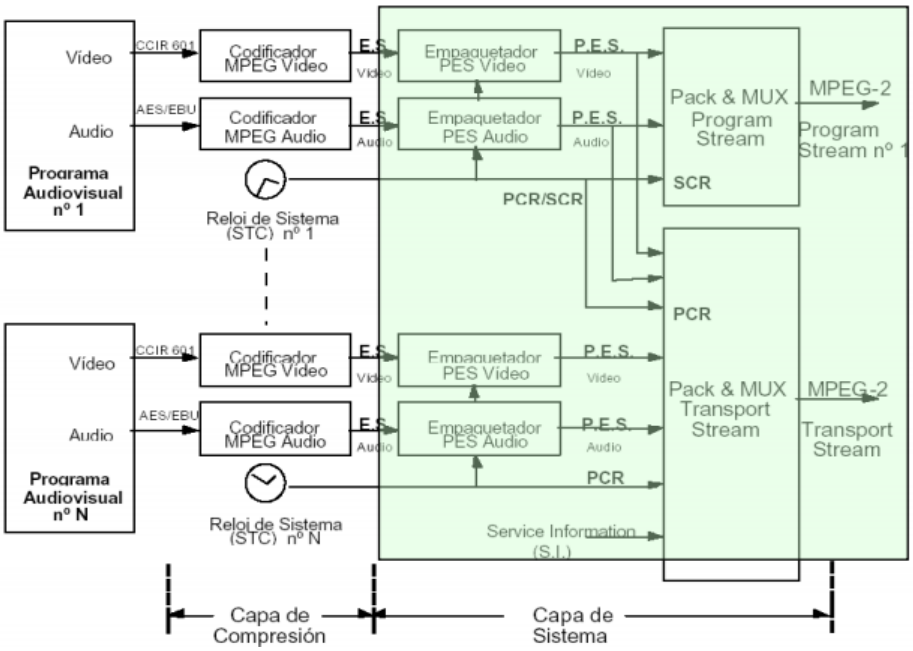



Figura 1.7. Procesamiento hasta la creación del paquete de transporte.

- Transport Stream (Paquete de transporte, TS): Está formado por una longitud fija de 188 bytes, con una cabecera de 4 bytes y un espacio de carga útil o payload de 184 como máximo (eventualmente precedido por un campo de adaptación) formada de los PES que conforman los programas de televisión transmitidos por el canal así como cierto número de datos auxiliares que permiten al decodificador no perderse con el flujo MPEG-2. La constitución del paquete de transporte se muestra en la figura 1.8.
- Program Stream (Paquete de programa, PS): Es utilizado para interconexión entre equipamiento interno dentro de la estación y tiene una longitud variable(Marcelo Tenorio 2010).

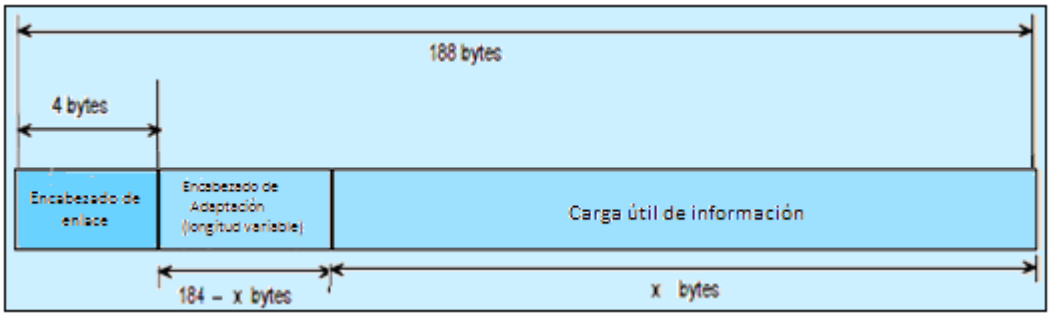



Figura 1.8. Constitución del paquete de transporte.

En el anexo A se muestran algunas tablas que indican las funciones de cada uno de los campos que conforman la trama y en las figuras 1.9 y 1.10 aparecen las estructuras de encabezado y de trama respectivamente.

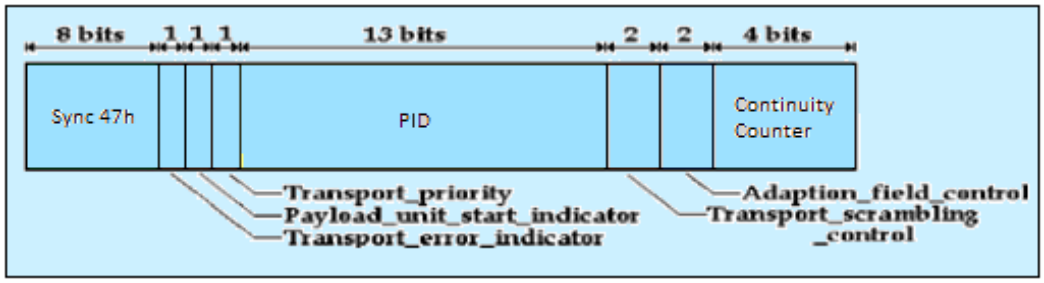



Figura 1.9. Estructura de encabezado.

Un TS solo puede transportar información procedente de un solo PES y un PES comienza obligatoriamente al principio de un TS y culmina al final de otro. Debido a que la longitud de un paquete de transporte es mucho menor que la de un PES este deberá ser dividido en trozos de 184 bytes (carga útil) de longitud.

Como la longitud de un PES no es generalmente múltiplo de 184, el último TS deberá comenzar con un campo de adaptación cuya longitud será el complemento a 184 del número de bytes que quedan por transmitir para terminar el último PES(Cruz 2006).

### 1.1.8 Organización del multiplex de transporte

El multiplex de transporte puede contener varios programas, cada uno compuesto por uno o varios trenes elementales de paquetes. A fin de que el decodificador pueda orientarse dentro de la variedad de paquetes MPEG-2 se define un conjunto de tablas que juntas constituyen la información específica de un programa.

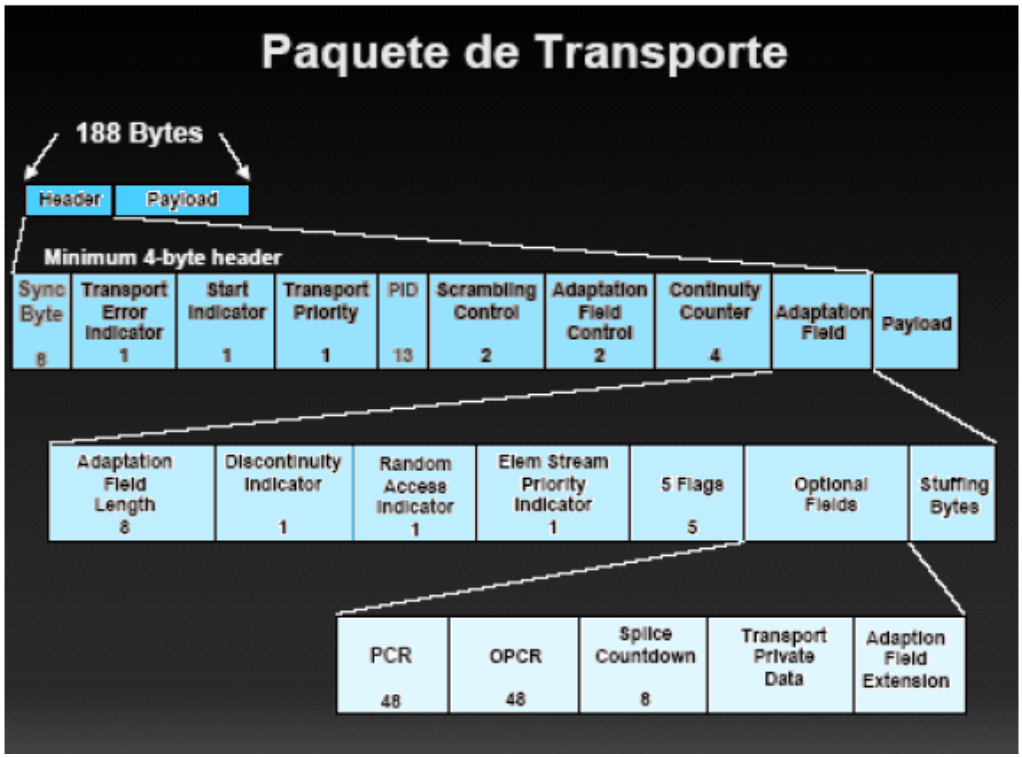



Figura 1.10. Estructura del paquete de transporte.

- *Program Association Table (PAT):* Esta tabla, cuya presencia es obligatoria, es transportada por los paquetes cuyo indicador contengan el número 0 (PID=0x0000). El PID (siglas en inglés de *Packet Identifier*) no es más que un código que identifica cada paquete transmitido, su función es la de indicar la relación entre el número de programa y los paquetes que contienen una tabla con toda la información referente a dicho programa (PMT). La PAT se transmite sin cifrar.

- *Program Map Table (PMT):* Existe una tabla por cada programa en el multiplex. Indica principalmente los PID de los trenes elementales que constituyen el programa. Puede ser cifrada de manera opcional. Puede ser transportada por paquetes de PID arbitrario exceptuando 0x0000 y 0x0001.
- *Conditional Access Table (CAT):* Esta tabla debe estar presente a partir del momento en que al menos un programa sea de acceso condicional. Se transporta por los paquetes de PID=0x0001 e indica los paquetes que contienen la información necesaria para descifrar los programas de acceso condicional(Cruz 2006).

## 1.2 AVS (Audio Video Coding Standard)

La técnica de codificación de audio y video AVS fue desarrollada recientemente por el gobierno chino a fin de incorporarla a su estándar de transmisión de TV digital DTMB, esta incorpora nuevas potencialidades como la inclusión de 16 canales con flujos de 8 a 96 Kbps. Este sistema está formado por cuatro partes fundamentales que son: sistema, audio, video y administración de derechos digitales. En el presente trabajo se tratará el tema del audio puesto que es esta la parte del códec que se le incorpora a DTMB.

### 1.2.1 Codificación de audio

La parte del estándar referida al audio define dos formatos llamados Audio Storage Format (AASF) para almacenamiento y Audio Transport format (AATF) para transmisión. La diferencia fundamental entre estos dos formatos es la estructura de trama del flujo de datos. En el proceso de codificación de audio (PCM) las señales son muestreadas con una frecuencia que varía de 8 a 96 KHz y el rango del flujo de bits a la salida está en el rango de 6 a 96 Kbps por cada canal de salida. A continuación en la figura 1.11 se muestran algunas características de la codificación de audio AVS(Mariño 2010).

| | |
|---|---|
| **Modo** | Modo Escalable, Modo de Alta Eficiencia |
| **Longitud de trama** | 1024 muestras |
| **Codificación de Entropía**[2] | Context-Dependent Bitplane Coding (CBC) |
| **Soporte máximo de canales principales** | 16 |

Figura 1.11. Características de la codificación de audio AVS.

Con el objetivo de entender más a fondo el método de codificación de audio AVS se muestra la figura 1.12 donde aparece un esquema en bloques del mismo. El funcionamiento se explicará a continuación.

El codificador de audio (PCM) produce un flujo de bits codificados, luego muestras de dicho flujo son introducidas en el codificador que se muestra en la figura. La ventana de interrupción determina la longitud del bloque de análisis (grupo de muestras). La multidetección (intMDCT) se emplea en el análisis de tiempo y frecuencia permitiendo reducir el aliasing (solapamiento) que es el efecto no deseado que se produce cuando la frecuencia de muestreo es demasiado baja para reproducir fielmente los detalles de la señal.

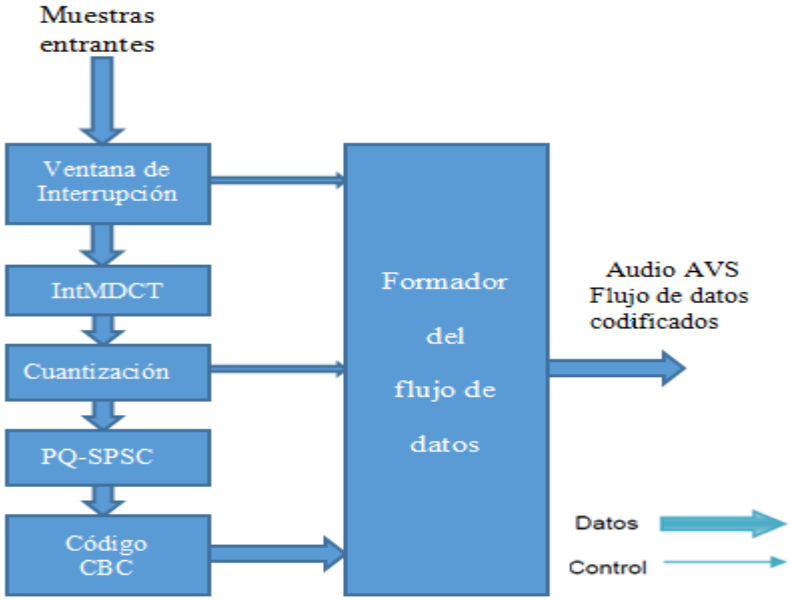



Figura 1.12 Esquema de codificación de audio AVS.

Luego se procede a la cuantización de los símbolos y más tarde el bloque PQSPSC (siglas en inglés de *Post-Quantization Square Polar Stereo Coding*) mejora la calidad de la transformación, es decir, codifica sin pérdidas la información de audio. La codificación de entropía CBC (siglas en inglés de *Context-Dependent Bitplane Coding*) se utiliza con el fin de reducir las tasas binarias(Mariño 2010).

Después de la creación del flujo binario de audio se procede a la multiplexación de los datos de audio AVS con el video MPEG y el resto de los datos auxiliares, la multiplexación siempre es basada en MPEG-2 sin importar el procesamiento previo de las señales (AVS, MPEG-4, MPEG-2), con el objetivo de adaptarlo a la interfaz que está a la entrada del sistema de transmisión DTMB. Este procedimiento se muestra en la figura 1.13.

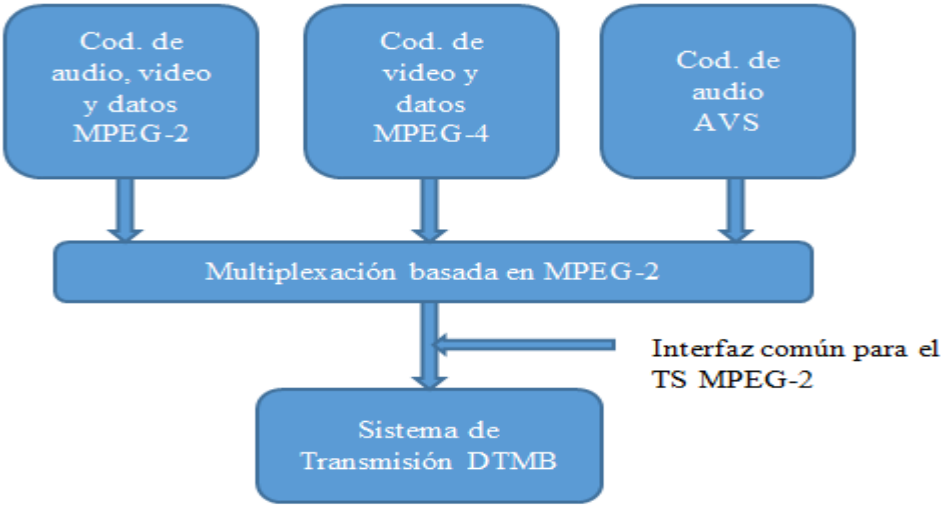



Figura 1.13. Multiplexación de los datos.

## 1.3 Conclusiones parciales

En el capítulo se trataron temas relacionados con las técnicas de codificación de audio y video utilizados por la norma DTMB. Este es un estándar que utiliza varios algoritmos de codificación como MPEG-2, MPEG-4 y AVS, sin embargo el flujo de entrada que se le inyecta al transmisor es multiplexado en MPEG-2 dado que la interfaz de entrada presenta compatibilidad con este tipo de flujo. Estos mecanismos de codificación a pesar de eliminar información de la imagen no afectan la calidad subjetiva de la señal audiovisual.

# CAPÍTULO 2. ESQUEMA DE TRANSMISIÓN DTMB

## 2.1 Consideraciones Generales

DTTB es una de las partes más importantes de los sistemas de Televisión, estos pueden soportar recepción tanto móvil como estacionaria, ajustándose esto al caso particular de la norma DTMB china. En el modo de recepción estacionaria el sistema puede proveer servicios SDTV, HDTV, transmisión de audio digital, servicios de datos y multimedia. En el modo de recepción móvil el sistema soporta todas las funciones del modo estacionario salvo HDTV. Los sistemas DTMB soportan las conocidas como redes multifrecuencia (MFN) y de una sola frecuencia (SFN), diferentes modos de transmisión y sus parámetros pueden ser utilizados para diferentes servicios dependiendo del ambiente de trabajo.

El sistema puede también soportar un modo de transmisión híbrido para proveer varios servicios simultáneamente con una alta flexibilidad (General Administration of Quality Supervision 2006).

## 2.2 Diagrama del sistema

La función de un sistema de transmisión de Televisión Digital es convertir una cadena de datos de entrada en una señal de RF de salida. En la figura 2.1 se muestra de forma general la arquitectura en bloques presente en la norma.

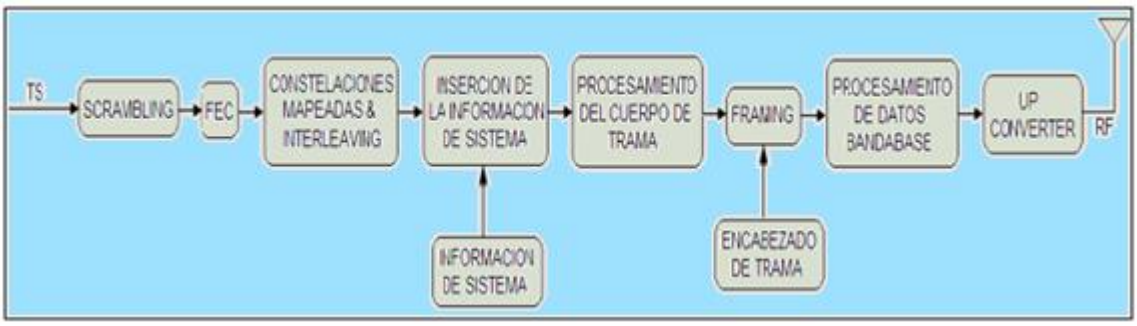



Figura 2.1 Esquema general de transmisión de la norma china.

### 2.2.1 Interfaces entrada/ salida

- *Entrada*: trabaja según el estándar GB/T 17975.1 y soporta formato MPEG-2, MPEG-4 y más recientemente se incorporó AVS. Este estándar es equivalente al

estándar ISO/IEC 13818-1 que define el sistema y el flujo de transporte(Rodríguez 2011).

- *Salida*: La interfaz de salida de RF trabaja sobre la Especificación General para Transmisión de Televisión SJ/T 10351(University 2008).

### 2.2.2 Aleatorizador (*Scrambler*)

Los datos multiplexados de entrada son aleatorizados de acuerdo con el esquema de la figura 2.2 con el objetivo de asegurar una adecuada transición binaria. Con esto se asegura que el espectro de la señal sea más similar a ruido blanco y se distribuyen los bits asegurando que no se formen cadenas largas de unos y ceros evitando los errores en ráfagas(Mariño 2010).

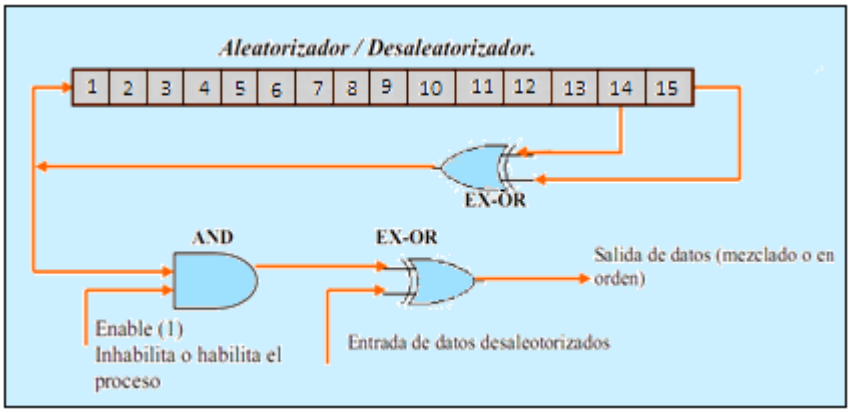



Figura 2.2 Esquema del aleatorizador.

El Aleatorizador es un elemento que genera una secuencia de bits pseudoaleatoria o PRBS (*Pseudo Random Bits Sequence*). El mismo se construye a base de un registro de desplazamiento lineal realimentado o LFSR (*Linear Feedback Shift Register*). Un LFSR es un registro de desplazamiento cuya entrada es una función de su estado anterior, esta función no es más que un OR Exclusivo (*XOR*).

El polinomio generador de la PRBS está determinado por la ecuación (2.1).

$$G(x) = 1 + x^{14} + x^{15} \quad \text{..... (2.1)}$$

La norma establece que el estado inicial del registro de desplazamiento será "*100101010000000*" a partir del cual se generará la secuencia pseudoaleatoria. El primer bit de la secuencia será aplicado al primer bit del flujo de datos mediante una operación *XOR* para aleatorizarlos. Este proceso se realizará al comienzo de cada trama de señal. Se dice que un registro de desplazamiento es de longitud máxima si es capaz de generar

$2^m - 1$ estados donde *m* es la cantidad de bits que forman el registro, para la norma china dicho registro es de longitud máxima(Rodríguez 2011).

Los paquetes de 188 bytes (Paquetes de transporte) son agrupados de 8 en 8, o lo que es lo mismo, se agrupan 1503 bytes en un dispositivo de multiplex previo al bloque de dispersión de canal que se encarga además, de invertir el byte de sincronismo del primer paquete de cada grupo. El aleatorizador se reinicializa cada vez que detecta un byte de sincronismo negado, es decir, cada 8 paquetes de transporte, cargando la secuencia inicial en su registro(Martínez 2012). El valor con el que se encuentra cargado el byte de sincronismo de cada paquete es 47H y cuando se niega en el primero de los ocho paquetes queda cargado con el valor B8H como se muestra en la figura 2.3.

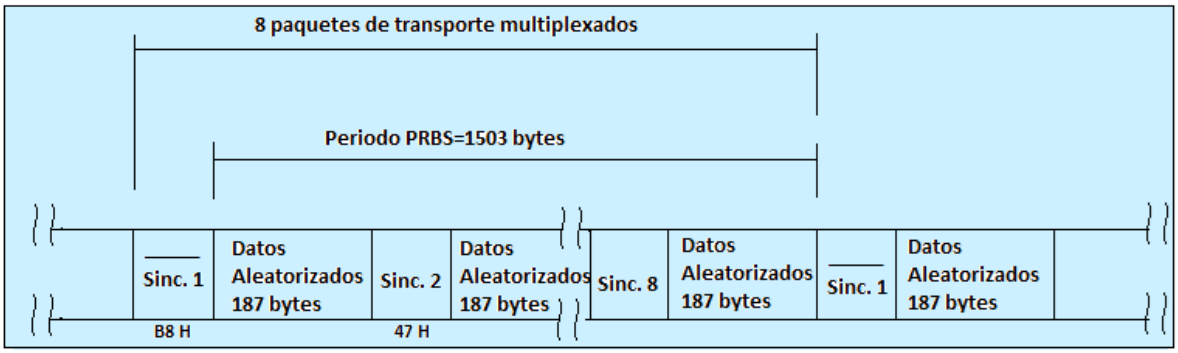



Figura 2.3 Estructura del flujo de paquetes.

### 2.2.3 FEC (Forward Error Correction)

En todo sistema de transmisión se hace necesaria la implementación de técnicas de corrección de errores a fin de que el usuario final pueda recibir la señal con la mayor calidad posible. En el estándar DTMB se utilizan mecanismos diferentes al resto de las normas internacionales de Televisión Digital Terrestre. El FEC en este sistema incluye codificación interna BCH (siglas en inglés de *Bose-Chaudhuri-Hocquenghem code*) y codificación externa LDPC (siglas en inglés de *Low Density Parity Check*) que por lo general se basan en la paridad para detectar y corregir los errores. Esta combinación (BCH + LDPC) hace al estándar chino más fuerte que muchos otros en lo que a corrección de errores respecta. El esquema de codificación FEC se muestra en la figura 2.4.

### 2.2.3.1 Código externo BCH

El codificador utilizado es del tipo BCH (762,752) correspondientes a 752 bits de información y 10 de chequeo de paridad. Este sale de un código BCH (1023,1013) el cual se obtiene rellenando los bits de información con 261 ceros y así se obtienen los 1013 bits como se muestra en la figura 2.4. Una vez que se tiene la palabra de código se extraen los 261 ceros en la cabecera, esto es posible puesto que el código es sistemático y coloca los bits de información por delante de los de chequeo. Una trama de transporte está compuesta por 1504 bits (188 bytes) y la codificación se efectuará sobre 752 bits correspondientes a la mitad de dicha trama. El codificador BCH utilizado en la norma es común para las tres razones de código del codificador interno LDPC (0.4, 0.6, 0.8) y es capaz de corregir un error o detectar un par de ellos (Rodríguez 2011). La norma describe el polinomio generador que establece las palabras de código válidas según la ecuación (2.2).

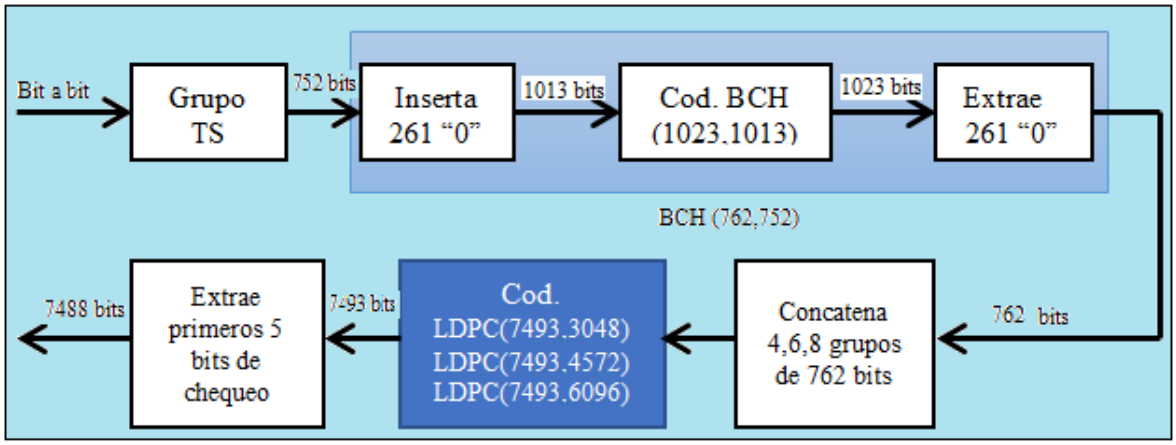



Figura 2.4. Esquema de codificación FEC

$G_{BCH(X)}=1+x^3+x^{10}$ …….. *(2.2)*

Con este polinomio se puede definir lo siguiente:

Longitud de la palabra de código BCH: $n=2^m-1$, $n=2^{10}-1=1023$

Longitud del bloque antes de la codificación BCH: $k$, $k=1013$

Cantidad de bits de chequeo mínima para corregir t errores (coincide con la dimensión del polinomio generador): $m=10$

Ahora se tiene que: $n-k=m\times t$ donde t es el número de errores corregibles. Realizando los cálculos se obtiene que t=1, por lo que este código solo puede corregir un error, en este

caso corregirá un error que ocurra de manera esporádica dentro de la codificación interna LDPC.

BCH es una subclase de códigos cíclicos que se puede implementar fácilmente con registros de desplazamientos realimentados, disminuyendo así la complejidad del hardware. Aunque no tiene la potencia que otros códigos como el Reed-Solomon, que puede corregir hasta 8 errores en las mismas condiciones, el procesamiento se realiza mucho más rápido puesto que no introduce tanta redundancia. Esta pobre capacidad de corrección de BCH se mejora en el siguiente bloque con la codificación LDPC.

Otro de los propósitos de este código es el de adaptar el flujo de datos, cuando se escogen varios modos de trabajo, cada trama del sistema debe contener paquetes MPEG-2 completos, así que el código BCH puede corresponder a la longitud del paquete MPEG-2 y a las palabras código LDPC(Mariño 2010).

### 2.2.3.2 Código interno LDPC

El codificador LDPC corresponde al FEC interno de la norma DTMB. Las tres razones de código que utiliza el FEC son 0.4, 0.6, 0.8 y están dadas por la cantidad de grupos BCH que tienen que concatenarse para entrar al codificador LDPC como se muestra en la figura 2.4. Los códigos de chequeo de paridad de baja densidad son una clase de código de bloques lineales con decodificación alcanzable, los cuales alcanzan un desempeño cercano al límite teórico o límite de Shannon para bloques de transmisión extensos.

LDPC está representado por una matriz de chequeo de paridad H(m x n) con baja densidad de 1s, se considera de baja densidad si la cantidad de 1s es menor del 1% del número total de elementos que conforman la matriz H. Dicha matriz es especificada y se muestra en la figura 2.5(Rodríguez 2011)

$$H_{qc} = \begin{bmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} & \cdots & A_{0,t-1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} & \cdots & A_{1,t-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{c-1,0} & A_{c-1,1} & \cdots & A_{c-1,t-1} \end{bmatrix}$$

Figura 2.5. Matriz H.

Cada fila H representa una ecuación de chequeo de paridad y la suma módulo 2 de la cantidad de unos en cada fila debe ser cero, participando solo unos pocos bits en cada ecuación de chequeo de paridad.

En un código de bloque lineal como el LDPC básicamente se codifica efectuando la multiplicación $c=m\times G$ donde $m$ es el mensaje y $G$ es la matriz de generación de $k\ x\ n$, dicha matriz es especificada en la norma y se muestra en la figura 2.6; esta matriz está formada por la matriz H traspuesta y la matriz identidad. Una vez obtenida la palabra de código de 7493 bits se extraen los primeros cinco de chequeo como aparece en la figura 2.4, de esta forma se logra ubicar cómodamente las palabras codificadas en las trama de señal especificada por la norma que se verá más adelante en el epígrafe 2.2.7.

La decodificación se realiza de forma iterativa utilizando un gráfico bipartito o ¨Gráfico Tanner¨ descrito por la matriz de chequeo de paridad H que consiste en nodos variables y nodos de chequeo. Los nodos variables (nodos-v) corresponden a los bits de la palabra de código recibida, equivalente a las columnas de la matriz de chequeo de paridad, mientras que los nodos de chequeo (nodos-c) corresponden a las ecuaciones de comprobación que equivalen a las filas de la matriz de chequeo de paridad. En la figura 2.7 se muestra un ejemplo.

$$G_{qc\,sys} = \begin{bmatrix} G_{0,0} & G_{0,1} & \cdots & G_{0,t-c-1} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ G_{1,0} & G_{1,1} & \cdots & G_{1,t-c-1} & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{c-1,0} & G_{c-1,1} & \cdots & G_{c-1,t-c-1} & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 2.6. Matriz generadora del código LDPC.

La matriz H determina las conexiones entre los nodos-v y los nodos-c, en donde los mensajes fluyen de los v a los c y viceversa. Adicionalmente, en un gráfico bipartito se tienen $n$ nodos-v y $n$-$k$ nodos-c, donde el nodo de chequeo $i$ se conecta al nodo variable $j$ si el elemento $(i, j)$ de la matriz es 1. El ejemplo mostrado en la figura 2.7 es para un código (7, 4)(André Neubauer 2007).

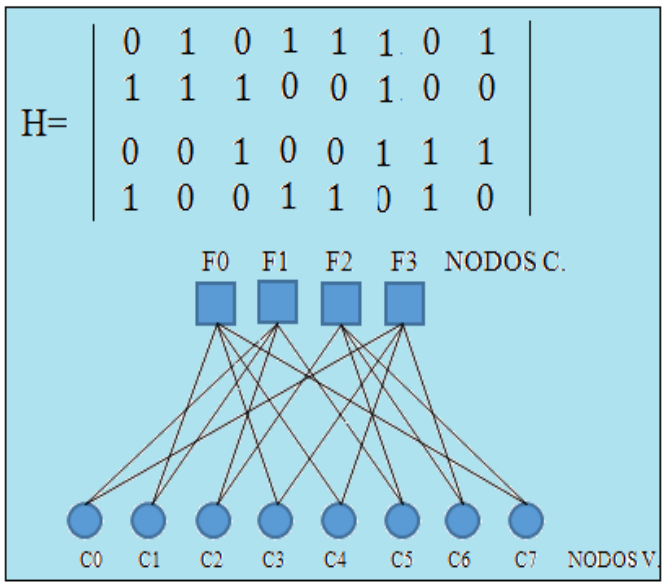



Figura 2.7. Gráfico Tanner.

Para visualizar el mecanismo de corrección de errores de LDPC, se puede analizar el ejemplo en el que se envía la palabra de código c = [1 0 0 1 0 1 0 1] y se recibe c = [1 1 0 1 0 1 0 1] para el grafo y la matriz H correspondiente a la figura 2.7. En un primer paso, cada nodo variable $c_i$ le envía un mensaje a cada nodo de chequeo $c_j$, conteniendo el bit que se preveé esté correcto, en este caso dicho bit es enviado solamente a los dos nodos de chequeo con los que está enlazado como se muestra en el gráfico Tanner y que forma parte del mensaje recibido, por ejemplo, en este caso $C_0$ le envía un 1 a $f_1$ y $f_3$ y de igual modo lo implementan el resto de los nodos. En un segundo paso, cada nodo de chequeo le envía un mensaje a sus nodos variables correspondientes, para enviar este bit a uno de los destinos solo hay que fijarse en el valor que tienen los tres restantes nodos conectados a los de chequeo, y con esos valores se determina el valor que debe ser enviado al cuarto nodo variable completando una suma módulo 2 entre los 3 bits y enviando el resultado al cuarto. Este procedimiento se muestra en la figura 2.8.

El siguiente paso es determinar el verdadero valor del mensaje enviado, o sea, corregir el error que se presenta. Esto se logra debido a que cada nodo variable tiene tres fuentes de información referente a cada bit por lo que para determinar el verdadero valor de este solo hay que determinar el bit más probable por mayoría. Este procedimiento se muestra en la figura 2.9 y se conoce como ‘método duro’.

| c-node | received/sent | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_0$ | received: | $c_1 \rightarrow 1$ | $c_3 \rightarrow 1$ | $c_4 \rightarrow 0$ | $c_7 \rightarrow 1$ |
| | sent: | $0 \rightarrow c_1$ | $0 \rightarrow c_3$ | $1 \rightarrow c_4$ | $0 \rightarrow c_7$ |
| $f_1$ | received: | $c_0 \rightarrow 1$ | $c_1 \rightarrow 1$ | $c_2 \rightarrow 0$ | $c_5 \rightarrow 1$ |
| | sent: | $0 \rightarrow c_0$ | $0 \rightarrow c_1$ | $1 \rightarrow c_2$ | $0 \rightarrow c_5$ |
| $f_2$ | received: | $c_2 \rightarrow 0$ | $c_5 \rightarrow 1$ | $c_6 \rightarrow 0$ | $c_7 \rightarrow 1$ |
| | sent: | $0 \rightarrow c_2$ | $1 \rightarrow c_5$ | $0 \rightarrow c_6$ | $1 \rightarrow c_7$ |
| $f_3$ | received: | $c_0 \rightarrow 1$ | $c_3 \rightarrow 1$ | $c_4 \rightarrow 0$ | $c_6 \rightarrow 0$ |
| | sent: | $1 \rightarrow c_0$ | $1 \rightarrow c_3$ | $0 \rightarrow c_4$ | $0 \rightarrow c_6$ |

Figura 2.8. Corrección LDPC.

Luego solo resta regresar al segundo paso, realizando iteraciones hasta que los valores de los mensajes corregidos y recibidos coincidan (Leiner 2005).

| v-node | $y_i$ received | messages from check nodes | | decision |
|---|---|---|---|---|
| $c_0$ | 1 | $f_1 \rightarrow 0$ | $f_3 \rightarrow 1$ | 1 |
| $c_1$ | 1 | $f_0 \rightarrow 0$ | $f_1 \rightarrow 0$ | 0 |
| $c_2$ | 0 | $f_1 \rightarrow 1$ | $f_2 \rightarrow 0$ | 0 |
| $c_3$ | 1 | $f_0 \rightarrow 0$ | $f_3 \rightarrow 1$ | 1 |
| $c_4$ | 0 | $f_0 \rightarrow 1$ | $f_3 \rightarrow 0$ | 0 |
| $c_5$ | 1 | $f_1 \rightarrow 0$ | $f_2 \rightarrow 1$ | 1 |
| $c_6$ | 0 | $f_2 \rightarrow 0$ | $f_3 \rightarrow 0$ | 0 |
| $c_7$ | 1 | $f_0 \rightarrow 1$ | $f_2 \rightarrow 1$ | 1 |

Figura 2.9. Determinación del valor real.

### 2.2.4 Mapeo

Las modulaciones digitales superan a las analógicas tanto en la capacidad de información que pueden transportar como en la calidad de recepción de la misma. Este estándar soporta modulaciones de los tipos 64QAM, 32QAM, 16QAM, 4QAM, 4QAM-NR y QPSK.

#### 2.2.4.1 nQAM

Específicamente la modulación de amplitud en cuadratura o QAM (siglas en inglés de *Quadrature Amplitude Modulation*) ofrece diversas velocidades dependiendo de la aplicación que se vaya a implementar y de las características del canal de transmisión. Es necesario recordar que al aumentar la cantidad de señales en la constelación aumenta la probabilidad de error de bit para una misma potencia transmitida, esto ocurre debido a que las señales se encontrarán más cerca una de la otra por la que la probabilidad de confundirlas durante la recepción será mucho mayor. Este tipo de modulación se consigue

sumando dos señales ortogonales moduladas en amplitud y desfasadas 90º. Los datos después de ser codificados se convierten en una cadena de símbolos nQAM.

En el mapeo de los símbolos se ha considerado la normalización de potencia, lo cual ayuda a mantener la potencia media al mismo nivel en los diferentes mapeos. Las constelaciones de esta norma fueron construidas empleando el código Gray, permitiendo que la codificación de cada símbolo cambie en un solo bit respecto a los símbolos adyacentes y así se facilite la corrección de errores en el receptor. Si la modulación escogida es 64QAM, 32QAM, 16QAM o 4QAM después del mapeo se entrelazan los símbolos en el tiempo como se explica en el epígrafe 2.2.5. Si en cambio la modulación escogida es 4QAM-NR, el procesamiento no será el mismo, estos cambios se muestran en la figura 2.10 (Rodríguez 2011).

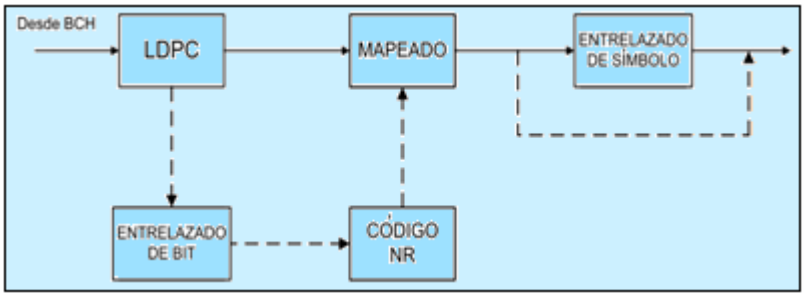



Figura 2.10. Diagrama de mapeo y entrelazado.

En la anterior figura se ha representado con línea continua el orden de los pasos correspondientes a la primera selección (64QAM, 32QAM, 16QAM y 4QAM). La segunda selección (4QAM-NR) se ha representado con líneas discontinuas, una vez que se realiza la codificación LDPC los datos son entrelazados en el tiempo, bit a bit, empleando las mismas variantes de entrelazado de símbolo. Luego los bits entrelazados se codifican utilizando un código NR (siglas en inglés de *Nordstrom-Robinson*) conocido como pre-mapeo Cuasi-Ortogonal (Forney 2001). Este código transforma ocho bits de entrada en 16 de salida. En el próximo paso se mapean 4QAM los bits codificados NR, los símbolos resultantes no son entrelazados y se ponen a la salida como se observa en la figura 2.10 (Rodríguez 2011). En el anexo B se muestran algunas de las varias constelaciones de la norma.

#### 2.2.4.2 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

La transmisión por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK), o PSK en cuadratura como también se le conoce, es otro tipo de modulación angular de amplitud constante, la misma

es una técnica de codificación M-ario, en donde M=4, con QPSK son posibles 4 fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Debido a que hay cuatro fases de salida diferentes debe haber cuatro condiciones de entrada diferentes, y como la señal que entra al modulador es binaria se necesita al menos dos bits para producir las cuatro salidas. Las posibles condiciones son 00, 01, 10 y 11, para cada par de bits hay una fase de salida, es decir, el cambio de fase se produce cada dos bits por lo que la razón de salida es la mitad de la razón de entrada. Después de que ambos bits han sido introducidos en forma serial, salen simultáneamente en forma paralela, un bit se dirige al canal I y el otro al canal Q. El bit I modula una portadora que está en fase con el oscilador de referencia y el bit Q modula una portadora que está 90º grados fuera de fase o en cuadratura con la portadora de referencia. Cuando el sumador lineal combina las dos señales de cuadratura se producen cuatro posibles salidas(Tomasi 2003). En el Anexo B se muestra el esquema de un modulador QPSK.

### 2.2.5 Entrelazado

Las técnicas de entrelazado son utilizadas generalmente para mejorar la calidad de la televisión digital DTMB. Consiste en modulación con portadora única (C=1) y modulación con portadoras múltiples (C=3780), los cuales ofrecen combinaciones flexibles de modos de trabajo para diferentes escenarios de aplicación. La modulación con simple portadora utiliza un entrelazado previo que se realiza en el tiempo y contribuye a evitar la ocurrencia de errores en ráfagas que puedan ocurrir durante la transmisión, mientras que para la modulación multiportadora (C=3780) se utiliza un entrelazador en frecuencia. El canal será considerado como totalmente entrelazado si los símbolos consecutivos de la cadena no se ven afectados por el mismo error y la forma de lograrlo es separando los símbolos adyacentes de una secuencia de transmisión por un tiempo mayor que la duración de una ráfaga de error. Sin embargo cuando sucede que dos símbolos consecutivos se ven afectados por el mismo error el canal se considera parcialmente entrelazado (Rodríguez 2011).

Existen dos tipos de entrelazados en el tiempo: periódicos y pseudoaleatorio, en el entrelazado periódico los símbolos de la secuencia están codificados como una función periódica en el tiempo. Existen dos clases fundamentales de entrelazadores periódicos, los

de bloque y los convolucionales, estos últimos son los utilizados en la norma china. Las variantes de entrelazado se muestran en a figura 2.11 (Mariño 2010).

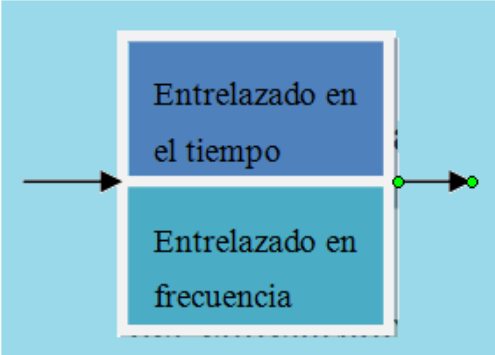



Figura 2.11. Tipos de entrelazado.

### 2.2.5.1 Entrelazado convolucional

En la figura 2.12 se muestra el esquema del entrelazador convolucional utilizado en la norma, la misma especifica los dos posibles modos de trabajo con que cuenta. Dichos modos de trabajo se muestran a continuación.

Modo 1: B=52 y M=240 símbolos.

Modo 2: B=52 y M=720 símbolos.

En cada caso B corresponde al número de registros de desplazamiento utilizados en el entrelazador.

Para explicar el entrelazado será utilizado el modo 1, ya que la única diferencia con el modo 2 radica en el valor de M.

En el transmisor la secuencia de símbolos alimenta la matriz triangular de (B, N) de 52 x 12240 construida a base de registros de desplazamiento. El i-ésimo registro de deslazamiento ($1 \leq i \leq 52$) tiene una longitud de (i – 1) x 240 donde M=N/(B-1), los registros son seleccionados cada 52 símbolos, es decir, el primer símbolo en llegar pasa directamente al canal, el segundo al primer registro y así sucesivamente hasta completar los primeros 52 símbolos, siempre rotando el más viejo hacia el canal.

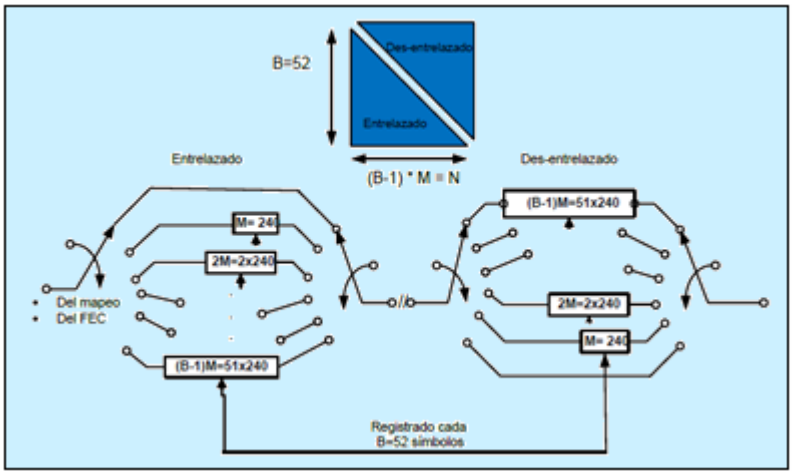



Figura 2.12. Diagrama del entrelazador convolucional.

La secuencia recibida es almacenada en el orden original en el receptor utilizando una estructura inversa de los registros de desplazamiento. Los símbolos que son demorados por (i-1) x 240 estados en el transmisor son demorados (52 - i) x 240 estados en el receptor.

El entrelazador convolucional presenta las siguientes ventajas:

- Todos los símbolos se reciben con una demora total de (B-1) x 240 estados, o sea, 12240 estados y para una conmutación igual a 52 esto resulta en B x (B-1) x 240 o N x B, o sea 636480 tiempos de símbolos. Si una trama señal consta de 3744 símbolos lo que se traduce en 170 tramas señal, esta demora es menor que la introducida por un entrelazador en bloque.
- El espacio total requerido en memoria es N x B, o sea, 636480 símbolos, esta también es menor que la requerida por un entrelazador en bloque.
- La eficiencia de corrección de error aleatorio aumenta, pues cualquier ráfaga de 240 x 52 símbolos erróneos solo afecta una de las 52 salidas del des-entrelazador a la vez (Rodríguez 2011)

### 2.2.5.2 Entrelazado en frecuencia

El intercalado en frecuencia se utiliza en el modo multiportadora (C=3780). Su propósito es mapear los símbolos de las constelaciones en las 3780 portadoras de forma entrelazada en el interior del cuerpo de la trama de manera que los datos queden aleatorizados en el dominio de la frecuencia.

### 2.2.6 Jerarquía de tramas

En el estándar, la estructura de trama está sincronizada en tiempo real. Hay cuatro niveles en la estructura de trama como se muestra en la figura 2.13.

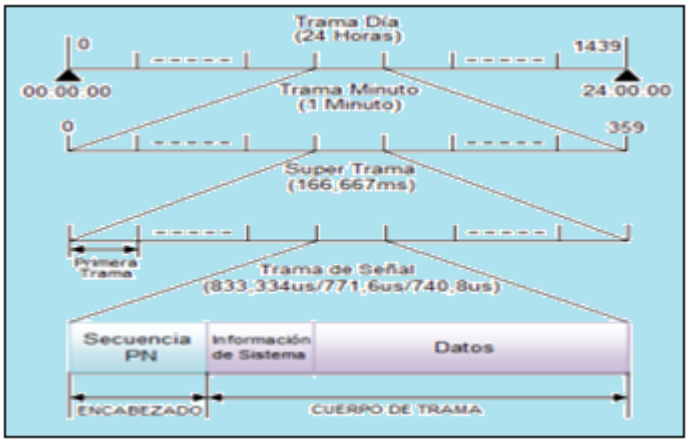



Figura 2.13.Jerarquía de tramas en la norma.

La supertrama está definida por un grupo de tramas señal, la trama minuto esta a su vez formada por un conjunto de supertramas, mientras que el nivel más alto de la jerarquía lo conforma la trama Día (CDF)(General Administration of Quality Supervision 2006). A continuación aparece un resumen con los aspectos esenciales correspondientes a cada nivel de la jerarquía, en el caso de la trama de señal su información aparece en el epígrafe 2.2.7.

#### 2.2.6.1 Supertrama

La supertrama tiene una duración de 125 ms, lo que equivale a un total de 8 en un segundo, la misma contribuye a la temporización del sistema aumentando la calibración del mismo. La primera trama señal en la supertrama es considerada como la trama cabecera indicando la información del sistema.

#### 2.2.6.2 Trama Minuto

La duración de esta trama es de un minuto, para un total de 480 supertramas de 125 us. Es el tercer escalón en el nivel de jerarquía de tramas utilizado en la norma.

#### 2.2.6.3 Trama Día (Calendar Day Frame)

Esta es una trama que se repite periódicamente todos los días. Esta trama se inicia a las 00:00:00 de cada día, hay 1440 tramas minuto contenidas en cada trama día.

### 2.2.7 Trama Señal

La trama señal es el elemento básico en la jerarquía de tramas de la norma, la misma consta de dos partes: cuerpo y cabecera. Existen tres opciones de longitud de encabezado cuyos detalles se muestran en la figura 2.14, designadas para soportar diferentes aplicaciones. La razón de símbolos en banda base es la misma tanto para la cabecera como para el cuerpo. Como el ancho de banda a utilizar es de 6 MHz, la razón de símbolos se verá reducida a 5.67 Msps. El cuerpo consta de 3744 símbolos de datos y 36 de información para un total de 3780. En el encabezado de trama se utiliza modulación 4QAM y secuencias PN para la generación del mismo.

La duración de cuerpo de trama y de supertrama es constante para cualquiera de las opciones de longitud de encabezado. Para la estructura de trama mostrada en la figura 2.14 a), una supertrama está compuesta por 225 tramas señal (225×4200×1/7.56μs=125ms); en el caso de la estructura de trama mostrada en la figura 2.14 b), una supertrama consiste de 216 tramas señal (216×4375×1/7.56μs=125ms); y para el último caso (c) una supertrama queda constituida por 200 tramas señal (200×4725×1/7.56μs=125ms)(General Administration of Quality Supervision 2006).

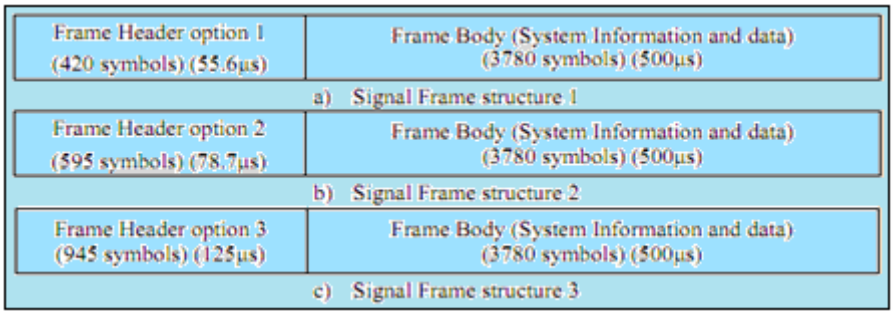



Figura 2.14. Opciones de longitud de encabezado.

#### 2.2.7.1 Modelo de 420 símbolos para el encabezado de trama

La secuencia PN utilizada en el encabezado de esta primera variante es definida cíclicamente por una secuencia extendida de octavo orden y es implementado con un LFSR. Cada bit de la secuencia PN es mapeado con codificación NRZ. La longitud de este encabezado es de 420 símbolos (PN420) y consiste de un preámbulo de 82 símbolos y una secuencia final de 83 símbolos como se muestra en la figura 2.15. El estado inicial del LFSR determina la fase de la secuencia PN, dichos estados son especificados en la norma.

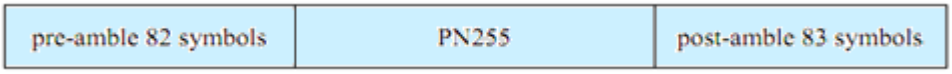



Figura 2.15. Opción 1 de encabezado.

El LFSR utilizado se muestra en la figura 2.16.

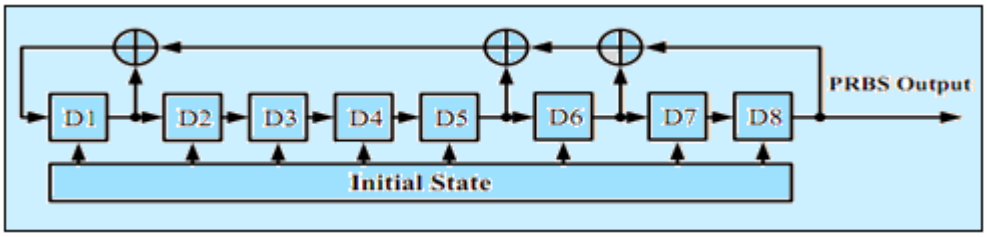



Figura 2.16. LFSR utilizado en la opción a) de encabezado.

### 2.2.7.2 Modelo de 595 símbolos para el encabezado de trama

Esta secuencia está definida por un registro de desplazamiento de orden 10 de longitud máxima, donde los primeros 595 bits de los 1023 que puede generar son colocados en el encabezado de la trama. Cada bit de la secuencia PN es mapeado con codificación NRZ. La estructura del encabezado con su preámbulo y su secuencia final se muestra en la figura 2.17 y el LFSR que genera dicha secuencia aparece en la figura 2.18. Esta opción de encabezado no se aplica en la canalización de 6 MHz, solo en el caso de 8 MHz(Zhixing 2007).

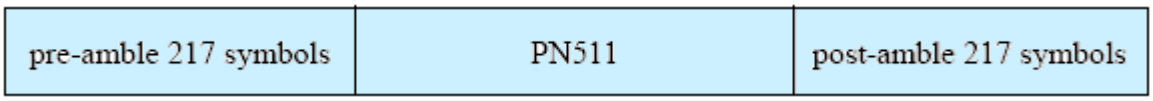



Figura 2.17. Opción 3 de encabezado.

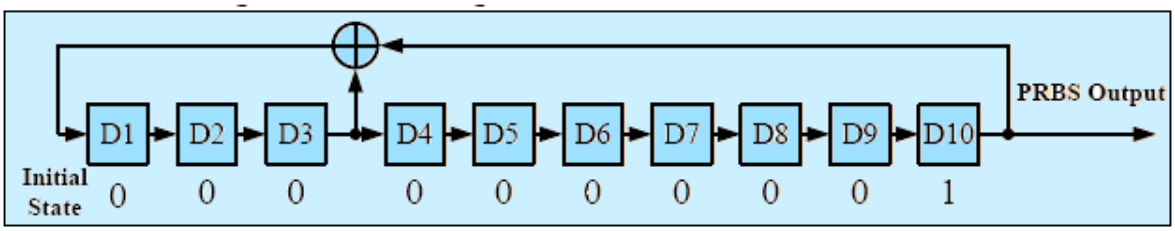



Figura 2.18. LFSR utilizado en la opción b) de encabezado.

### 2.2.7.3 Modelo de 945 símbolos para el encabezado de trama

La secuencia PN utilizada en esta opción es definida con orden nueve y es también implementada utilizando un LFSR. Cada bit de la secuencia es mapeado con codificación NRZ asignando +1 al cero y -1 al uno.

Este encabezado de longitud 945 símbolos (PN945) contiene un preámbulo y una secuencia final de 217 símbolos como se muestra en la figura 2.19. El estado inicial del LFSR determina la fase de la secuencia. El diagrama en bloques del LFSR utilizado en esta opción se muestra en la figura 2.20.

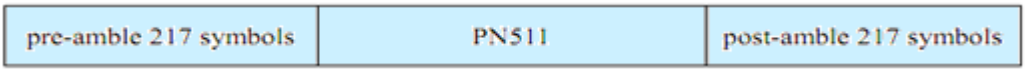



Figura 2.19. Opción 3 de encabezado.

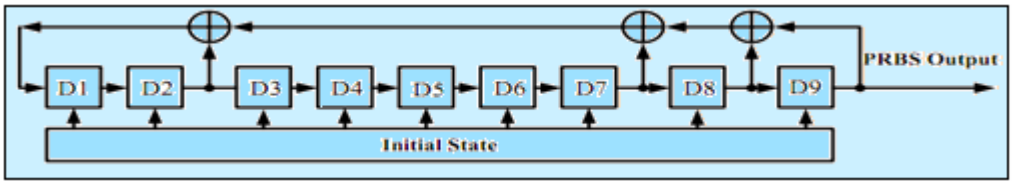



Figura 2.20. LFSR utilizado en la opción c) de encabezado.

El estado inicial del LFSR para cada trama señal es especificado en la norma(General Administration of Quality Supervision 2006).

### 2.2.8 Secuencias PN

Las secuencias binarias pseudoaleatorias utilizadas como cabecera en el estándar además de ser introducidas como intervalos de guarda a fin de proteger el sistema de la interferencia intersímbolos se desempeñan también como símbolos de entrenamiento para cumplir varias funciones. Esto reduce la sobrecarga de transmisión.

Las características y ventajas de este tipo de estructura de trama son:

- La secuencia PN como encabezado de trama puede ser utilizada para la sincronización y estimación de canal por lo que se logra una alta eficiencia espectral.
- La relatividad de la secuencia PN provee robustez al sistema, la correlación entre la secuencia recibida y la secuencia original enviada puede ser una buena estimación de la respuesta impulsiva del canal.

### 2.2.9 Información del sistema

La información del sistema es utilizada para proveer la información necesaria para realizar la demodulación y decodificación incluyendo los modos de mapeo de constelaciones, las razones FEC, los modos de entrelazado y los modos de procesamiento de trama, dicha información se introduce en el campo System information de la trama señal como se muestra en la figura 2.13. Existen 64 modos de información de sistema contenidos en 32 bits, obtenidos a su vez de una conversión de 6 a 32 bits; los 6 bits de información (s5s4s3s2s1s0 con s5 como el bit más significativo) son transformados a 32 vectores utilizando las técnicas de espectro extendido, para esto se utiliza una secuencia Wlash de longitud 32 y una PRBS también de longitud 32. Los bits s3s2s1s0 de la cadena de 6 bits contienen la información de mapeo y de la razón de codificación FEC. La descripción de estos 6 bits se muestra en las tablas C.1 y C. 2 en el Anexo C. El bit s5 se encuentra reservado (Mariño 2010).

#### 2.2.9.1 Obtención de los 32 bits de información

(a) Generar 32 vectores Wlash de longitud 32. Estos se derivan de los bloques Wlash de longitud 32, cada una de las filas de un bloque de dimensión 32 representa un vector. El bloque Wlash básico se muestra en la ecuación (2.3)

$$\boldsymbol{W}_2=\begin{bmatrix}\mathbf{1} & \mathbf{1}\\ \mathbf{1} & \mathbf{0}\end{bmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \textit{(2.3)}$$

El método sistémico utilizado para la generación de los bloques de longitud *n* se muestra en la ecuación (2.4), para el caso de la norma la longitud es 32.

$$\boldsymbol{W}_{2n}=\begin{bmatrix}\mathbf{H} & \mathbf{H}\\ \mathbf{H} & -\mathbf{H}\end{bmatrix} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \textit{(2.4)}$$

Donde H es el bloque Wlash$\mathbf{W}_{2(n-1)}$

(b) Realizando una inversión de bit en cada uno de los vectores obtenidos resultan los otros 32, es decir, se obtienen 32 vectores y su contraparte invertida, para un total de 64. Después dichos vectores son tratados con codificación NRZ.

(c) Luego se realiza una operación XOR a esos 64 vectores de longitud 32 con una PRBS, finalmente se obtienen los 64 vectores de información del sistema. Estos vectores y sus funciones se muestran en la tabla B.3 del anexo C. La PRBS de 32 bits es obtenida a partir de una secuencia de orden 5 (a base de registros de

desplazamiento) con una longitud máxima de 31 seguida de un cero. El polinomio generador de esta cadena de 31 bits es mostrada en la ecuación (2.5).

$$G_{31}(x) = 1 + x + x^3 + x^4 + x^5 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \textit{(2.5)}$$

El estado inicial es 00001 y el LFSR será reiniciado al comienzo de cada trama señal. El diagrama en bloque del LFSR se muestra en la figura 2.21.

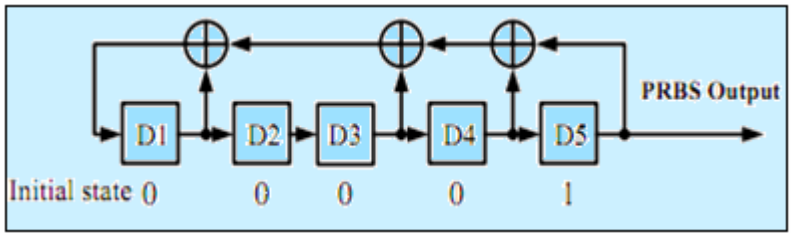



Figura 2.21. Estructura del LFSR de 5to orden.

(d) Los 32 bits de información se mapean en constelaciones 4QAM utilizando las componentes I y Q. Después del mapeo cuatro símbolos complejos (modulados 4QAM con las mismas componentes I y Q) son adicionados delante de los 32 de información. Estos cuatro símbolos tienen dos posibles valores, 0000 que indica que el cuerpo de trama utiliza el modo de una sola portadora C =1), o 1111 que indica el modo multiportadora (C=3780).

Los 36 símbolos de información del sistema y los 3744 de información son multiplexados en un cuerpo de trama. La estructura de dicho cuerpo se muestra en la figura 2.22(General Administration of Quality Supervision 2006).

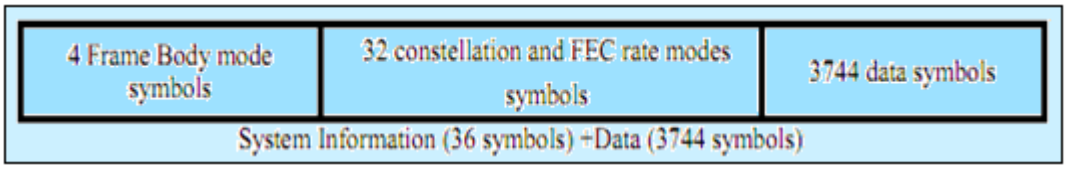



Figura 2.22. Estructura del cuerpo de trama.

### 2.2.10 Procesamiento del cuerpo de trama

El estándar soporta dos modelos de configuraciones, el de una sola portadora y el de múltiple portadora, estos modelos son conseguidos en el bloque de procesamiento del cuerpo de trama. Los datos después de pasar por los bloques de mapeo, entrelazado, información de sistema y cuerpo de trama salen como grupos de 3780 símbolos llamados *X(k).*

En el modo de una sola portadora, el cuerpo de trama es *X(k)* y la tasa de datos es 5.67 Msps. Mientras que en modo de múltiples portadoras *X(k)*tiene que ser procesada e intercalada en el dominio de la frecuencia, dando como resultado 3780 puntos IDFT(siglas en inglés de *Inverse Discrete Fourier Transform*). El propósito del procesamiento en frecuencia es mapear las 3780 portadoras efectivas en el cuerpo de la trama e intercalar los símbolo dentro del cuerpo de la trama. En una canal de 6 MHz el espaciado entre cada portadora es de1.5 KHz por tanto el ancho de banda útil de múltiples portadoras es 5.67 MHz siendo el mismo para el caso de una sola portadora (Mariño 2010). Los símbolos son procesados para formar la trama que será transmitida, para ello se realiza un tratamiento en el dominio del tiempo al encabezado y en el de la frecuencia (OFDM) al flujo de datos del cuerpo de trama, ambos flujos son procesados en el dominio del tiempo (TDS) permitiendo la sincronización.

### 2.2.11 TDS-OFDM (Time Domain Synchronous-Orthogonal Frequency Division-Multiplexing)

#### 2.2.11.1 OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales)

OFDM es un método de modulación donde el espectro asociado a cada dato es una pequeña porción del ancho de banda total, el cual se divide en N sub-canales (Leonardo Jimenez). Cada canal se modula con un símbolo y se multiplexa en frecuencia, la información generalmente es modulada QAM o PSK. Normalmente este tipo de modulación se realiza después de pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión.

Debido al problema técnico que supone la detección y la generación en tiempo continuo de los cientos e incluso miles de portadoras que forman la modulación OFDM, los procesos de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante la IDFT (Transformada Discreta Inversa de Fourier) y la DFT (Transformada Discreta de Fourier) respectivamente.

La modulación OFDM genera una alta tasa de transmisión al dividir el flujo de datos en muchos canales paralelos que se transmiten en igual número de portadoras. Los canales son ortogonales entre sí por lo que se evita el uso de bandas de guarda y se logra un mejor aprovechamiento del espectro. En la figura 2.23 aparece el cambio de dominio del tiempo

al de la frecuencia, logrado a través de la DTF y en la figura 2.24 se muestra la condición de ortogonalidad lograda.

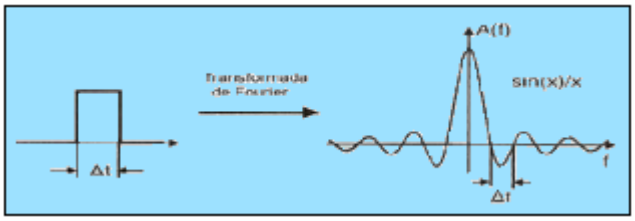



Figura 2.23. Paso del dominio del tiempo al de la frecuencia.

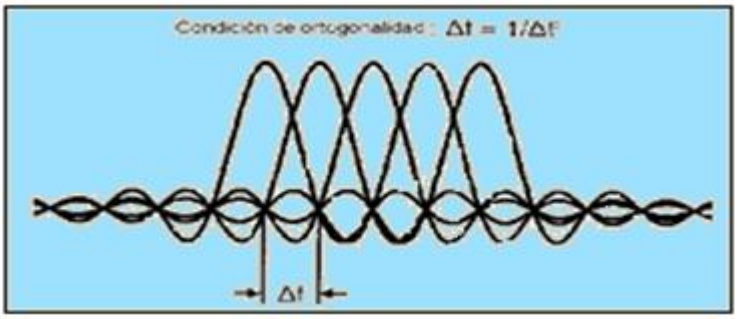



Figura 2.24. Condición de Ortogonalidad.

**2.2.11.2 Modelo TDS-OFDM**

Características técnicas:

- Tecnología de procesamiento de señal avanzada en el dominio del tiempo y de la frecuencia.
- Intervalo de guarda utilizado para la protección contra multitrayecto, así como para la identificación de trama, la adquisición de señal, la recuperación de la portadora y del tiempo de símbolo y la estimación de canal.
- El flujo de la secuencia binaria pseudoaleatoria es definido en el dominio del tiempo y el flujo de datos en el dominio de la frecuencia. Ambos flujos son multiplexados en el dominio del tiempo, permitiendo la sincronización en dicho dominio (TDS).

Como se muestra en la figura 2.25, en el transmisor los 3780 símbolos del cuerpo de trama son modulados en 3780 sub-portadoras, se introducen las secuencias PN que son generadas y moduladas en BPSK y finalmente se realiza la composición de los símbolos TDS-OFDM. Este proceso de añadir la secuencia PN a los símbolos provenientes del procesamiento de cuerpo de trama se le conoce como “Framing” y se muestra en la figura

2.26. En el receptor se remueven las secuencias PN y se realiza la demodulación utilizando la DFT. (Mariño 2010).

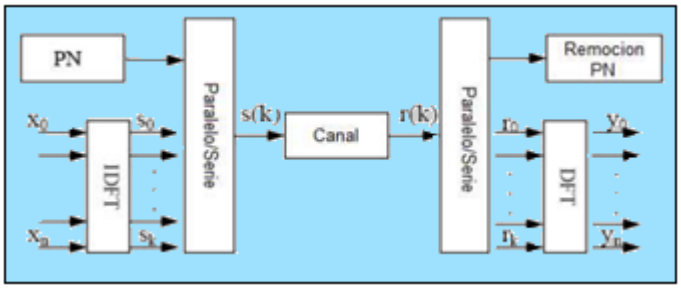



Figura 2.25. Utilización de la DFT y la IDFT.

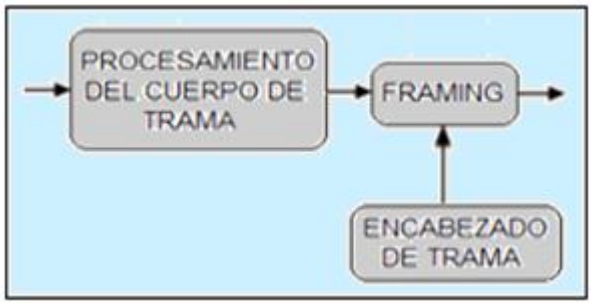



Figura 2.26. Framing.

### 2.2.12 Procesamiento en banda base

Después de la creación de la trama de datos, se hace necesario que esta pase por un filtro para finalmente conseguir la salida de datos en banda base como se muestra en la figura 2.27, en este caso la norma especifica que el tipo de filtro utilizado debe ser un SRRC (siglas en inglés de *Square Root Raised Cosine Filter*). El factor de roll-off del SRRC es 0.05. Este término está muy relacionado con el intervalo que hay que dejar para evitar la interferencia co-canal. La respuesta de frecuencia del filtro se muestra en la figura C.1 en el Anexo D (General Administration of Quality Supervision 2006).

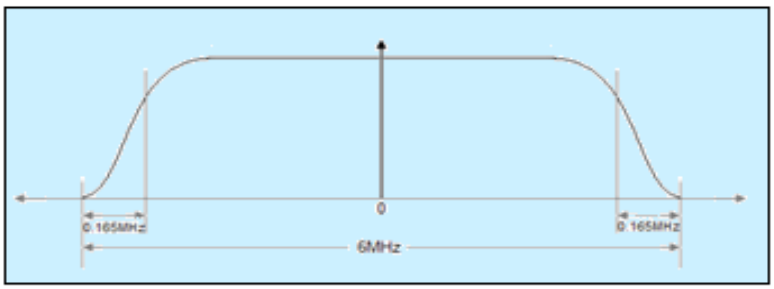



Figura 2.27. Salida de datos en banda base.

### 2.2.13 Up-Converter (Conversión en frecuencia)

La conversión en frecuencia hacia la banda de VHF o UHF es el último paso antes de transmitir la señal, esta conversión implica que el ancho de banda de la señal sea de 6 MHz. Las frecuencias a las cuales han de ser trasladadas están determinadas por el órgano rector de las comunicaciones en el país. También antes de transmitir la señal se aplican otros procedimientos como la amplificación utilizando siempre amplificadores lineales para preservar las propiedades de la señal (Mariño 2010). En el caso del transmisor se utilizan varios amplificadores por separado y luego se utiliza un dispositivo sumador para alcanzar la máxima ganancia.

### 2.2.14 Carga útil de datos en banda base

La carga útil de datos en el estándar DTMB está dada por la siguiente ecuación:

$$Rate = \frac{3744}{PN + 3780} \times Ri \times Rm \times Fb\ (Mbps)$$

Donde:

$Fb$: Es el ancho de banda útil del canal

$8MHz \rightarrow Fb = 7.56MHz$

$6MHz \rightarrow Fb = 5.67MHz$

$Rm$: Es la eficiencia, que depende de la modulación a utilizarse, esta se muestra en la figura 2.28.

| 4 QAM-NR | 4 QAM | 16 QAM | 32 QAM | 64 QAM |
|---|---|---|---|---|
| 1bit | 2bits | 4bits | 5bits | 6bits |

Figura 2.28. Cantidad de bit para cada modulación QAM

$Ri$: Está dada por la razón de codificación FEC(Mariño 2010).

$$0.4 \approx \frac{3008}{7488}; 0.6 \approx \frac{4512}{7488}; 0.8 \approx \frac{6016}{7488}$$

En el anexo C se muestran las distintas razones binarias que se pueden lograr en el estándar para canalización de 6 MHz donde se observa que la elección de un esquema de modulación, una razón de codificación y de un modo de entrelazado en particular pueden propiciar aproximadamente más de 30 razones.

## 2.3 Conclusiones parciales

En este capítulo fue abordado el funcionamiento del esquema de transmisión de la norma china DTMB, se hizo un análisis de cada uno de los bloques que conforman dicho esquema, se pudo constatar que esta norma presenta herramientas compleja y poco vulnerables como es la combinación que constituyen LDPC y BCH en la codificación del canal y el esquema de modulación TDS-OFDM que hace un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico.

# CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL TRANSMISOR DE TELEVISIÓN DIGITAL DE UHF DE 500W/1KW

## 3.1 Descripción general

Este transmisor admite una potencia de salida digital máxima de hasta 1kW y se acoge a la norma digital china DTMB. El mismo posee las siguientes características:

- En su diseño se utilizaron transistores LDMOS (Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductor) de última generación con una alta linealidad y eficiencia. En los amplificadores de potencia se utilizaron LDMOS BLF878 Philips.
- Para el trabajo en zonas de altitud se utiliza simulación por software para diseñar el sistema de enfriamiento, para esto se tienen en cuenta parámetros como la densidad y el volumen del aire, este sistema está diseñado para trabajar hasta en alturas superiores a los 4000m.
- Cuenta con módulos de amplificadores intercambiables, fáciles de ensamblar y de dar mantenimiento. La potencia de salida del transmisor (500W/1kW) se logra combinando tres o cinco módulos de amplificadores, el sistema cuenta con un sistema de alarmas y una protección de salida que se activa automáticamente cuando un módulo falla, además tiene también protección contra sobre-voltaje, sobre-corriente y exceso de temperatura. Dependiendo de la magnitud de la falla los amplificadores toman medidas instantáneas como son bajar los niveles de potencia o apagar las fuentes de alimentación. Con el objetivo de garantizar la ganancia amplificadora y la coherencia de fase se utilizan dos potenciómetros reguladores que se encuentran en el panel de amplificación.
- Utiliza fuentes de alimentación conmutadas de alta eficiencia, de pequeños tamaños y fáciles de maniobrar, la eficiencia de dichas fuentes supera el 93%.
- Cuenta con tecnología patentada para el sintetizador de potencia con bajas perdidas.
- Posee un sistema de monitoreo computarizado avanzado, con este tipo de control se puede proceder al apagado o encendido del transmisor de forma local o remota, siempre teniendo en cuenta el estado del mismo, además el acceso a distancia se puede lograr a través de una interfaz web.

- Tiene un sistema de protección anti-descargas eléctricas que utiliza una variedad de opciones para lograr este propósito, previniendo que la descarga se introduzca en las líneas de alimentación. Para la protección cuenta de tres pasos, primero cuenta con un dispositivo Siemens que absorbe la mayor parte de la energía del trueno, como segundo cada entrada de los módulos de alimentación está equipado con un varistor que permite la reabsorción. Finalmente cada puerto de señal tiene un diodo de descarga rápida que absorbe lo que queda de la descarga y de otros pulsos eléctricos.
- Cuenta con un par de excitadores, estos son considerados como una de las partes más importantes del transmisor pues en ellos se realizan operaciones como la codificación FEC, entrelazado, modulación etc. Se utiliza una configuración de dos excitadores con el objetivo de que cuando se produzca algún tipo de fallo en una la otra se active automáticamente y comience a funcionar sin dejar de ofrecer servicio. Esta conmutación también se puede realizar de forma manual si así se desea.
- Cuenta con una estructura compacta y de pequeñas dimensiones. El transmisor adopta una estructura modular, el uso de lo último en lo que a transistores de potencia respecta posibilita la optimización del diseño(Co 2012).

## 3.2 Especificaciones técnicas

### 3.2.1 Especificaciones generales

- Potencia de salida digital: 500W/1kW
- Rango de frecuencia: 470-862 MHz
- Estándar de Televisión: DTMB
- Altitud: ≥ 4000m
- Temperatura de operación: 0ºC a +50ºC
- Humedad relativa: 95%
- Requerimientos de potencia
  - Fuente de voltaje trifásica: 380V AC.
  - Frecuencia: 60 Hz.
  - Corrección del factor de potencia: 0.98.
- Dimensiones (A×L×H): 570×960×1900 mm

- Conectores de salida: 50 Ω 1 5/8 EIA o 3/8 EIA

## 3.3 Especificaciones de desempeño digital

- Modo digital
  - Estándar de modulación: DTMB
  - Ancho de banda: 6MHz, 8MHz
  - Modulación: QPSK, 4QAM-NR, 4QAM, 16QAM, 32QAM, 64QAM
- Interfaces de entrada
  - Señal de entrada: 2×ASI
  - Impedancia de entrada: 75 Ω
- Parámetros de salida
  - MER: 33 dB
  - Espurias: ≤ -60dB

## 3.4 Descripción del transmisor

### 3.4.1 Composición

El transmisor consiste de dos excitadores, una unidad central de control, una de enlace, amplificadores de potencia, unidades de alimentación conmutadas, una unidad de adquisición de datos, un splitter, un combinador y dispositivos de salida(Co 2012).

### 3.4.2 Principio de operación

Para el modo de televisión digital la señal de entrada es transportada en un formato MPEG-2 (TS). Después de la codificación de canal y modulación en el excitador, se procede a la formación de la señal en banda base, luego se realiza la conversión de frecuencia, después se procede a la amplificación de potencia y la obtención de la máxima deseada, luego se filtra la señal en el ancho de banda requerido y se procede a la transmisión. El diagrama en bloques del transmisor se muestra en la figura 3.1. El excitador en líneas discontinuas indica que esta en modo de espera, que entrará a funcionar en caso de que ocurra alguna falla en el excitador 1.

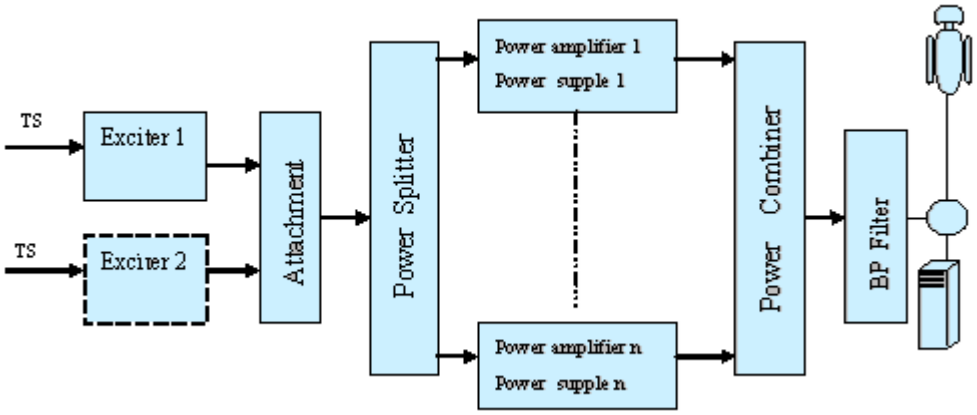



Figura 3.1. Diagrama en bloques del transmisor

## 3.5 Descripción de las principales unidades

### 3.5.1 Excitador

El excitador es el núcleo del transmisor de TV digital, sus parámetros ejercen influencia directa sobre el rendimiento del sistema. El mismo comprende el procesamiento en banda base según la regla GB 20600-2006. El diagrama del excitador se muestra en la figura 3.2.

- Características
  - Soporta anchos de banda de 6 y 8 MHz
  - La técnica de procesamiento de señal se puede realizar de forma automática.
  - El procesamiento de señal basado en FPGA puede utilizar tanto corrección lineal como no lineal.
  - Para el excitador es conveniente tener como referencia una fuente externa, de lo contrario él activa su propia fuente de referencia interna, este cambio se puede realizar de forma manual o automática.
  - Soporta el modo de operación SFN (siglas en inglés de *Single Frequency Network*)
  - Puede ser controlado a distancia a través de una interfaz de red.
  - Es un sistema simple, abierto al uso de interfaces, con monitoreo, sistemas de alarmas etc (Co 2012).

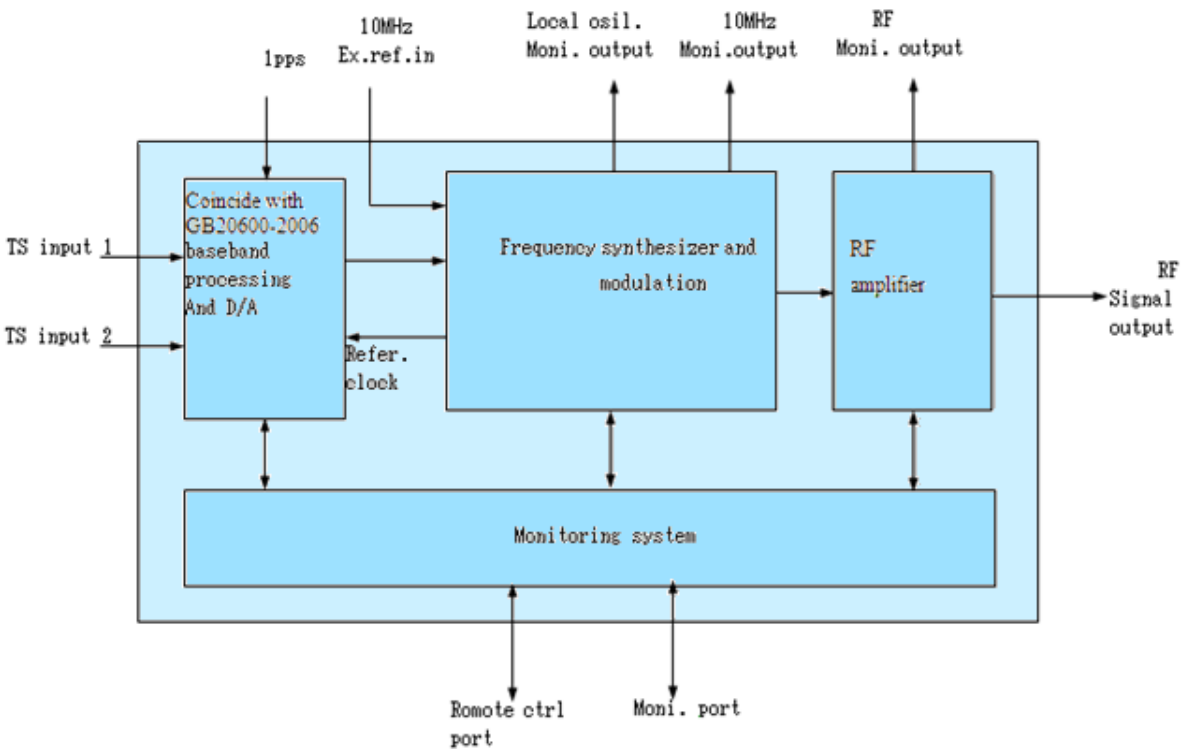



Figura 3.2 Diagrama del excitador.

Para un mayor entendimiento y comprensión del funcionamiento del excitador consultar el capítulo 2, ya que el mismo realiza las funciones allí expuestas.

➢ Funciones y especificaciones técnicas

*Cadena de entrada TS*

- 2 canales de entrada ASI, conmutados manual o automáticamente.
- Interfaz de entrada BNC hembra con 75 Ω de impedancia.

*Modulación y codificación de canal*

- Ancho de banda efectivo: 5.67 MHz(6MHz) y 7.56MHz(8MHz)
- Constelaciones: QPSK, 4QAM-NR, 4QAM, 16QAM, 32QAM, 64QAM.
- Código LDPC: 0.4, 0.6, 0.8.
- Intervalo de guarda: 1/9, 1/6, 1/4
- Número de portadoras: 1, 3780
- Modos de entrelazado: 240, 720

*Salida RF*

- Rango de frecuencia: 470-860 MHz
- Pérdidas por reflexión: >26dB
- Interfaz de salida BNC hembra con 50 Ω de impedancia.

➢ Reloj de referencia

- Externo: 10MHz, nivel de entrada TTL
- Interno: 10MHz, estabilidad <±10ppm

➢ Modo de control

*Control local*

- Cuenta con 6 botones para controlar el mal funcionamiento en el panel trasero.
- Tiene un botón de RESET integrado al panel trasero
- Tiene un panel trasero LCD.

*Control remoto*

- A través de una interfaz de red con conector RJ-45(Co 2012).

#### 3.5.1.1 Modo de operación

Cuando el sistema se inicia aparece en el display un mensaje como el que se muestra en la siguiente figura.

Figura 3.3 Mensaje de inicialización.

Instantes más tardes aparece en el display el estado del excitador, es decir, se muestran todos los parámetros y su configuración actual, parámetros como son la frecuencia de transmisión, la modulación utilizada etc. Un ejemplo se muestra en la figura 3.4.

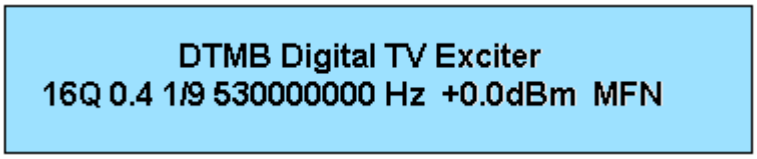



Figura 3.4 Parámetros iniciales del excitador.

Si se desea cambiar alguna de las variables de transmisión debido a las necesidades que se tenga hay que remitirse a los botones que aparecen en el panel de configuración (Down, Up, Left, Right, Enter, RF on/off) que son los destinados para realizar dichos cambios, dichas teclas así como sus funciones serán mencionadas a continuación.

- DOWN

Este botón tiene dos funciones principales:

- Presionándolo se puede acceder uno de los tres sub-estados del menú, realizando una vez la operación se accede al primer sub-estado del menú y realizándola dos veces se accede al segundo, para entrar al tercer sub-estado solo hay que realizar la misma operación por tercera vez.
- Este último incluye funciones como el ajuste de la demora, potencia de salida y la frecuencia de operación. Para cambiar uno de estos parámetros solo hay que colocar el cursor sobre el mismo, presionar ENTER para la selección y con las teclas UP y DOWN incrementar o decrementar dependiendo de lo que se quiera.

- UP

Este botón tiene dos funciones principales:

- Cuando se haya accedido a uno de los sub-estados del menú se puede llegar al sub-estado previo presionando esta tecla.
- Si se está dentro del tercer sub-estado y se ha seleccionado el parámetro a cambiar se presiona este botón para aumentar el valor del mismo.

- LEFT & RIGHT

Su función principal es la de desplazar el cursor dentro del tercer sub-estado aunque también se utiliza para desplazarse de uno determinado.

- ENTER

Su función principal es la de seleccionar el parámetro que se quiere modificar aunque también se utiliza para monitorear el estado de trabajo del excitador.

- RF on/off

Este botón se utiliza para permitir o denegar la salida de RF, como indicador se utiliza un LED que de estar encendido indica que la salida de RF esta activada y si está apagado indica que la salida de RF está desactivada(Co 2012).

Otros aspectos de funcionamiento y mantenimiento del excitador son tratados en el manual del transmisor.

### 3.5.2 Enlace(Attachment)

Esta unidad tiene dos funciones principales:

- Detección de fallas en el excitador.
- Cambio a la opción de Stand-by.

### 3.5.3 Módulos de amplificadores de potencia

Los amplificadores de potencia son operados en la banda de UHF con una alta ganancia. Cada módulo de amplificación está compuesto por tres etapas amplificadoras y se utiliza una técnica de combinación de potencia a la salida de cada bloque a fin de lograr un nivel elevado de la misma, la ganancia total es de 36dB. En la figura 3.5se muestra el circuito de amplificación y en la 3.6 una imagen de un módulo de amplificación.

Estos amplificadores están equipados con un sistema de protección y control, estos módulos se muestran en el anexo E. La fuente de alimentación de los mismos es de 40V DC. En este sistema es imprescindible el enfriamiento.

- Parámetros técnicos

  *Generales*

  - Ganancia ≥ 36dB
  - Rango de frecuencia: 470 – 862 MHz
  - Fase: -20º (referencia)
  - Impedancia de entrada: 50 Ω (conector tipo N)
  - Pérdidas por retorno a la entrada: 18dB
  - Impedancia de salida: 50 Ω (conector 7/8”)
  - Pérdidas por retorno a la salida: 18 dB
  - Fuente de alimentación: +40V/50A

Los módulos de amplificadores de potencia cuentan con cuatro partes:

- Circuito de amplificadores de potencia.
- Divisor de potencia y circuito combinador.

- Circuito de control.
- Display y circuito de protección.

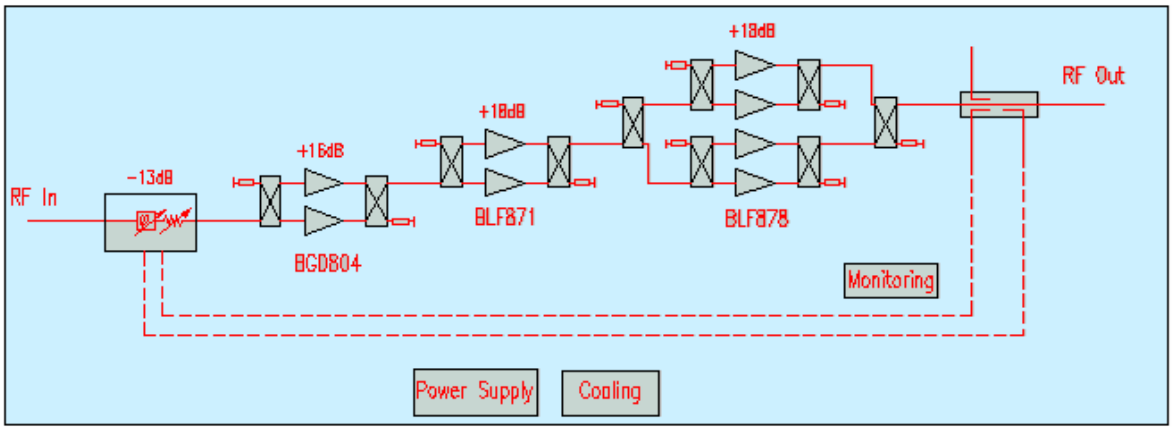



Figura 3.5. Diagrama de los amplificadores de potencia.

➢ Etapas amplificadoras

El amplificador consiste de tres etapas, el primer estado es un amplificador clase A y el transistor utilizado es un BGD804 como se muestra en la figura 3.3. La segunda y tercera etapas están constituidas por amplificadores clase AB con transistores BLF871 y BLF878 respectivamente. La frecuencia del BGD804 está entre 40 y 860MHz, su ganancia es de 19 dB con un voltaje de alimentación de +24V DC y una corriente de 410mA. En el caso del BLF871 requiere de +42V DC y la ganancia de su etapa es de más de 18 dB, el BLF878 necesita +52V DC y su ganancia al igual que la etapa anterior es de más de 18dB. En el anexo E. se muestran los diferentes amplificadores(Co 2012).

Figura 3.6. Módulo de amplificación.

#### 3.5.3.1 Splitter y combinador de potencia

Para la división y combinación de potencia en cada una de las etapas amplificadoras se utilizan acopladores de 3dB. En el anexo E. se muestran imágenes de estas unidades.

### 3.5.4 Unidad de distribución.

Su función es la de distribuir la alimentación a las diferentes unidades funcionales, entre ellas se encuentran los excitadores, las fuentes conmutadas y a la unidad central de control. En la siguiente figura se muestra una unidad de distribución.

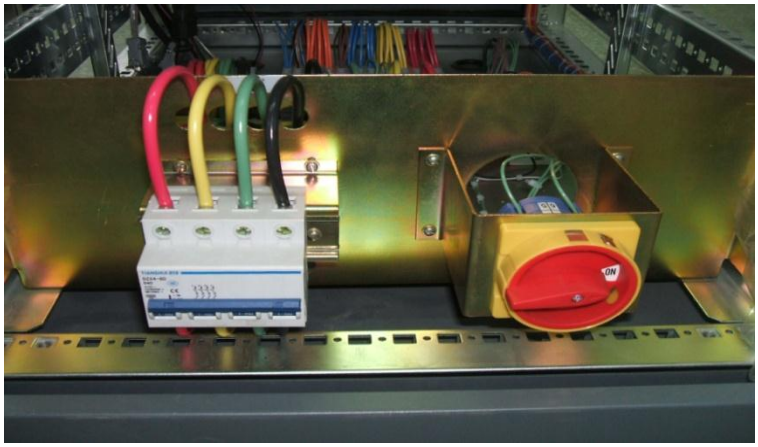


Figura 3.7. Unidad de distribución.

### 3.5.5 Unidad central de control

#### 3.5.5.1 Características generales

El sistema de monitoreo y control de este transmisor cuenta con un display de control, una unidad de control de adquisición y una de adquisición de estado. También se le incorpora una nueva generación de controladores ARM9 (siglas en inglés de *Advanced RISC Machine 9*), un panel LCD y una interfaz para el control remoto. El display se utiliza para mostrar el estado actual y las fallas que ocurren en el transmisor así como las respuestas a las operaciones del usuario. El sistema puede ser operado a través de una pantalla táctil o del teclado.

#### 3.5.5.2 Interfaz principal

La interfaz principal puede estar inicializándose por un tiempo de 2 ó 3 segundos, luego esta carga el sistema de monitoreo del transmisor a fin de observar el comportamiento de

cada uno de, los módulos que conforman el mismo. En la figura 3.8 se muestra la interfaz principal.

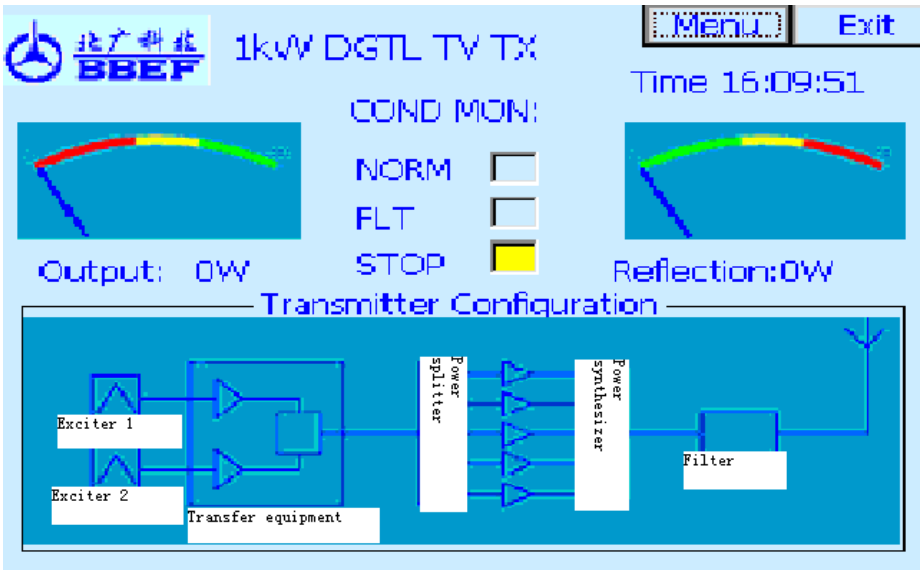



Figura 3.8. Interfaz principal.

En esta interfaz se utilizan distintos colores para mostrar los diferentes estados de los módulos, por ejemplo el color verde indica un correcto funcionamiento, el rojo indica que ha ocurrido una falla y el amarillo indica que el módulo no está trabajando. A ambos lados del display aparecen indicaciones de la potencia transmitida y la reflejada y debajo aparecen los respectivos valores de dichas potencias (ver fig. 3.8). En el caso de que la indicación a ambos lados del display se encuentre sobre el color verde el funcionamiento es normal (razón de potencia de salida de más del 90%), si el señalamiento se encuentra sobre el color amarillo indica un estado crítico del transmisor y en el caso de que el color del señalamiento sea el rojo entonces la potencia reflejada se encuentra muy por encima de la transmitida y hay que proceder al chequeo del hardware del transmisor(Co 2012).

### 3.5.5.3 Menú

Para acceder al menú del sistema solo hay que tocar en la pantalla táctil el botón con dicho nombre, luego de entrar al menú se puede ver el estado del transmisor y operar sobre el mismo, si dentro de las opciones hay alguna que tiene una flecha a su derecha se está representando que existe un sub-menú (seis en total) al que se puede acceder. En la figura 3.9 se expone la idea antes mencionada.

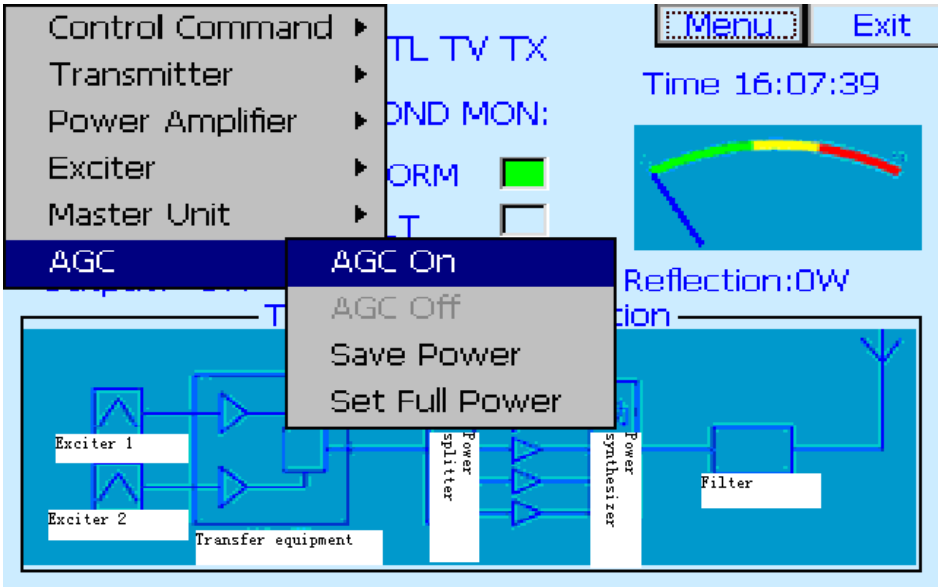



Figura 3.9. Menú principal.

A continuación serán tratados algunos de los menús secundarios que se muestran en la figura anterior.

- Sub-menú COMANDOS DE CONTROL (CONTROL COMMAND): En este se pueden ejecutar operaciones como el encendido, apagado, reset, cambio de antena, cambio de carga o de excitadores. En la figura 3.10 se ilustra este menú secundario.

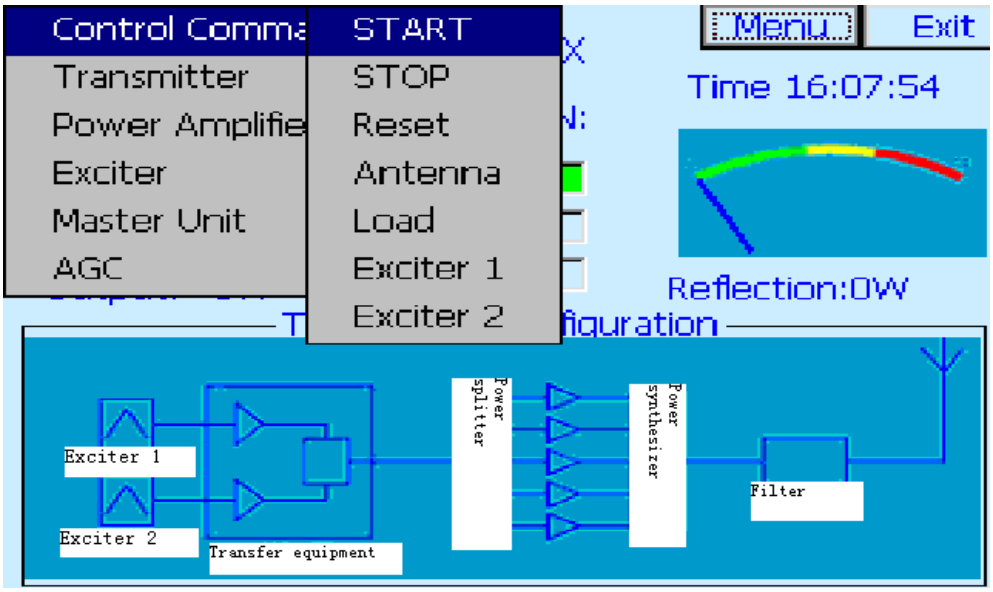



Figura 3.10.Comandos de control.

- Sub-menú TRANSMISOR (TRANSMITTER): En él se puede ver el estado del transmisor así como el historial de fallas del mismo, el mismo se puede ver en la siguiente figura.

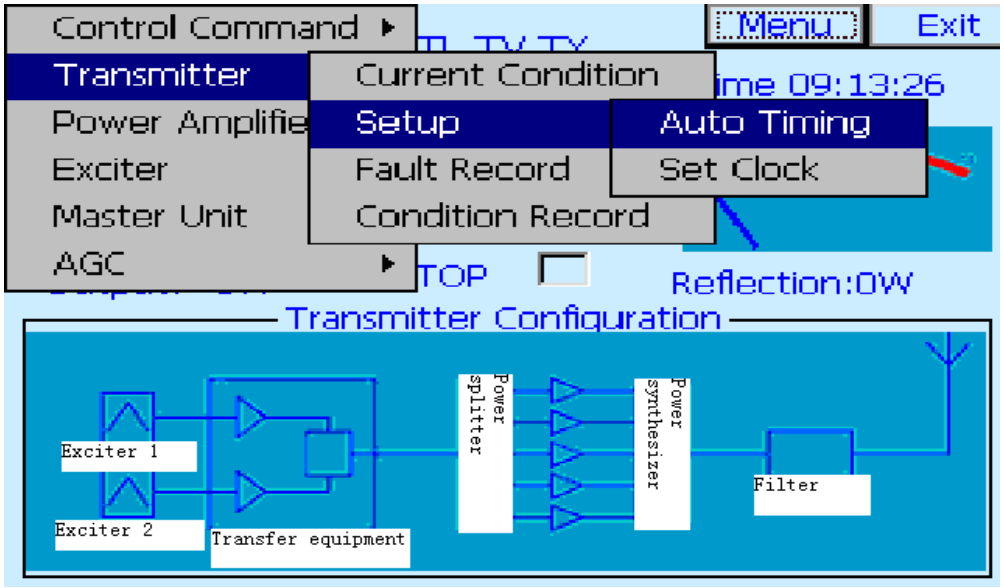



Figura 3.11. Sub-menú Transmisor.

- Sub-menú AMPLIFICADOR DE POTENCIA (POWER AMPLIFIER): En él se puede ver el estado de los módulos de amplificadores así como el historial de datos de los mismos, en la siguiente figura se ilustra dicho sub-menú.

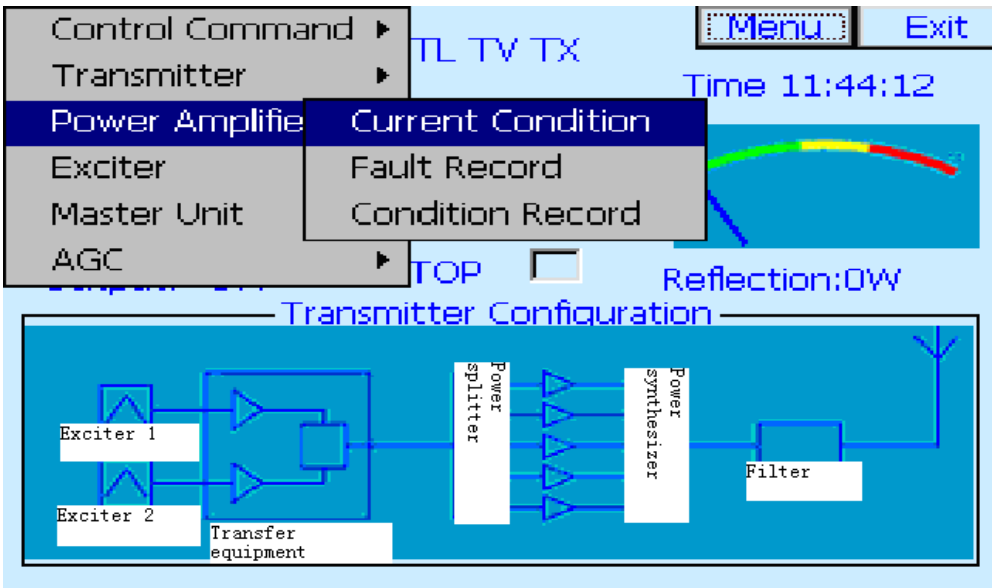



Figura 3.12. Sub-menú Amplificador de potencia.

- Sub-menú UNIDAD MÁSTER (MASTER UNIT MENU): En este se muestra

información de hardware y software del sistema de monitoreo a distancia (direcciones IP, máscaras de subred etc.).

Los menús secundarios AGC y EXCITADOR muestran información y opciones de los mismos, como son las modulaciones utilizadas, las variantes de entrelazado y el control de potencia de salida(Co 2012).

### 3.5.5.4 Control remoto

Para el control a distancia se le asigna una dirección IP de entrada al transmisor, por defecto se tiene que la dirección es "192.167.0.104" aunque puede ser cambiada en dependencia de lo que se quiera. También para acceder al transmisor se utiliza un sistema de supervisión de entrada que pide datos como son el usuario y la contraseña por defecto el usuario es "bbef" y la contraseña "1234", este sistema se muestra en la figura 3.13.

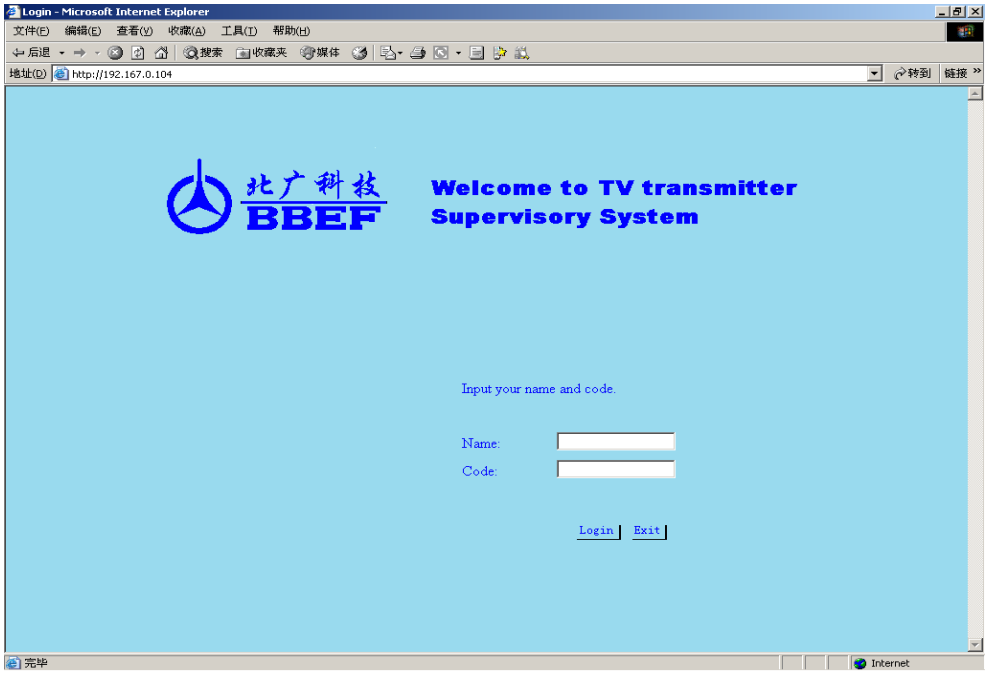



Figura 3.13. Sistema de supervisión.

Luego de lograr acceder se muestra una interfaz que a través de ella es que se trabaja, dicha interfaz se muestra en la figura 3.14.

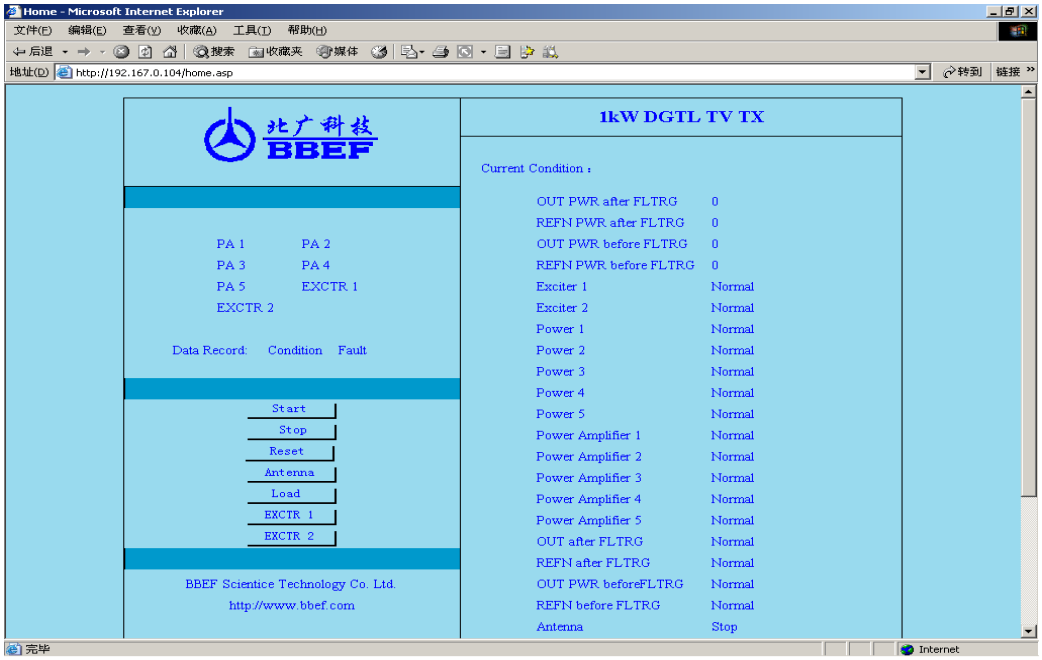



Figura 3.14. Interfaz de trabajo a distancia.

## 3.6 Conclusiones parciales

En este capítulo se abordó el funcionamiento del transmisor de televisión digital de UHF de 500W/1kW instalado en Santa Clara así como las potencialidades que el mismo ofrece. También se abordan tópicos como son su estructura interna y su manejo a distancias a través de interfaces IP. Puede concluirse que este transmisor tiene características que permiten un fácil manejo y control, además de permitir dar una respuesta rápida ante cualquier fallo que pueda ocurrir durante la transmisión.

# CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó el estudio sobre el funcionamiento del estándar de televisión digital DTMB, fueron abordados tópicos como los mecanismos de codificación de audio y video, el funcionamiento del esquema de transmisión utilizado en la norma y las potencialidades del transmisor instalado en Santa Clara, pudiendo arribar a las siguientes conclusiones:

- Las técnicas de codificación audiovisual utilizadas (MPEG-2, MPEG-4, AVS) posibilitan mantener una calidad adecuada en las señales e implementar variantes de SDTV y HDTV logrando un adecuado uso del espectro radioeléctrico y logrando una compatibilidad con las interfaces de entrada del transmisor.
- Esta norma tiene incluidas herramientas que la colocan en una buena posición entre el resto de los estándares como son la robusta combinación que constituyen LDPC y BCH en la codificación de canal, la realización de un entrelazado en el tiempo que logra que ante un error en ráfaga no se afecten símbolos consecutivos de la secuencia original y el esquema de modulación TDS-OFDM que permite hacer un mejor uso del espectro.
- De forma general el estándar DTMB constituye una tecnología fuerte, fácil de operar y que se adapta bien a las condiciones de nuestro país.
- Quedó confeccionado un documento que aglutina basamentos teóricos sobre codificación de fuente, codificación de canal y transmisión así como características operativas y de funcionamiento del transmisor que será útil al personal de Radio Cuba en su preparación y asimilación de esta nueva tecnología.

# RECOMENDACIONES

Se recomiendan los siguientes aspectos:

- Profundizar más en el estudio del estándar DTMB, haciendo énfasis en aspectos que no hayan sido tratados en el presente documento.
- Perfeccionar la relación Radio Cuba-UCLV de manera que los estudiantes puedan plantearse problemas de investigación producto de las necesidades que puedan existir en la empresa.
- Propiciar con mayor fuerza que los estudiantes de Ing. En Telecomunicaciones y Electrónica conozcan las tecnologías con que se trabaja en Radio-Cuba.
- La realización de una tesis de grado que abarque la parte de recepción en el estándar, incluyendo el funcionamiento de receptores que trabajen según la norma y de las cajas decodificadoras que se les instalan a los receptores analógicos.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

André Neubauer, J. F., Volker Kuhn (2007). Coding Theory. Algorithms, Architectures, and Applications. England, John Wiley&Sons, Ltd.

Co, B. B. S. T. (2012). UHF 500W/1kW Digital TV Transmitter. Beijing.

Cruz, J. N. A. (2006). Introdución a la Tecnología de video moderna. Pachuca Hidalgo, Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.

Enrici, M. C. (2005). La Televisión Digital: Fundamentos y teorías.

Forney, G. D., N.J.A. Sloane, and M.D. Trott (2001). The Nordstrom-Robinson Code is the Binary Image of the Octacode. .

General Administration of Quality Supervision, I. a. Q. o. t. P. s. R. o. C. (2006). Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System (DTMB) Standardization Administration of the People's Republic of China.

Jayant, N. (1999). Digital Audio Communications, Bell Laboratories, Lucent technologies.

Leiner, B. M. J. (2005). LDPC Codes – a brief Tutorial.

Leonardo Jimenez, J. P., Carlos Quiza, Carlos Suarez Modulación Multiportadora OFDM.

Marcelo Tenorio, P. N. d. C., Edgardo Marchi, Marcos Cervetto (2010). Curso Introductorio a la Televisión Digital Terrestre, Instituto Nacional de Tecnologia de Argentina.

Mariño, P. A. C. (2010). Estudio del Estándar de Televisión Digital Terrestre DTMB y Propuesta de Reglamento para la prestación del servicio de Televisión Digital Terrestre en el Ecuador. Facultad de Ingienería Eléctrica y Electrónica. Quito, Escuela Politécnica Nacional.

Martínez, D. F. (2012). Estudio comparativo de los estándares de TV digital para su implementación en Cuba. Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones Santa Clara, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Rodríguez, A. R. D. y. L. G. R. (2011). Diseño del Aleatorizador, la Codificación de Canal, Mapeo y Entrelazado de un modulador DTMB. . Instituto de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones. Habana, Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría.

Ronald de Bruin, J. S. (1999). Digital Video Broadcasting. Technology, Standards and Regulations. Eindhoven, The Netherlands.

Tomasi, W. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas, Pearson educación.

University, Z. D. i. a. D. t. R. D. c. o. T. (2008). Chinese Terrestrial DTV Chinese Terrestrial DTV standard DTMB, Prof. Pan Changyong.

Watkinson, J. (2001). The MPEG Handbook MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4. Oxford, Butterworth-Heinemann Linacre House.

Zhixing, Y. (2007). Technologies, Performance, Intellectual Property, and Applications of Chinese DTTB standard, Tsinghua University.

# ANEXOS

## Anexo A. Estructura de trama MPEG-2

La tabla A.1 muestra las funciones de los campos que conforman el encabezado MPEG-2.

| Campo | Definición (comentario) | N□ de bits |
|---|---|---|
| sync_byte | byte de sincronización 1000 0111 (47 hex) | 8 |
| ei | transport_error_indicator (indica un error detectado mas atrás) | 1 |
| pusi | payload_unit_start_indicator (inicio de PES en el paquete) | 1 |
| tpr | transport_priority (indicador de prioridad) | 1 |
| PID | Packet IDentifier (identificación del paquete) | 13 |
| scr_flags | transport_scrambling_flags (tipo de cifrado de transporte) | 2 |
| af | adaptation_field_flag (campo de adaptación en el paquete) | 1 |
| pf | payload_flag (datos útiles en el paquete) | 1 |
| Cc | continuity_counter (contador de continuidad entre trozos) | 4 |

Tabla A.1. Campos del encabezado MPEG-2.

La tabla A.2 muestra los campos que conforman al de adaptación.

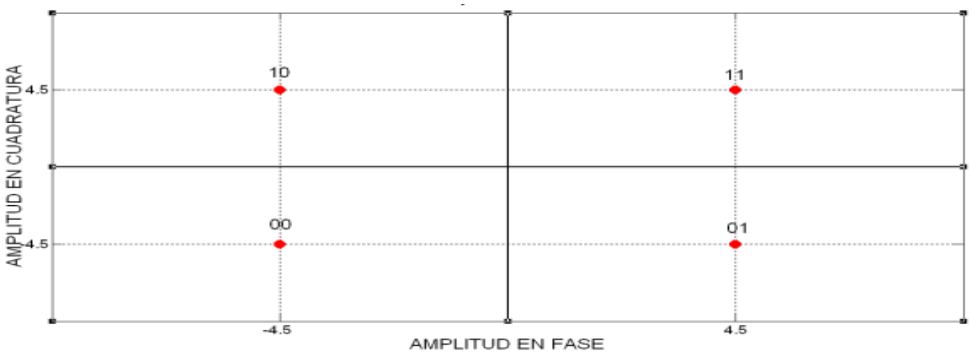
| Campo | Definición | N□ de bits |
|---|---|---|
| adaptation_field_length | longitud total en bytes, menos 1 (y) | 8 |
| flags | marcadores que indican la información transportada | 8 |
| optional_fields | campos opcionales de datos (x bytes) | $x \times 8$ |
| stuffing | campo de relleno (y-1-x bytes de valor FF hex) | $(y-1-x) \times 8$ |

Tabla A.2 Funciones dentro del campo de adaptación.

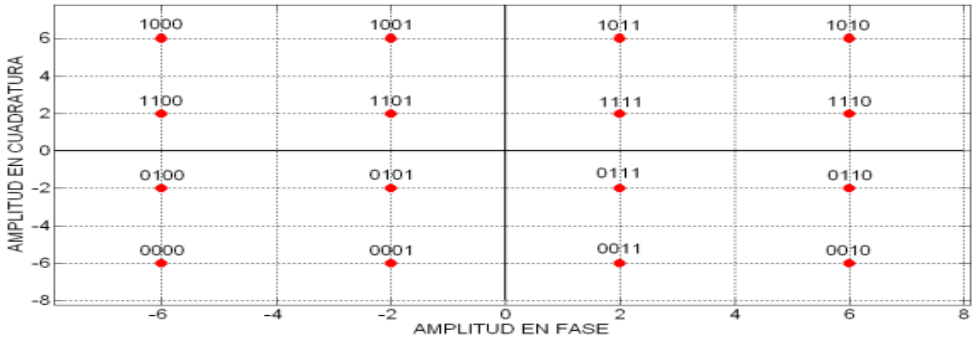
## Anexo B.Constelaciones 4QAM, 16QAM, 32QAM, 64QAM y QPSK

La **Figura B.1** muestra las constelaciones nQAM que especifica la norma DTMB.

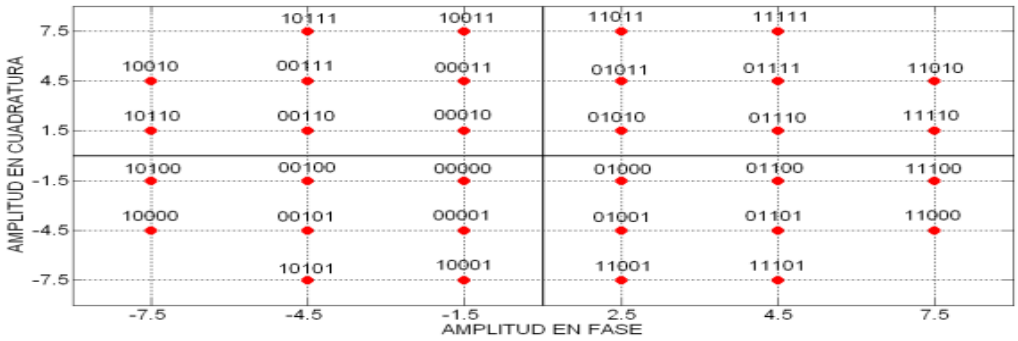
Mapeo 4QAM




Mapeo 16QAM




Mapeo 32QAM



Mapeo 64QAM

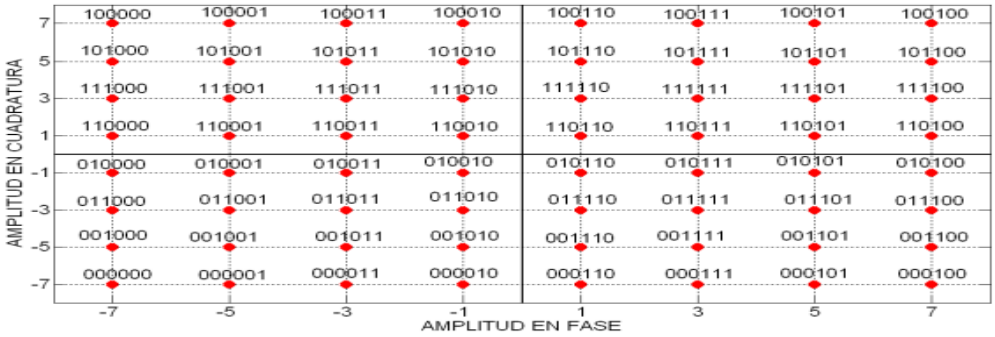



**Figura B.1** Constelaciones que especifica la norma.

La **Figura B.2** muestra el esquema de un modulador QPSK.

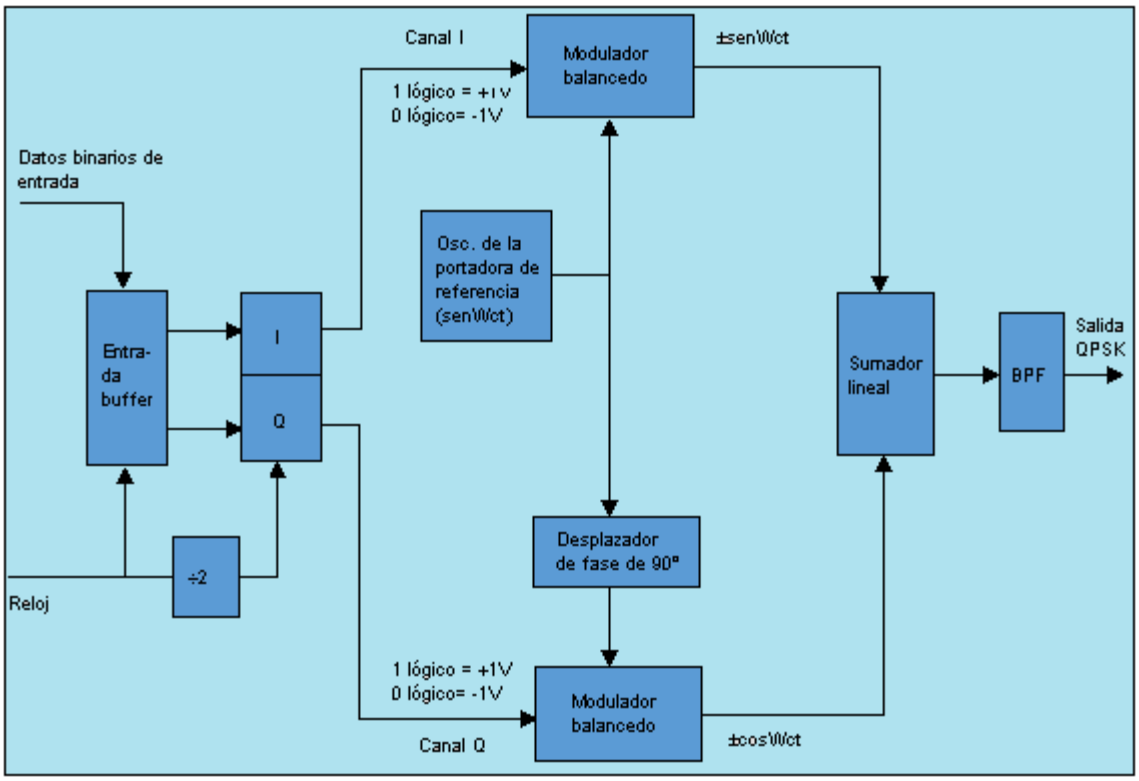



**Figura B.2** Esquema de un modulador QPSK.

## Anexo C. Datos de Información del sistema y razones binarias

La **Tabla C.1** muestra la función de los bits de información del sistema (s3s2s1s0)

| $s_3s_2s_1s_0$ | Definition |
|---|---|
| 0000 | Head frame indicator of Super Frame with odd frame number. |
| 0001 | 4QAM, LDPC rate 1 |
| 0010 | 4QAM, LDPC rate 2 |
| 0011 | 4QAM, LDPC rate 3 |
| 0100 | Reserved |
| 0101 | Reserved |
| 0110 | Reserved |
| 0111 | 4QAM-NR, LDPC rate 3 |
| 1000 | Reserved |
| 1001 | 16QAM, LDPC rate 1 |
| 1010 | 16QAM, LDPC rate 2 |
| 1011 | 16QAM, LDPC rate 3 |
| 1100 | 32QAM, LDPC rate 3 |
| 1101 | 64QAM, LDPC rate 1 |
| 1110 | 64QAM, LDPC rate 2 |
| 1111 | 64QAM, LDPC rate 3 |

**Tabla C.1**. Bits de información del sistema (s3s2s1s0).

La **Tabla C.2** muestra la función del bit s4.

| $s_4$ | Definition |
|---|---|
| 0 | Interleaving mode 1 |
| 1 | Interleaving mode 2 |

**Tabla C.2.** Bit de información s4.

La **Tabla C.3** muestra los 64 vectores de información del sistema.

| Number | System Information | Definition |
|---|---|---|
| 1 | 00011110101011100100100010110011 | Head frame indicator of Super Frame with odd frame number. |
| 2 | 11100001010100011011011101001100 | Head frame indicator of Super Frame with even frame number. |
| 3 | 01111000110010000010111011010101 | 4QAM-NR, LDPC Rate of 0.8,Interleaving mode 1 |
| 4 | 10000111001101111101000100101010 | 4QAM-NR, LDPC Rate of 0.8,Interleaving mode 2 |
| 5 | 01110111110001110010000111011010 | 4QAM, LDPC Rate of 0.4,Interleaving mode1 |
| 6 | 10001000001110001101111000100101 | 4QAM, LDPC Rate of 0.4，Interleaving mode 2 |
| 7 | 00100010100100100111010010001111 | 4QAM, LDPC Rate of 0.6，Interleaving mode 1 |
| 8 | 11011101011011011000101101110000 | 4QAM, LDPC Rate of 0.6，Interleaving mode 2 |
| 9 | 01001011111110110001110111100110 | 4QAM, LDPC Rate of 0.8，Interleaving mode 1 |
| 10 | 10110100000001001110001000011001 | 4QAM, LDPC Rate of 0.8，Interleaving mode 2 |
| 11 | 00010001101000010100011110111100 | 16QAM, LDPC Rate of 0.4，Interleaving mode 1 |
| 12 | 11101110010111101011100001000011 | 16QAM, LDPC Rate of 0.4，Interleaving mode 2 |
| 13 | 01111000001101110010111000101010 | 16QAM, LDPC Rate of 0.6，Interleaving mode 1 |
| 14 | 10000111110010001101000111010101 | 16QAM, LDPC Rate of 0.6，Interleaving mode 2 |
| 15 | 00101101100111010111101110000000 | 16QAM, LDPC Rate of 0.8，Interleaving mode 1 |
| 16 | 11010010011000101000010001111111 | 16QAM, LDPC Rate of 0.8，Interleaving mode 2 |
| 17 | 01110111001110000010000100100101 | 32QAM, LDPC Rate of 0.8，Interleaving mode 1 |
| 18 | 10001000110001111101111011011010 | 32QAM, LDPC Rate of 0.8，Interleaving mode 2 |
| 19 | 00100010011011010111010001110000 | 64QAM, LDPC Rate of 0.4，Interleaving mode 1 |
| 20 | 11011101100100101000101110001111 | 64QAM, LDPC Rate of 0.4，Interleaving mode 2 |
| 21 | 01000100000010110001001000010110 | 64QAM, LDPC Rate of 0.6，Interleaving mode 1 |
| 22 | 10111011111101001110110111101001 | 64QAM, LDPC Rate of 0.6，Interleaving mode 2 |
| 23 | 00010001010111100100011101000011 | 64QAM, LDPC Rate of 0.8，Interleaving mode 1 |
| 24 | 11101110101000011011100010111100 | 64QAM, LDPC Rate of 0.8，Interleaving mode 2 |
| 25 | 00101101011000100111101101111111 | Reserved |
| 26 | 11010010100111011000010010000000 | Reserved |
| 27 | 01000100111101000001001011101001 | Reserved |
| 28 | 10111011000010111110110100010110 | Reserved |
| 29 | 01001011000001000001110100011001 | Reserved |
| 30 | 10110100111110111110001011100110 | Reserved |
| 31 | 00011110010100010100100001001100 | Reserved |
| 32 | 11100001101011101011011110110011 | Reserved |

| | | |
|---|---|---|
| 33 | 01111000110010001101000100101010 | Reserved |
| 34 | 10000111001101110010111011010101 | Reserved |
| 35 | 00101101100111011000010001111111 | Reserved |
| 36 | 11010010011000100111101110000000 | Reserved |
| 37 | 01001011111110111110001000011001 | Reserved |
| 38 | 10110100000001000001110111100110 | Reserved |
| 39 | 00011110101011101011011101001100 | Reserved |
| 40 | 11100001010100010100100010110011 | Reserved |
| 41 | 01110111110001111101111000100101 | Reserved |
| 42 | 10001000001110000010000111011010 | Reserved |
| 43 | 00100010100100101000101101110000 | Reserved |
| 44 | 11011101011011010111010010001111 | Reserved |
| 45 | 01000100111101001110110100010110 | Reserved |
| 46 | 10111011000010110001001011101001 | Reserved |
| 47 | 00010001101000011011100001000011 | Reserved |
| 48 | 11101110010111100100011110111100 | Reserved |

| | | |
|---|---|---|
| 49 | 01111000001101111101000111010101 | Reserved |
| 50 | 10000111110010000010111000101010 | Reserved |
| 51 | 00101101011000101000010010000000 | Reserved |
| 52 | 11010010100111010111101101111111 | Reserved |
| 53 | 01001011000001001110001011100110 | Reserved |
| 54 | 10110100111110110001110100011001 | Reserved |
| 55 | 00011110010100011011011110110011 | Reserved |
| 56 | 11100001101011100100100001001100 | Reserved |
| 57 | 01110111001110001101111011011010 | Reserved |
| 58 | 10001000110001110010000100100101 | Reserved |
| 59 | 00100010011011011000101110001111 | Reserved |
| 60 | 11011101100100100111010001110000 | Reserved |
| 61 | 01000100000010111110110111101001 | Reserved |
| 62 | 10111011111101000001001000010110 | Reserved |
| 63 | 00010001010111101011100010111100 | Reserved |
| 64 | 11101110101000010100011101000011 | Reserved |

**Tabla C.3** Vectores de información del sistema y sus funciones.

La **tabla C.4** muestra las distintas razones binarias alcanzables en la canalización de 6MHz.

| CANAL 6MHz | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Encabezado de Trama | Constelaciones Mapeadas | FEC | | |
| | | 0.4 | 0.6 | 0.8 |
| PN 420 | 4 QAM-NR | | | 4.061 |
| | 4 QAM | 4.061 | 6.092 | 8.122 |
| | 16 QAM | 8.122 | 12.281 | 16.244 |
| | 32 QAM | | | 20.218 |
| | 64 QAM | 12.281 | 18.274 | 24.365 |
| PN 595 | 4 QAM-NR | | | 3.882 |
| | 4 QAM | 3.882 | 5,823 | 7.764 |
| | 16 QAM | 7.764 | 11.645 | 15.527 |
| | 32 QAM | | | 19.409 |
| | 64 QAM | 11.645 | 17.468 | 23.29 |
| PN 945 | 4 QAM-NR | | | 3.610 |
| | 4 QAM | 3.610 | 5.414 | 7.219 |
| | 16 QAM | 7.220 | 10.829 | 14.438 |
| | 32 QAM | | | 17.971 |
| | 64 QAM | 10.829 | 16.244 | 21.658 |

Nota: Los modos en blanco de la tabla no están dentro del estándar.

Tabla C.4 Razones binarias de salida.

**Anexo D. Filtro SRRC**

La **figura D.1** muestra la respuesta de frecuencia del filtro especificada en la norma.

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

**Figura D.1.**Respuesta de frecuencia del Filtro SRR

## Anexo E. Módulos del transmisor de TV Digital

Las figuras E.1, E.2 y E.3 muestran las tres etapas amplificadoras presentes en cada módulo de amplificación.

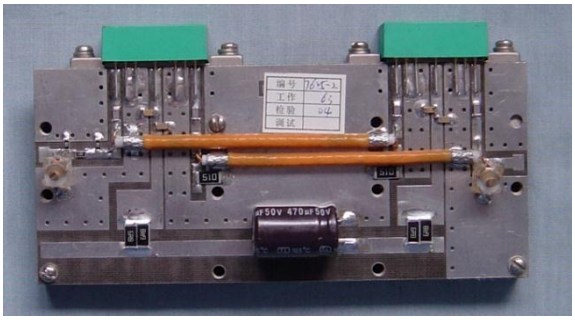


Figura E.1. Amplificador BGD804.

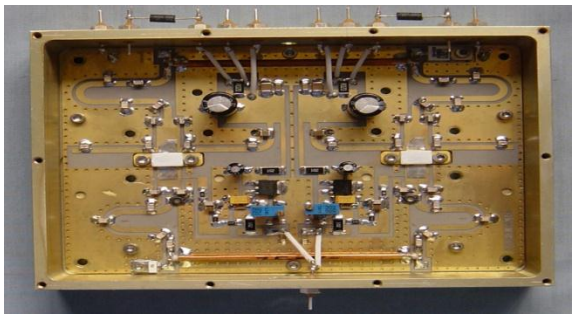


Figura E.2. Amplificador BLF871.

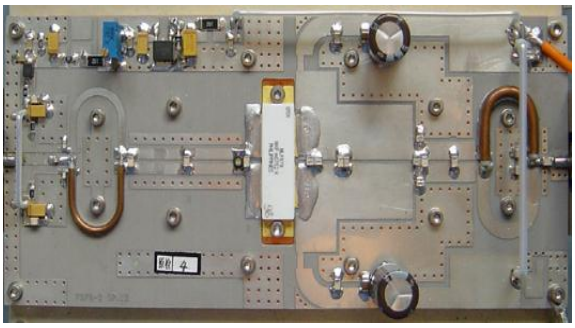


Figura E.3. Amplificador BLB878.

La figura E.4 muestra el combinador y splitter de potencia.

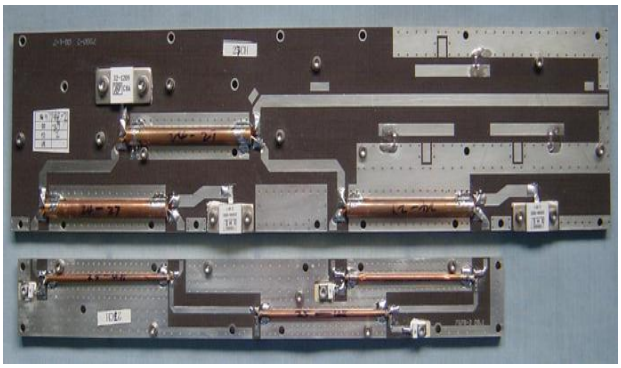


Figura E.4. Splitter y combinador de potencia.

La figura E.5 muestra el módulo de control de los amplificadores.

Figura E.5 Módulo de control.