

CAPITULO 2: ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL VIA SATÉLITE

Hemos visto que los sistemas de televisión digital son un conjunto de dispositivos que interactúan entre sí formando una cadena de transmisión y recepción. Resulta evidente pensar que si no existiese un conjunto de normas y formatos “estándares” para la transmisión de televisión, resultaría muy complicado visualizar contenidos de otras regiones del mundo. La estandarización ha contribuido con la globalización y ha incentivado en el consumo de contenidos audiovisuales de mejor calidad. Esto entre otras cosas, hace que los medios de comunicación sean una industria altamente lucrativa y de vanguardia.

Regresando a contexto, desde el inicio de los sistemas de televisión, el desarrollo de estándares se ha dado bajo la influencia de potencias tecnológicas en bloques geográficos diferentes. En la actualidad, existen 3 estándares principales [6]:

- *DVB (Digital Video Broadcasting)*: Es una organización encabezada por países del bloque europeo que en el caso de la televisión digital por satélite (DVB-S y DVB-S2), se puede considerar como el estándar *de facto*. DVB está compuesto por más de 270 empresas e instituciones de todo el mundo.
- *ATSC (Advanced Television System Committee)*: Es el grupo que se encarga del desarrollo de estándares de televisión digital en Estados Unidos. En el caso de radiodifusión de televisión digital terrestre, ha sido adoptado por países vecinos como Canadá, México y algunos países de Centroamérica influenciados por este bloque. En cuanto a los servicios de televisión por satélite se han desarrollado bajo la sombra de los estándares DVB por lo que no son comerciales.
- *ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting)*: Es el estándar japonés para televisión y radio digitales. Su penetración ha aumentado debido a la adopción de Brasil, provocando que varios países de América del Sur repliquen la tendencia formando un tercer bloque geográfico.

Potencias tecnológicas como China y Corea del Sur han incursionado en el desarrollo de estándares propios bajo la premisa de disminuir los costos de implementación que aumentan principalmente por el uso de patentes.

Un fenómeno habitual que ocurre con el desarrollo de nuevas tecnologías es que la tecnología o estándar que se desarrolla primero se convierte en el modelo a seguir para las implementaciones posteriores. En el caso específico de la televisión digital, con el surgimiento del conjunto de normas MPEG-2 se creó una tendencia para que los desarrolladores de contenidos audiovisuales basaran sus implementaciones en este estándar. La adopción de MPEG-2 permite hasta cierto punto compatibilidad entre los contenidos y aumenta el intercambio de información. Los consorcios DVB, ATSC e ISDB transportan sus contenidos a través flujos de transporte MPEG-2.

En el caso de MPEG-4, las mejoras están orientadas más a la codificación y transporte de la información y no precisamente en el formato de las tramas.

Los estándares de televisión digital definen dos capas: la capa física y la capa de enlace (referidas al modelo OSI) en un sistema de distribución. Es por ello que las diferencias de implementación entre los tres sistemas son principalmente en el tipo de modulación utilizada, de acuerdo a las características del canal de transmisión. Las explicaciones que aquí se den en referencia al formato de los datos aplican para sistemas de distribución por satélite, terrestre y por cable, tomado en cuenta algunas consideraciones.

2.1. Múltiplex MPEG

Hay dos aplicaciones básicas para el múltiplex de MPEG: grabación y transmisión. Cada aplicación tiene diferentes requerimientos. Es por eso que los datos se codifican por capas. En el caso de MPEG-2 hay 2 capas, una de compresión y codificación del audio y video llamada VCL (*Video Coding Layer*) y la segunda de transporte o (*Transport Layer*). Para el MPEG-4 se agregó una capa intermedia denominada capa de abstracción de red o NAL (*Network Abstraction Layer*) que permite definir de una mejor manera el empaquetado de la información dependiendo de la red en que se transporte a las señales, como se muestra en la figura 2.1.

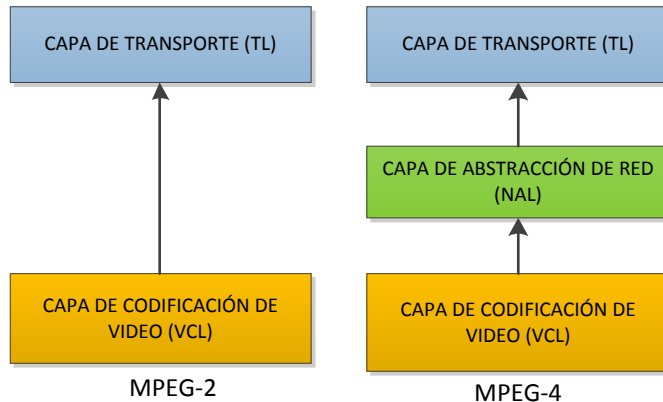


Figura 2.1: Diferencia de capas de codificación entre MPEG-2 Y MPEG-4.

Los codificadores de audio y video de la capa VCL entregan a su salida cadenas de datos denominadas ES (*Elementary Streams*) que constituyen el contenido comprimido. Cada cadena elemental acarrea identificadores de qué tipo de datos son transportados [3, 50].

Las cadenas de datos con la información así como otras cadenas con información privada se combinan de manera organizada y fragmentada formando paquetes elementales denominados PES (*Primary Elementary Stream o Packetized Elementary Stream*). Cada PES transporta un encabezado con una serie de datos de control que identifican al tipo de datos transportados, la

longitud del paquete y el orden de éste, principalmente. Por lo tanto no se tiene un tamaño de paquete PES fijo.

En el estándar MPEG-2 describe dos formas diferentes de multiplexar los PES de acuerdo al tipo de aplicación final del flujo de datos. Estas aplicaciones son la trama de programa (*Program Stream*) y la trama de transporte (*Transport Stream*). En la figura 2.2 se representa un esquema del procesador en banda base del estándar MPEG-2.

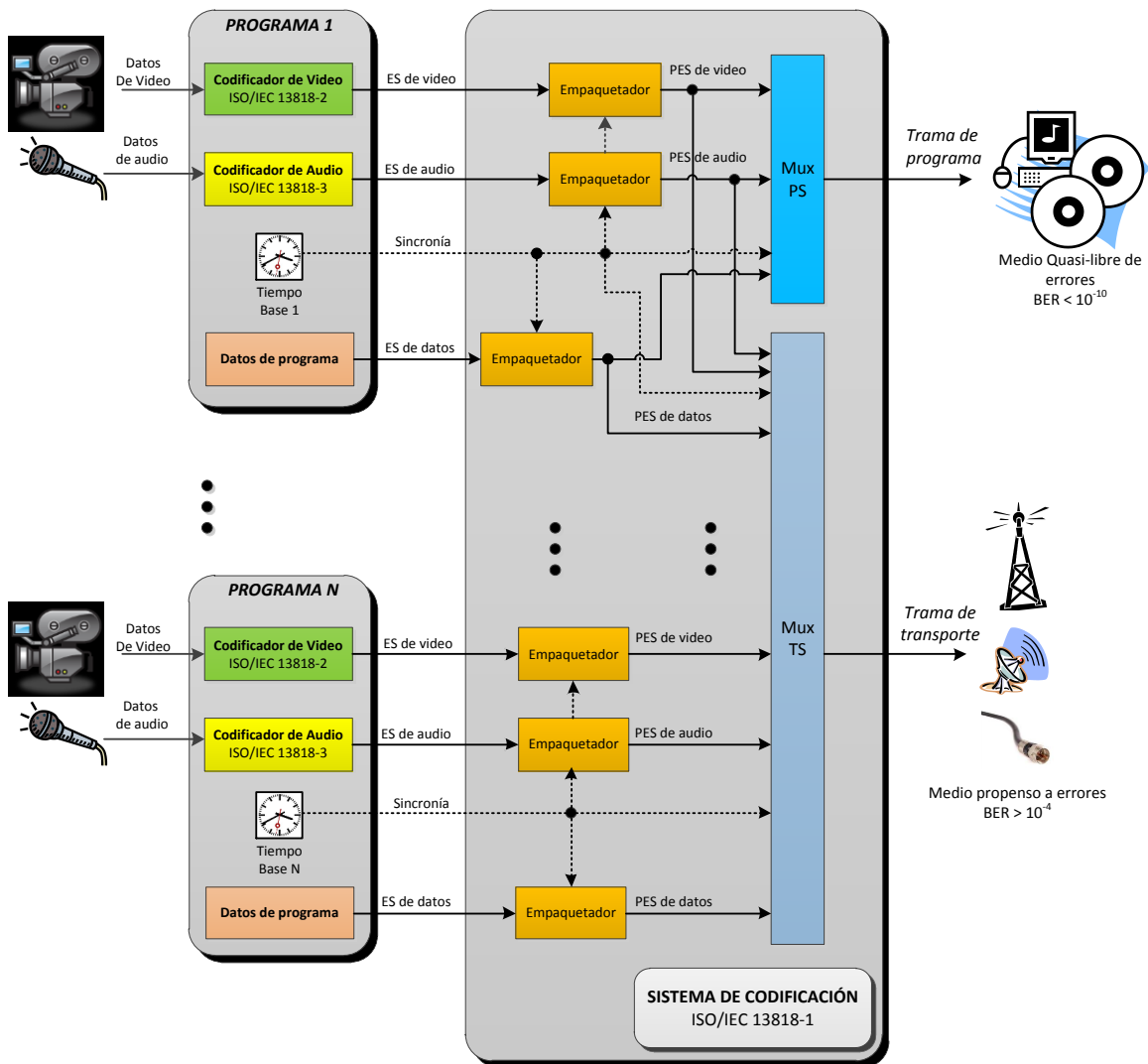


Figura 2.2: Estructura del procesador en banda base del estándar MPEG-2.

La trama de programa es aquella cuyo destino es un medio prácticamente libre de errores ($BER < 10^{-10}$) como son los dispositivos de almacenamiento masivo.

La trama o paquete de transporte (figura 2.3) es aquella que, como su nombre lo indica, va dirigida a la transmisión de los contenidos generalmente a través de largas distancias. Por lo tanto es susceptible a una cantidad de errores relativamente alta ($BER > 10^{-4}$). El largo del paquete de

transporte está ajustado a 188 bytes para la transmisión de televisión con un encabezado de 4 bytes (carga útil: hasta 184 bytes). Opcionalmente, se puede agregar otro campo intermedio denominado campo de adaptación (*Adaptation Field*) cuyo tamaño es variable junto con el de la carga útil.

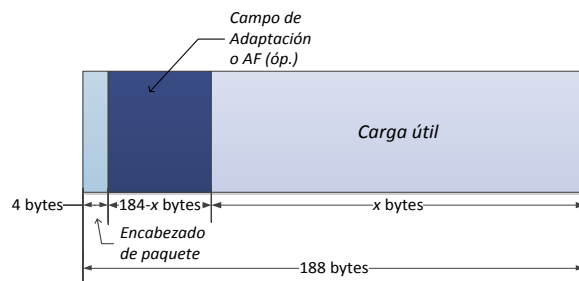


Figura 3.3: Paquete de transporte MPEG-TS.

El PES tiene que ser dividido de tal manera que se ajuste a la longitud de la carga útil de la trama de transporte. El campo AF es necesario cuando los paquetes PES no son múltiplos de 184 bytes y son necesarios bytes de relleno.

La trama de transporte MPEG-2 incluye información adicional de control dentro de la carga útil, común para todos los programas, que está constituida por la tabla PSI (*Program Specific Information*). El PSI acarrea información de la asociación de los programas con su posición en la trama de transporte, del acceso condicional para televisión de paga, etc.

Para el caso de MPEG-4 la capa de compresión contiene tres tipos de descriptores diferentes: de objetos, de escenas y de movimiento. Después de esta etapa se encuentra la capa de adaptación NAL encargada de sincronizar estos datos y multiplexarlos de acuerdo al formato contenedor en el que serán transmitidos (figura 2.4). Por ello, los contenidos almacenados con los formatos MPEG-4 pueden viajar a través de tramas TS (como MPEG-2), paquetes IP, celdas ATM, H223, DAB, entre otros.

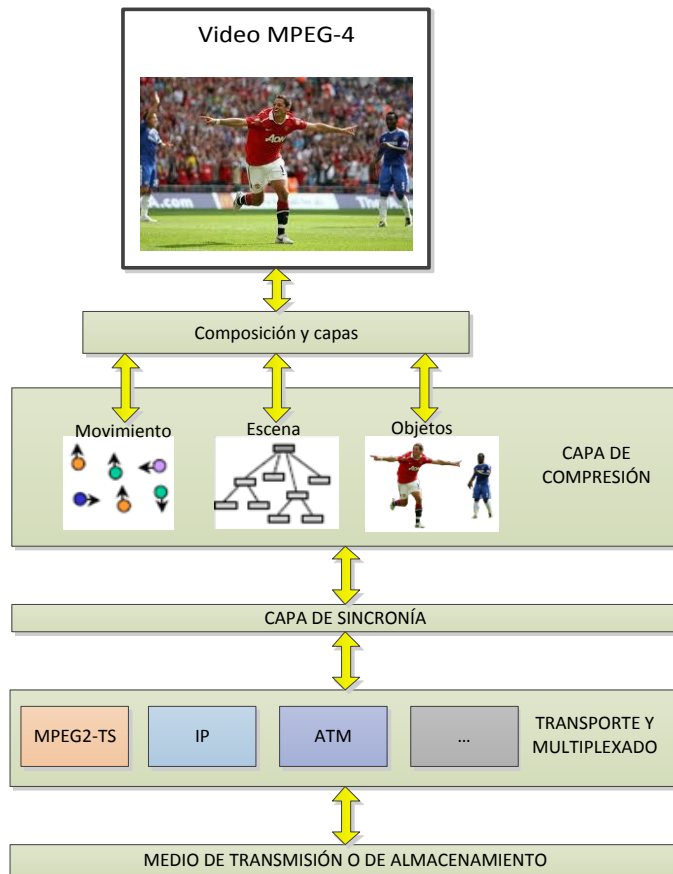


Figura 2.4: Esquema general de codificación de video en MPEG-4

2.2. DVB-S

DVB-S es la primera especificación de televisión por satélite aprobada por el ETSI con la denominación ETSI EN 300 421 [10] en el año de 1993. En este estándar se definen las características de la radiodifusión de televisión digital y datos a través de satélite FSS o BSS para la banda Ku. Permitiendo la transmisión de varios programas de calidad estándar o HDTV a través de un múltiplex basado en la especificación MPEG-2.

Los códecs de audio y video que se definieron para este estándar fueron:

- MPEG-2 Parte 2 para video.
- MPEG-2 Parte 3 para audio o Dolby AC-3.

El proceso en banda base es el mismo para los estándares de transmisión por cable y terrestres de DVB, DVB-C y DVB-T respectivamente.

Adicionalmente a las tablas PSI, propias de MPEG-2, en este estándar se definen las tablas DVB-SI (*DVB-Service Information*) que contienen información sobre los programas que viajan en otros

repetidores e incluso que viajan en otras redes. La información transmitida en estas tablas permite que los suscriptores reciban la guía de programas electrónica.

La información de las tablas DVB-SI, entre otras cosas, permite la organización de los contenidos por temas, contener descripciones de los programas, hora y fecha de las transmisiones, etc. Un ejemplo de aplicación de la información de las tablas DVB-SI [11] se puede observar en los menús interactivos que cuentan algunos sistemas de televisión (figura 2.5.).



Figura 2.5. Menú interactivo del sistema SKY.

Otro aspecto importante que toma en cuenta el estándar DVB-S y es parte trascendental en los demás sistemas de televisión digital por satélite es el acceso condicional. La gran mayoría de programas de televisión a través de satélite son de pago debido a que esta es la manera de recuperar la inversión en la transmisión y arrendamiento del segmento satelital. Por ello es necesario controlar el acceso a los contenidos por parte de los suscriptores a través de una tabla del PSI (*Conditional Access Table*) que define un algoritmo único de acceso a los datos. Este algoritmo contiene los siguientes elementos:

- Algoritmo de aleatorización de contenidos (*scrambling*). Entrega de llaves electrónicas necesarias para recuperar el contenido en el receptor.
- Sistema de gestión de suscripción o abonado (*Suscriber Management Service*). En este algoritmo se almacena la información pertinente a los suscriptores como el tipo de servicio contratado, canales autorizados, etc.
- Sistema de autorización de suscriptor (*Suscriber Authorization System*). Es un sistema de cifrado para las llaves de acceso a los contenidos.

Los parámetros de acceso condicional son propietarios de los proveedores de servicios y la descripción de la implementación no es de acceso público para evitar mal uso de los contenidos.

Una vez que el paquete de transporte está definido en todos sus campos, se aplica un último proceso adaptivo a la secuencia que consiste en la aleatorización de los datos (*randomizing*) para distribuir la energía de la señal.

El siguiente proceso en la transmisión es la codificación contra errores de la trama de transporte. Este proceso se logra a través de la aplicación de códigos concatenados para lograr una alta protección contra errores en niveles de C/N bajos (entre 4 y 8 dB).

El código externo es un RS (188, 204, 8) y el interno es un código convolucional con tasa de código variable entre $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$ o $\frac{7}{8}$, dependiendo de la eficiencia espectral que se quiera lograr.

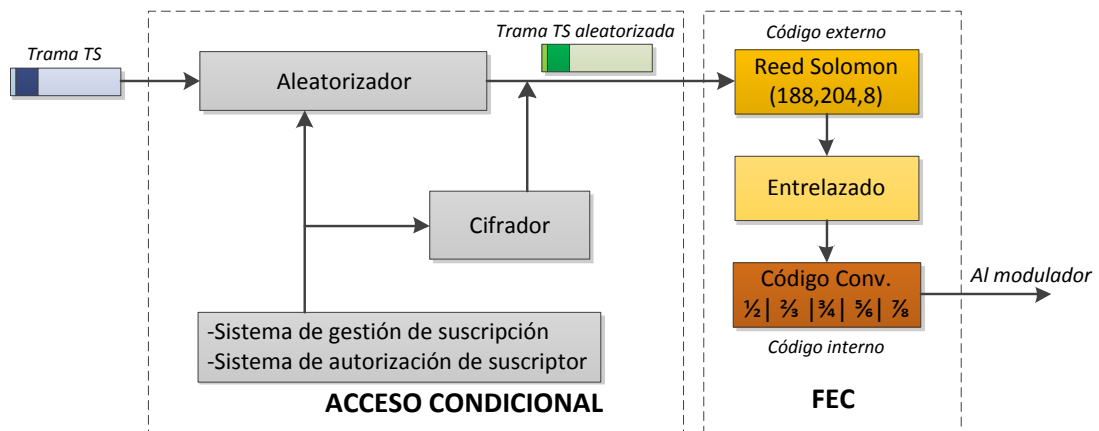


Figura 2.6. Proceso de codificación del estándar DVB-S

Para evitar ISI (Interferencia temporal entre símbolos), es necesario filtrar la señal de banda base mediante un filtro paso bajas. El tipo de filtro más usado es el denominado de Nyquist o Coseno elevado (*Raised cosine*) cuya respuesta en frecuencia se puede observar en la figura 2.7.

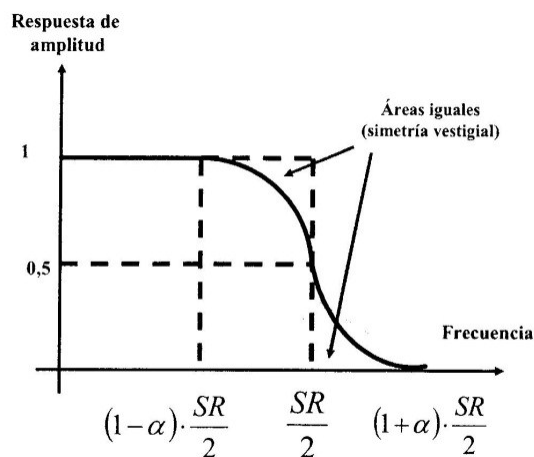


Figura 2.7. Respuesta en frecuencia del filtro Coseno Elevado

El ancho de banda total de la señal digital está dado por la expresión:

$$B = (1 + \alpha)SR \text{ MHz}$$

Dónde:

SR = *Symbol rate* o tasa de símbolos.

α = factor de caída del filtro o *roll-off*. Este valor está definido en el estándar como 0.35.

En un principio, el único esquema de modulación definido para el estándar DVB-S fue QPSK. Sin embargo, en condiciones excepcionales se puede adoptar una modulación BPSK [49].

En la actualidad, DVB-S también denominado Sistema A por la UIT [30] es utilizado en servicios de empresas como Dish Networks, Sky Brasil, Sky México, entre otras.

A manera de resumen, el diagrama a bloques de transmisión para DVB-S es el siguiente [41]:

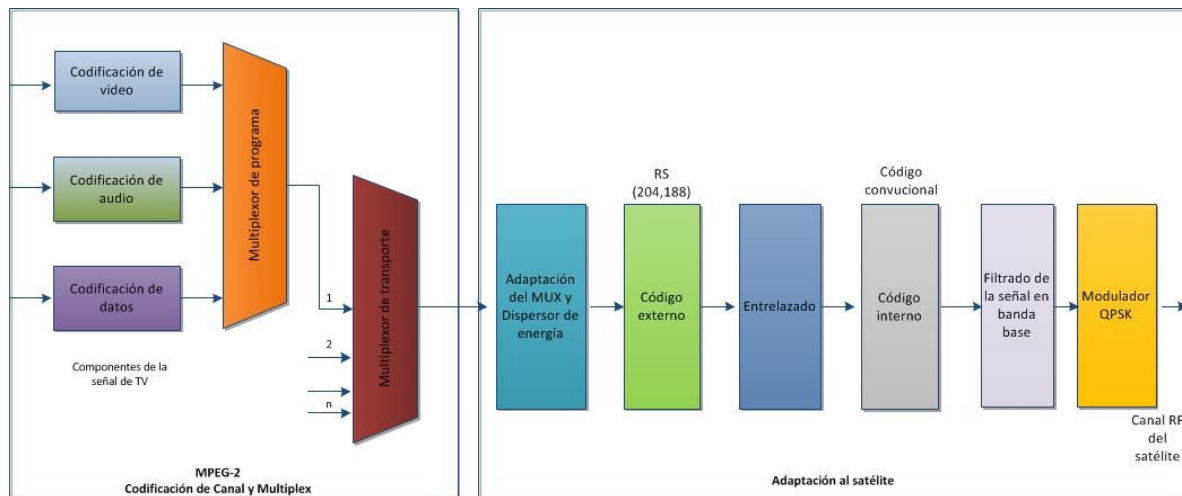


Figura 2.8. Diagrama a bloques de transmisión para DVB-S.

2.3. DVB-DSNG

La UIT define DSNG (*Digital Satellite News Gathering*) como una transmisión de radiodifusión temporal y ocasional de noticias de televisión o audio, usando estaciones terrenas móviles con antenas transmisoras portátiles [48]. El equipo debe de ser capaz de transmitir el o los programas de video generados en el sitio. Opcionalmente, el sistema puede ser capaz de proveer interacción entre los dos sitios de comunicación. Otra característica de este sistema es la facilidad de implementación del enlace, y la instalación del sistema, ambas posibles por el mismo número de personas.

La contribución de señales de televisión por satélite consiste en enlaces punto-punto o punto-multipunto que conectan estaciones terrenas fijas o portátiles. Los enlaces no están destinados para ser recibidos por la audiencia en general. La contribución es utilizada en enlaces entre los sitios donde ocurren hechos o noticias, y los estudios donde se edita el contenido para su distribución masiva.

La mayoría de las ocasiones, este tipo de transmisiones solo transportan un programa de televisión. Pese a esto, la flexibilidad del múltiplex o trama de transporte permite la transmisión múltiples programas de TV con su sonido asociado, incluyendo canales de audio y comentarios o servicios de datos.

En el año de 1998, el consorcio DVB propuso su segundo estándar para aplicaciones por satélite DVB-DSNG [12], extendiendo las funcionalidades y eficiencia espectral de DVB-S. DVB-DSNG tiene las mismas características de DVB-S en cuanto al formato de la trama de transporte, el aleatorizador para dispersar la energía, y el uso de protección contra errores basada en un código Reed-Solomon concatenado a un entrelazador y un código convolucional.

El sistema base incluye todas la características y formatos de transmisión especificados en el estándar DVB-S. No obstante, se encuentran adicionados otros modos de transmisión con esquemas de modulación 8PSK y 16QAM de tal manera que se puede mejorar la eficiencia espectral en ciertas aplicaciones comparando con QPSK.

Se deben de tomar en cuenta las siguientes notas al utilizar los esquemas de modulación de mayor orden:

- Se requiere mayor potencia de transmisión y mayor diámetro de antenas en la recepción debido a que aumenta la sensibilidad de la señal contra interferencias.
- Los nuevos esquemas de modulación, especialmente 16-QAM, son más sensibles a las distorsiones no lineales de transpondedores cerca del punto de saturación.
- Los convertidores de frecuencia de RF deben de ser de mejor calidad debido a que las señales son más sensibles a otras distorsiones como el ruido de fase. Si se utilizan tasas de símbolos bajas, la distorsión se puede agudizar.
- En general, los sistemas de transmisión y recepción deben de ser diseñados con mucho cuidado debido a que las señales son más propensas a afectaciones en su paso por el canal de transmisión.

El factor de *roll-off* del filtro de banda base es por lo común $\alpha=0.35$ con un valor opcional de $\alpha=0.25$ en el caso de las modulaciones 8PSK y 16QAM.

El sistema es flexible para diversos anchos de banda disponibles, ya sea de única portadora por transpondedor o múltiples portadoras.

La figura 2.9 representa de manera funcional todas las características de este estándar a la transmisión.

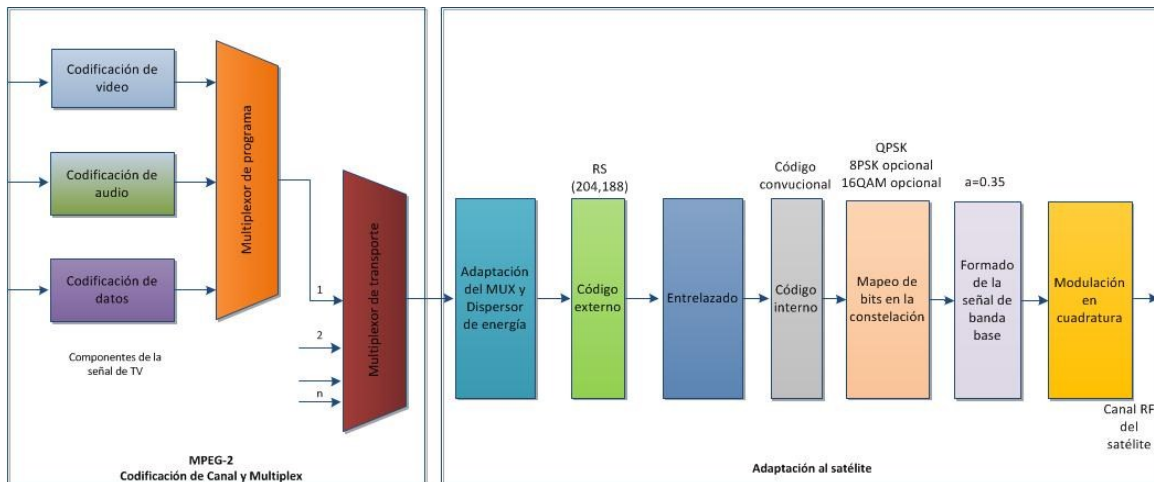


Figura 2.9. Diagrama de bloques de transmisión para DVB-DSNG.

2.4. DVB-S2

Los estándares de televisión por satélite han seguido una tendencia que engloba características de sus predecesores. Tal es el caso de DVB-DSNG con DVB-S. Pero la principal limitación de estos sistemas está dada por la eficiencia de los códigos de protección contra errores en el canal y el algoritmo de compresión de los contenidos audiovisuales.

Las investigaciones en el campo de las comunicaciones digitales, particularmente en el área de técnicas de corrección de errores, impulsaron nuevas innovaciones tecnológicas. Como resultado de esto, se lograron ofrecer servicios de mayor capacidad que llevaron a la DVB a definir en 2003 el estándar DVB-S2 [14] como la segunda generación de servicios por satélite. El estándar nuevo ya no está orientado totalmente a la radiodifusión de TV por satélite, sino que se desarrolló de acuerdo a las tendencias de convergencia en los servicios audiovisuales y de datos.

Existen 3 aplicaciones diferentes para DVB-S2:

- Radiodifusión de televisión SDTV y HDTV.
- Servicios interactivos, incluyendo acceso a internet, para aplicaciones de consumo.
- Distribución de contenidos de datos y servicio Internet.

Para lograr cubrir todas las áreas de aplicación para los que fue diseñado, DVB-S2 está estructurado como un conjunto de herramientas en el que se utilizan solamente las destinadas a un fin específico. Los conceptos claves de operación son una mejora en el desempeño a la transmisión con respecto a sus predecesores, flexibilidad de implementación y un receptor más complejo. Hablando en números, la ganancia en eficiencia con relación a los estándares DVB-S y DVB-DSNG para la transmisión de un canal de TV es del 30%. Esto se consigue gracias a la utilización de técnicas adaptivas tanto en la codificación como en la modulación [26].

En el caso del video, DVB-S2 puede manejar múltiples formatos de tramas de transporte, ya sean tramas de transporte MPEG o paquetes encapsulados en celdas ATM.

La generación de la señal en este estándar está basada principalmente en dos niveles de encapsulamiento de los datos:

- BBFRAME. Trama generada en el nivel de banda base, en la cual se transportan en conjunto con los datos una variedad de bits de señalización que configuran al receptor de acuerdo a la aplicación que se difunda.
- PLFRAME. Trama generada en el nivel físico de los datos, en la que se transportan unos pocos bits de señalización altamente protegidos bajo un esquema de modulación muy robusto (BPSK). Con esto se logra una sincronización alta y señalización al nivel de la capa física. En la carga útil, la modulación depende del tipo de datos transmitidos.

El diagrama a bloques funcional de un transmisor DVB-S2 es mucho más complejo que la primera generación. En la figura 2.10 se representa un diagrama de DVB-S2.

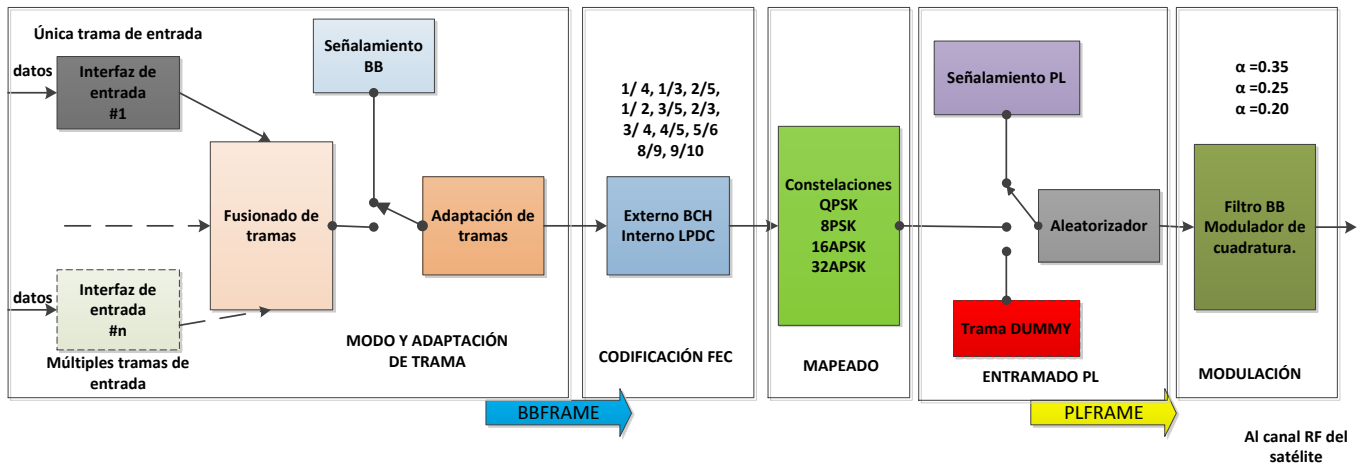


Figura 2.10. Diagrama de bloques de transmisión para DVB-S2.

Podemos englobar al esquema del transmisor en 4 bloques principales:

- *Modo, y adaptación de trama:* En esta parte, se reciben las señales de datos (en el caso de MPEG-2 o MPEG-4, tramas TS) que son encapsuladas y multiplexadas en un BBFRAME. Como parte de la señalización del BBFRAME, se indica el tipo del contenido transportado (paquetes o flujo continuo) y el tipo de codificación (adaptiva o continua). Finalmente se hace un proceso de aleatorización para distribuir la energía de la señal. En el caso de enlaces unidireccionales no es posible variar la tasa de codificación. Debido a esto, cuando se transmite con fines de *broadcast* la tasa permanece constante.
- *Codificador de FEC:* En esta etapa se aplica redundancia al BBFRAME mediante una serie de códigos concatenados. Esta es una de las claves del desempeño del estándar DVB-S2. Dependiendo de si la codificación es adaptiva o continua, se aplica un código interno

basado en códigos LDPC. El código externo es del tipo BCH y del mismo tamaño que el bloque de código interno. La capacidad de corrección es variable.

El codificador FEC genera bloques variables (FECFRAME) de tamaño entre 16 200 y 64 800 bits dependiendo de la capacidad de la información para soportar retardos. Las tasas de código que se pueden configurar son variables del tipo de modulación ocupada. Estas son:

- QPSK: $\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}, \frac{5}{6}, \frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$.
- 8PSK: $\frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}, \frac{5}{6}, \frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$
- 16APSK: $\frac{3}{5}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}, \frac{5}{6}, \frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$
- 32APSK: $\frac{3}{4}, \frac{4}{5}, \frac{5}{6}, \frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$

Si la opción de codificación adaptiva está activa, el código de protección puede variar entre una trama y otra. Para el caso de video codificado bajo las normas de MPEG, se requiere una BER de 10^{-7} para asegurar una buena recepción.

- **Mapeo de bits en constelaciones:** En esta etapa, nuevamente se distribuyen los datos y se modulan de acuerdo a la información que contenga el encabezado del FECFRAME. Si se especifica que la modulación es adaptiva, el esquema de modulación varía con el tiempo. En el caso de una señal de video para radiodifusión, se utilizan los esquemas QPSK y 8PSK. Nuevamente, en el caso de señales transmitidas de manera unidireccional, el esquema de modulación permanecerá constante. Tal es el caso de *broadcast*.

Cuando se utiliza DVB-S2 en aplicaciones de video profesional (como DSNG), se pueden aplicar los esquemas 16APSK y 32APSK, cuya eficiencia espectral es mucho mayor pero es necesario utilizar el transpondedor en una región de mayor linealidad en la transmisión.

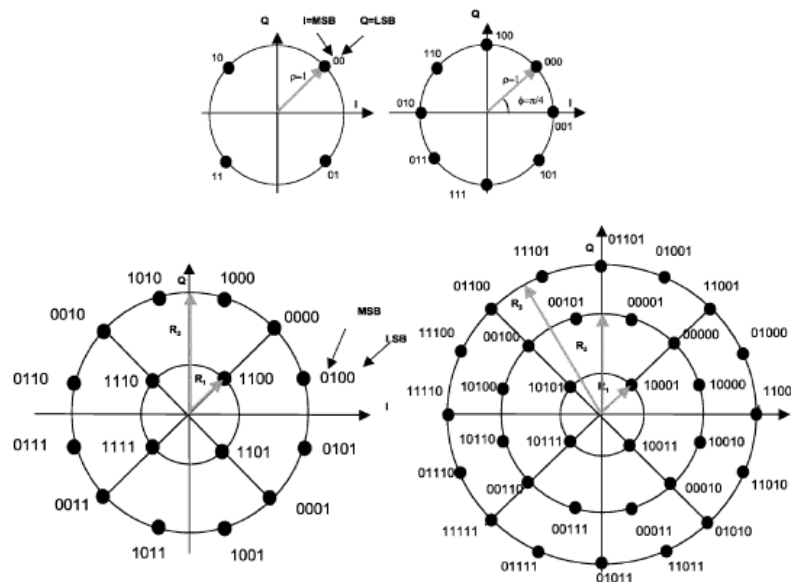


Figura 2.11. Esquemas de modulación de DVB-S2: QPSK, 8PSK, 16APSK Y 32APSK.

- *Entramado PL:* En esta parte de la transmisión, se divide la información en secuencias regulares de tramas. Cada trama tiene como inicio un encabezado de aproximadamente 90 símbolos, dependiendo del esquema de modulación, en el que se especifica el tipo de modulación de la carga útil, además de que se agregan bits de sincronía y señalización, permitiendo a los receptores recobrar de mejor manera la fase de referencia de la portadora. Los datos de los encabezados están protegidos por un poderoso código entrelazado conocido como “Red-Muller de primer orden”. La trama resultante de este bloque es conocida como PLFRAME
- *Modulación:* En esta etapa se traslada el espectro del PLFRAME a RF, pasando por un proceso previo de filtrado de Nyquist. En este caso, se definen en el estándar valores de *roll-off* de $\alpha=0.20, 0.25$ o 0.35 dependiendo de las restricciones de ancho de banda.

En el caso de este estándar, se observa que hay cambios considerables con respecto a las características de DVB-S en cuanto a los esquemas de modulación y corrección de errores.

El tipo de contenido que se puede trasladar en un BBFRAME no está restringido a un estándar de codificación en particular como es el caso de MPEG-2 en DVB-S y DVB-DSNG. Esto trae consigo ventajas debido a la posibilidad de implementación de códecs más recientes de audio y video como los definidos en la especificación MPEG-4.

Como se ha expuesto, DVB-S no es directamente compatible con DVB-S2 y esta es una de las principales razones por la que algunos proveedores de contenidos no han cambiado de tecnología. La reinversión en equipos de transmisión no es factible para muchos proveedores. Por el lado de la recepción, se requiere también una cuantiosa inversión en la sustitución de los equipos de los suscriptores que pueden llegar a ser millones. Los receptores compatibles con DVB-S2 si suelen ser compatibles con transmisiones en el estándar DVB-S.

En DVB-S2 existe un modo opcional de compatibilidad “hacia atrás” también denominado BC (*Backwards Compatible*) cuyo objetivo es combinar dos tramas de transporte en un solo canal. La primera trama sería de alta prioridad y compatible con DVB-S y DVB-S2, mientras que la segunda solamente sería compatible con DVB-S2 (figura 2.12). Este tipo de “retro-compatibilidad” puede ser logrado de dos formas:

- *Modulación por capas:* Las señales de DVB-S y DVB-S2 son combinadas en el canal de radiofrecuencia de manera asíncrona. El decodificador de DVB-S2 no requiere ninguna adaptación extra.
- *Modulación jerárquica:* Las tramas de transporte de alta y baja prioridad son combinadas de manera síncrona en una constelación 8PSK asimétrica. Se requiere un decodificador especial.

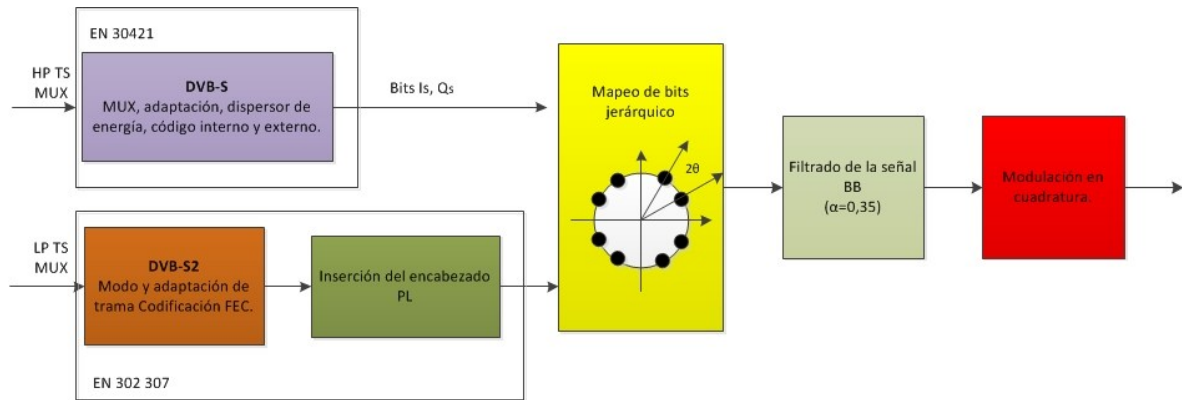


Figura 2.12: Esquema de bloques del modo opcional DVB-S2 BC.

En la figura 2.13 se observa un gráfico de la simulación del desempeño para DVB-S, DVB-DSNG Y DVB-S2 para una misma BER de 10^{-7} y un programa de 5Mbps sobre un canal AWGN. Se compara la relación de portadora a ruido con la eficiencia espectral (definida como tasa de datos de información por símbolo transmitido).

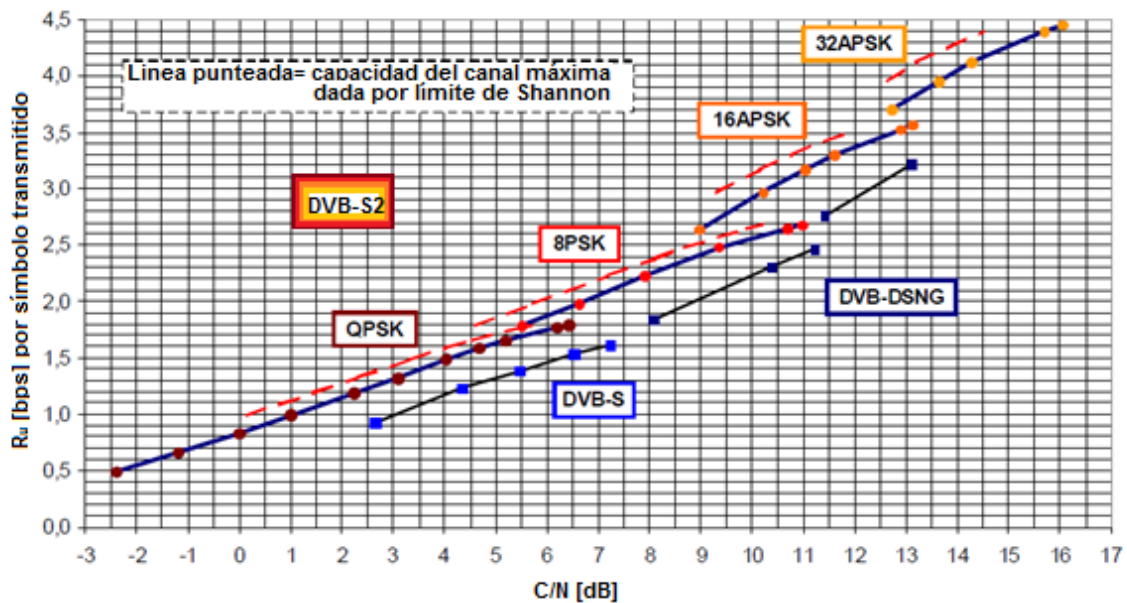


Figura 2.13. Tasa de datos de información (R_u) por símbolo vs C/N para DVB-S, DVB-DNSG Y DVB-S2.

En este caso, se observa que los esquemas manejados en DVB-S2 tienen una eficiencia de codificación cercana al límite teórico máximo (límite de Shannon). También se aprecia que se requiere un menor nivel de potencia en DVB-S2 comparando con la misma señal codificada en otro estándar con iguales niveles de calidad. Se observa que si el nivel de potencia es constante, la eficiencia espectral es mucho mayor para DVB-S2 que para DVB-S Y DVB-DSNG.

Al presente, la implementación de sistemas bajo el estándar DVB-S2 ha crecido tanto en sistemas de distribución como de contribución. Esto se ha dado gracias a 2 factores importantes. El primero fue la recomendación por parte de la UIT como la opción preferida para la implementación de un sistema digital de radiodifusión por satélite de configuración flexible [36]. El segundo factor que ha influido notablemente en la adopción de este sistema ha sido el bajo costo de derechos por licencia en los equipos bajo este estándar.

Con todo, no se ha previsto que DVB-S2 remplace en corto plazo a los sistemas DVB-S para aplicaciones de distribución convencionales. Existen millones de decodificadores DVB-S que están operando actualmente y son parte de una cadena de negocio muy rentable alrededor del mundo. El nicho de mercado mayor que encuentra DVB-S2 es la implementación de sistemas de HDTV con el códec H.264 y la transmisión de varios canales de STDV y HDTV en un mismo múltiplex.

DVB-S2 deja abierta la puerta a nuevas posibilidades de interacción a los usuarios de los contenidos transmitidos bajo el estándar. En caso de contar con un canal de retorno, se pueden variar los esquemas de codificación y modulación dependiendo de las características del canal de comunicaciones aumentando la disponibilidad y cantidad de información transmitida.

2.5. DVB-RCS y DVB-SH

Dentro de las normas del consorcio DVB existen otros estándares usados en servicios por satélite enfocados para aplicaciones particulares.

El estándar DVB-RCS (*Digital Video Broadcasting Return Channel Satellite*) o ETSI EN 301 790 [13] define los protocolos de comunicación en un sistema dúplex usando como canal de retorno el satélite. Para lograr esto se usan VSATs (*Very Small Aperture Terminal*), que son estaciones terrenas utilizadas para la transmisión de datos con antenas relativamente pequeñas (hasta 2 metros dependiendo de la banda de frecuencias). DVB-RCS provee al usuario de un enlace por satélite con tasas de transmisión-recepción asimétricas sin la necesidad de cables, haciendo factible su implementación en lugares donde hay poca infraestructura terrestre.

Dependiendo de los parámetros del enlace, se pueden llegar a conseguir velocidades de 20Mbps para el enlace descendente y 5 Mbps para el enlace ascendente. El estándar es flexible a varias topologías de red y es capaz de involucrar *hand-overs* entre satélites o huellas de cobertura y técnicas de espectro disperso. En la figura 2.14 está dibujado un esquema simple en bloques de la estructura del enlace ascendente de DVB-RCS.

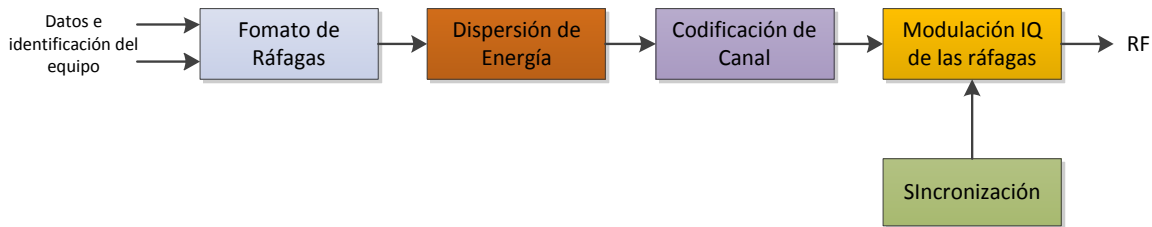


Figura 2.14. Diagrama a bloques de un enlace de retorno al satélite DVB-RCS

La información generada en la terminal del usuario es encapsulada y al igual que en los otros estándares, pasa por un proceso de adaptación al canal que consiste en agregarle protección contra errores y modularla en fase para su transmisión. La información que se genera en el terminal del usuario es muy poca en comparación con el enlace descendente. Por ello, se implementó como técnica de acceso MF-TDMA (*Multiple Frequency Time Division Multiple Access*). Así pues, las solicitudes que se generen en la terminal requieren estar en sincronía y pueden ser enviadas a alguno de los bloques de frecuencia libres que disponga el satélite para éstas.

Debido la inmensa cantidad de posibilidades que representa contar con un enlace Full-Duplex en un sistema DVB, para RCS se han definido numerosos formatos de transporte para los datos del enlace ascendente. Así pues, hay características definidas para tramas de transporte MPEG, DVB-S2, ATM, paquetes IP, etc.

El estándar DVB-SH (*Digital Video Broadcasting - Satellite services to Handhelds*) o ETSI EN 302 583 [15] es una especificación que se definió para la recepción de contenidos de televisión por satélite a dispositivos móviles portátiles. La banda de frecuencias utilizada por este servicio es la denominada S (2 a 4GHz) Este estándar trabaja en conjunto con DVB-H que está enfocado a transmisores terrestres y trabaja en la banda UHF. Esto último es una de sus principales cualidades, pues se garantiza una buena recepción mediante el uso de diversos medios de transporte de la información.

El estándar DVB-SH se clasifica en 2 tipos:

- SH-A: Utiliza el multiplexaje por frecuencias ortogonales (OFDM) para los enlaces terrestres y por satélite. Está basado en el estándar de televisión digital terrestre DVB-T
- SH-B: Utiliza TDM en el enlace con el satélite y OFDM en el enlace terrestre. El enlace por satélite está pensado basándose en las características del estándar DVB-S2.

El multiplexaje OFDM proporciona excelentes características para la radiodifusión terrestre afectada principalmente por fenómenos como las multitrayectorias. En cambio, TDM tiene mayores ventajas en la emisión por satélite.

Las dos variantes de DVB-SH requieren de diferentes arquitecturas tanto en los transmisores como en los receptores, principalmente en los moduladores y demoduladores (figura 2.15). La adopción entre un sistema y otro depende principalmente de las características del satélite y de consideraciones regulatorias. Así por ejemplo, sería más conveniente usar la variante SH-A en satélites de órbitas bajas y SH-B en satélites geoestacionarios.

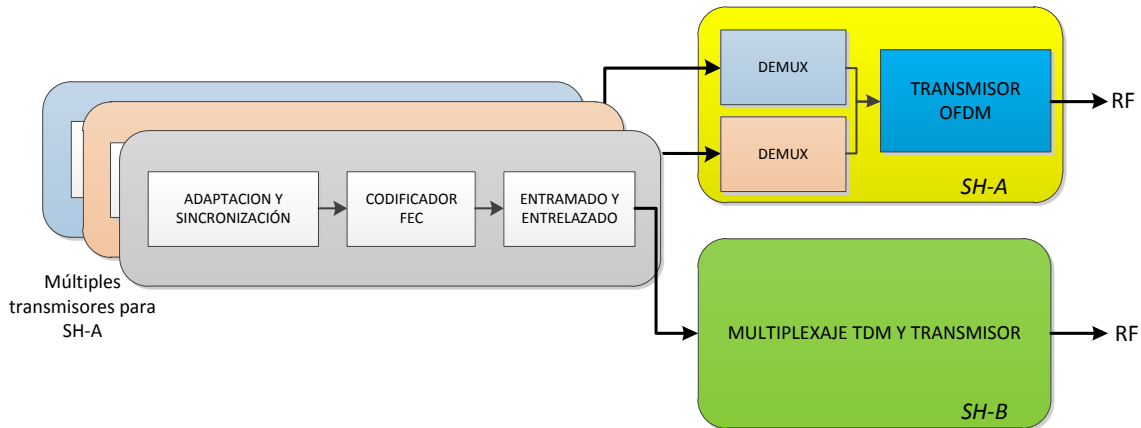


Figura 2.15. Esquema de transmisión para el estándar DVB-SH.

En el caso de la recepción en equipos móviles y debido a las características de la banda de frecuencias usada, en el estándar se han previsto los fenómenos asociados a las comunicaciones móviles como las fluctuaciones por multitrayectorias en la propagación. En el caso de la variante SH-A, es necesario contar con más de un transmisor que genere la información de manera simultánea y en la misma frecuencia, pero en un punto distinto. Siendo capaces de medir y controlar el retardo de las transmisiones, se puede lograr una red de frecuencia única (*Single Frequency Network*) que aumenta los niveles de señal recibida en la terminal móvil.

Para el caso de la variante SH-B, solamente es necesario un transmisor que multiplexe una o varias tramas de transporte y las transmita hacia un segmento asignado al satélite.

En ambos casos, las señales transportadas bajo este estándar pasan por un proceso de adaptación al canal que consiste básicamente en empaquetar la información, aplicar un código de protección contra errores (basado en turbocódigos), multiplexaje de capa 2 (OFDM o TDM), modulación (QPSK, 8PSK, 16APSK o 16QAM) y transmisión.

En el caso de DVB-SH, existen en la actualidad algunos proveedores de servicio en Estados Unidos y Japón. Sin embargo, aún no hay un mercado maduro para estos y algunas empresas han enfrentado serios problemas económicos que las obligan a replantear su modelo de negocios.

Como resumen, DVB-RCS y DVB-SH proveen de diversas soluciones para segmentos de mercado de radiodifusión en donde las características de otros estándares no son muy buenas o no están definidas.

2.6. ISDB-S

ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*) fue creado en Japón para la transmisión de radio y televisión digital. Está sustentado por la organización conocida como ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*), que creó diferentes estándares libres representados en la figura 2.16.

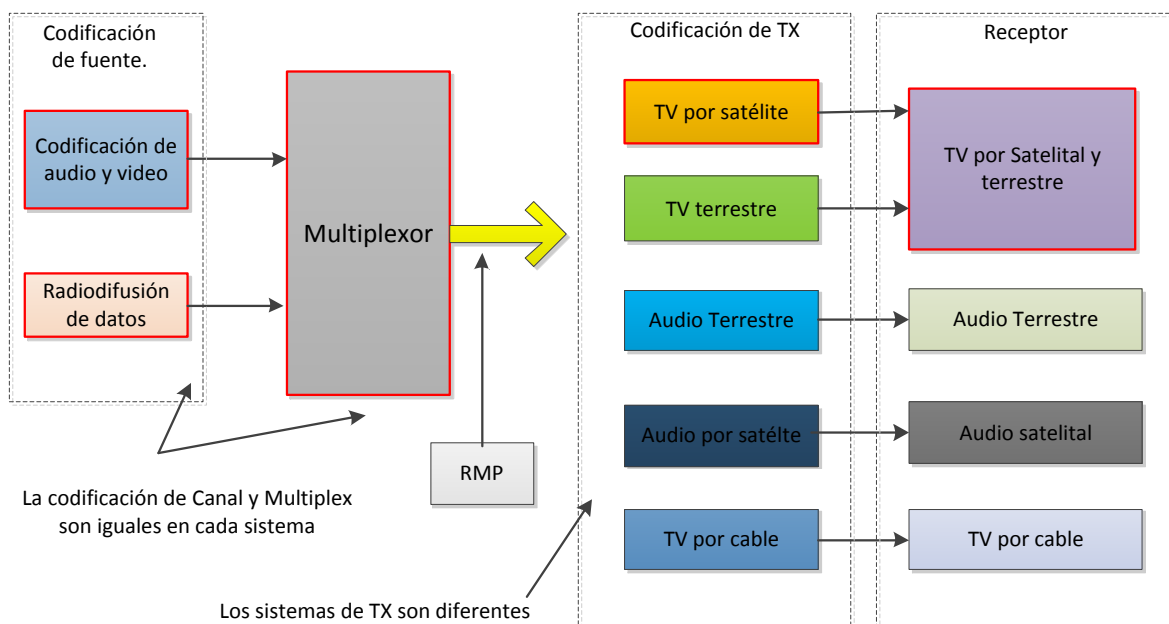


Figura 2.16. Diagrama a bloques de los diferentes estándares denominados como ISDB.

De la misma manera que la norma europea DVB, ISDB cuenta con una gama de estándares dependiendo del medio de transmisión. Los más conocidos son el de televisión terrestre ISDB-T, el de televisión satelital ISDB-S y el de televisión por cable ISDB-C [20, 45].

Como en los demás consorcios, los bloques de codificación de fuente y multiplexaje tienden a funcionar de la misma manera sin importar el medio. La diferencia real entre un estándar terrestre con uno de cable o satelital radica en el bloque de transmisión. Ya que se busca optimizar la transmisión, el procesamiento de la señal es otro debido a los diferentes factores que se presentan en cada medio.

La radiodifusión digital por satélite en Japón comenzó a finales del año 2000, donde es conocida como BS (*Broadcasting Satellite*). El sistema que se desarrolló siempre estuvo enfocado en la transmisión de señales de alta definición y de servicio multimedia.

ISDB-S fue estandarizado en la UIT-R bajo la recomendación BO.1408 [35] y opera en las bandas de BSS de 11.7 a 12.2 GHz. De acuerdo a nomenclatura de la UIT, también se le puede denominar sistema D para DTH [30].

En cuanto al formato de los contenidos audiovisuales ISDB-S adoptó MPEG-2. Para la transmisión de señales HDTV con resoluciones de 1080i o 720p es utilizada la combinación MP@HL. Para SDTV de 480p MP@H14 y para 480i MP@ML. Esto debido a los requerimientos de tasa de bits de las señales que van desde 8 hasta más de 22 Mbps.

Para la codificación de audio se utiliza MPEG-2 AAC por su calidad y altos niveles de compresión que maneja comparado con MPEG-2 BC.

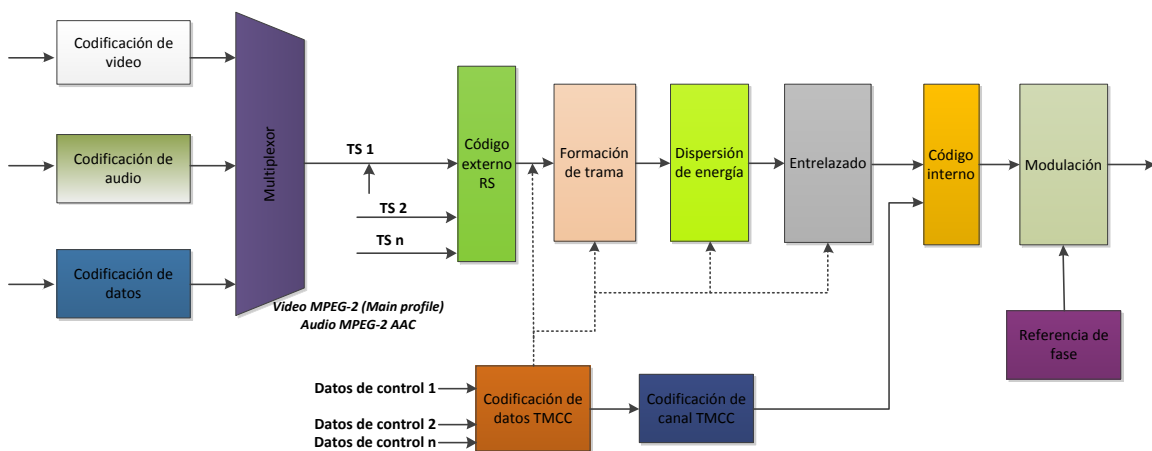


Figura 2.17. Diagrama a bloques transmisión ISDB-S.

En la figura 2.17 se presenta el diagrama a bloques del sistema ISDB-S, a continuación se explicaran brevemente los bloques correspondientes a la codificación de canal:

- En la parte de corrección de errores se utiliza un codificador de FEC adaptivo, el cual tiene la facultad de cambiar de un esquema a otro dependiendo de las circunstancias. Como código interno se adoptó un código convolucional para modulaciones QPSK y BPSK y un código especial llamado código de Trellis para modulación 8PSK. Como código externo se utiliza un código Red Solomon (188, 204, 8).
- El esquema de modulación que este estándar agrega es conocido como TC8PSK (*Trellis Code Eight Phase Shift Keying*) y tiene el objetivo de mejorar la capacidad de transmisión lo más posible y permitir múltiples tramas de transporte sobre una misma portadora.

TCM (*Trellis Code Modulation*) cambia los esquemas de modulación tradicionales incorporando un nuevo parámetro, la distancia de la secuencias de símbolos. La idea principal es combinar la codificación y la modulación [61, 68].

El ancho de banda se conserva, al igual que la tasa de símbolos. Lo que se hace es duplicar el número de símbolos en la modulación para con ello introducir una redundancia. El aumentar el número de símbolos nos haría pensar en un aumento en la probabilidad de error, pero ya que existe una fuerte correlación entre los símbolos, solamente ciertas secuencias son permitidas. Con ello, estaríamos agregando redundancia sin incrementar el ancho de banda.

Otra característica particular de ISDB-S es que permite controlar los sistemas de transmisión. En otras palabras, controla qué esquema de modulación se ocupará además del número de ranuras definidas para cada TS. A esto se le conoce como TMCC (*Transmission and Multiplexing Configuration Control*).

Se pueden seleccionar entre 7 esquemas de modulación y codificación:

- TC8PSK, FEC: $\frac{2}{3}$
- QPSK, FEC: $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{7}{8}$.
- BPSK, FEC: $\frac{1}{2}$

El factor de *Roll-off* del filtro coseno elevado es de 0.35.

La televisión digital por satélite entró a Japón mediante los servicios ofrecidos por la compañía *PerfectTV* la cual hacía uso del estándar DVB-S en octubre del 1996 y por *DirectTV* que también utilizaba DVB-S, en diciembre de 1997. Pero las principales compañías regionales de radiodifusión como *NHK*, *Nippon Televisión*, *TBS*, *Fuji Televisión*, *TV Tokio*, entre otras nunca estuvieron satisfechas con el desempeño del estándar. En consecuencia ARIB desarrolló ISDB-S que como ya se describió anteriormente fue aceptado por sus características enfocadas a transmitir señales de alta definición.

Hoy en día *SKYPerfectTV!*, sucesor de *Skyport TV*, *SkyD*, *CS burn*, *DirectTV* y *PerfectTV!* hacen uso de ISDB-S y se ha convertido en el principal operador satelital de Japón. *SKY Perfect JSAT* cuenta con 14 satélites con cobertura sobre Japón y gran parte de Asia así como Oceanía y Norte América, proporcionando programación de TV abierta y de prepago a miles de usuarios.

2.7. ATSC A/81

ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) fue formado en el año 1982 por varias asociaciones norteamericanas. En la actualidad está conformada por aproximadamente 140 miembros de sectores como la radiodifusión, equipos de transmisión, electrónica, cableado, servicios satelitales, semiconductores entre otros.

Los estándares de televisión digital del consorcio ATSC incluyen señales de HDTV, SDTV, emisión de datos, audio multicanal y radiodifusión satelital DTH (*Direct To Home*).

El sistema trata de comprender dos partes: el sistema de transmisión y el receptor/decodificador. El sistema de transmisión comprende a un multiplexor de transporte, un modulador y una etapa de codificación. Las especificaciones para el modulador y la etapa de codificación no fueron vistas como necesarias para los propósitos del estándar y fueron dejadas a elección del proveedor de servicios para su implementación [1,2].

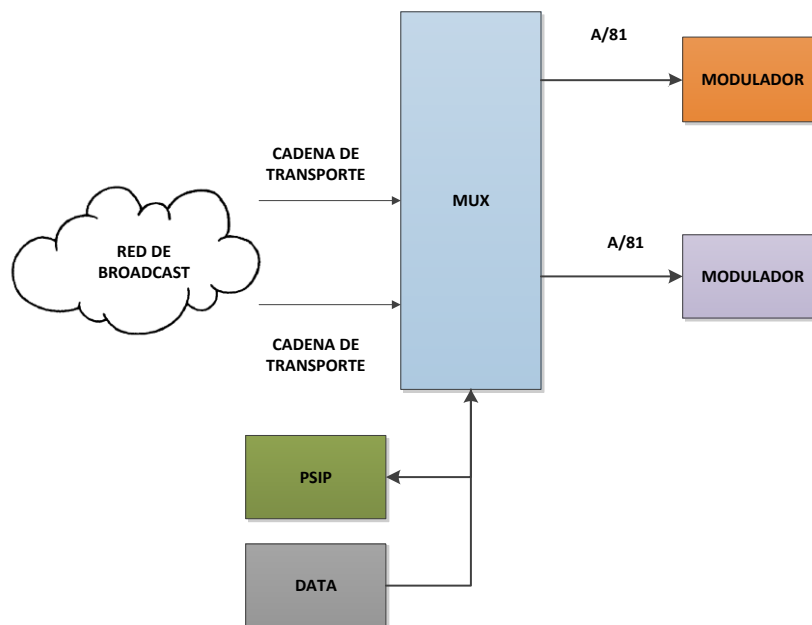


Figura 2.18. Diagrama del sistema ATSC

En la práctica, este sistema nunca ha sido implementado debido al surgimiento posterior de DVB-S2. Por otro lado, ATSC A/81 no aporta mejoras sustanciales a la eficiencia comparándose con DVB-S por lo que desde un principio se encontró en un panorama complicado para su evolución. De hecho ATSC A/81 fue pensado más como una adaptación de compatibilidad de las extensiones de audio, video, transporte y los servicios de información definidos en los documentos A/53B y A/65A.

2.8. Otros estándares de televisión digital por satélite.

La evolución hacia los estándares que conocemos actualmente es producto de los años y de cientos de personas dedicadas a la evaluación e investigación de nuevas técnicas en las comunicaciones. Algunos estándares como los de DVB e ISDB no partieron desde cero, pues tiempo antes de su publicación, ya se había trabajado con formatos de transmisión análogos o híbridos (parte análoga y parte digital) como MAC (estándar europeo predecesor de DVB-S y DVB-T) y *MUSE* (estándar japonés predecesor de ISDB). En el caso de Estados Unidos, estos fueron los primeros en implementar un sistema totalmente digital que a su vez fue comercialmente exitoso: DSS (*Digital Satellite Service*).

DSS es un estándar privado desarrollado por la empresa estadounidense *Hughes Electronics Corporation* y usado por *DirecTV* para la radiodifusión directa al hogar de televisión en el territorio de Estados Unidos. Fue lanzado en 1994 y ha sido paulatinamente sustituido por DVB-S2. Este estándar fue difundido antes que la especificación MPEG-2, no obstante está basado en un esquema de codificación similar a veces referido como “MPEG 1.5”. A pesar de su carácter privado, este estándar tuvo una penetración grande, debido al tamaño y población de Estados Unidos, por lo que la UIT lo catalogó como el sistema B de televisión directa al hogar [30].

Contemporáneo a DSS, surgió el competidor denominado por la UIT como sistema C [30]. El nombre comercial de este sistema es *Digicipher II*. Este servicio fue ofrecido por la empresa canadiense *StarChoice* desde el año de 1997.

La tabla de la figura 2.19 resume y compara las características disponibles de DSS, *Digicipher II* y DVB-S.

Parámetro	Sistema A (DVB-S)	Sistema B (DSS)	Sistema C (Digicipher II)
Códec de video	MPEG-2 MP@ML	MPEG 1.5	MPEG-2 MP@ML
Códec de audio	MPEG-1 Capa 2	Dolby AC-3	Dolby AC-3 MPEG-2 capa 1 y capa 2
Multiplexaje	MPEG Transport Stream	Propietario	MPEG Transport Stream
Tamaño del paquete de transporte	188 bytes	130 bytes	188 bytes
Servicios De Información	DVB-SI (ETSI 300 468)	Propietario	ATSC A/56; DVS-011
Código externo	RS(188,204,8)	RS(130,146,8)	RS(188,204,8)
Código interno	Convolucional (FEC: $\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{5}{6}, \frac{7}{8}$)	Trellis (FEC: $\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{5}{6}, \frac{7}{8}$)	Convolucional (FEC: $\frac{5}{11}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{5}{6}, \frac{7}{8}$)
Ancho de banda del transpondedor	Hasta 54 MHz	27MHz	No definido
Roll-Off	0.35 (coseno elevado)	0.2 (coseno elevado)	0.55 y 0.33 (Butterworth de 4º orden)
Esquema de modulación	QPSK	QPSK	QPSK
Tasa de símbolos	1 a 45 Ms/s (promedio)	20Ms/s	19.5 a 29.3 Ms/s

Figura 2.19. Tabla comparativa de estándares DVB-S, DSS y Digicipher II.

Actualmente, *DirecTV* opera bajo el estándar DVB-S2 (con algunas modificaciones menores) y es una de las compañías con mayor penetración de servicios directos al hogar en América. Por su parte *StarChoice* fue absorbida por la compañía *Shaw Communications Inc.* que es uno de los principales proveedores de servicios de telecomunicaciones en Canadá.

En el campo de las comunicaciones móviles, existe otra variante similar a DVB-SH denominada S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*) la cual es parte de un proyecto nacional de Corea del Sur que consiste en la recepción de contenidos multimedia en dispositivos portátiles. La parte de este estándar, enfocada a la transmisión de contenidos por satélite define como características técnicas el uso de 15MHz en la banda S con una capacidad de unos 18 canales de datos con velocidades de 128kbps. Con el fin de garantizar la recepción correcta tanto en interiores como exteriores, es necesario incluir repetidores de señal terrestres, especialmente en entornos urbanos [54].

Para poder transportar los contenidos multimedia, el estándar S-DMB incorpora varias herramientas de corrección de errores y transporte como códigos Reed-Solomon y paquetes MPEG TS. Los contenidos son codificados bajo el estándar MPEG-4. En marzo de 2004 se lanzó el satélite *MBSat1* que provee los servicios del sistema S-DMB en Corea del Sur y Japón.

Por su parte, el gobierno chino inició sus trabajos de investigación y desarrollo de un estándar de televisión digital DTH. A la especificación se le conoce como ABS-S. De acuerdo a su documentación, ABS-S soporta varios servicios y aplicaciones que varían desde radiodifusión de TV digital hasta distribución de datos para servicios interactivos. Comparado con DVB-S2, los sistemas ABS-S son de menor complejidad y menor costo. Este sistema tiene como intención ser implementado en regiones rurales o con cobertura limitada del país asiático. El encapsulado y la protección contra errores (basada en códigos LDPC) de ABS-S, alcanza desempeños comparables con DVB-S2 apuntando la menor complejidad del primero. Con todo, podría considerarse que el estándar ABS-S está basado en los mismos principios que su homólogo Europeo y no tiene alguna ventaja operativa que le acredite mayor valor a su estudio en nuestro entorno [46].

2.9. Comparativa de estándares principales

De acuerdo a lo estudiado, en televisión por satélite de servicio fijo o de radiodifusión existen 3 estándares implementados a gran escala. En la tabla de la figura 2.20 se resumen las características principales de estos.

Parámetro	DVB-S	DVB-S2	ISDB-S
Códec de video	MPEG-2	MPEG-2, MPEG-4	MPEG-2
Códec de audio	MPEG-1 Capa 2 Dolby AC-3 (como datos de programa)	AAC, AC-3, MPEG-1	MPEG-2 AAC
Multiplexaje	MPEG Transport Stream	MPEG Transport Stream, ATM, IP	MPEG Transport Stream
Tamaño del paquete de transporte	188 bytes	Variable dependiendo del multiplexaje	188 bytes
Código externo	RS(188,204,8)	BCH variable	RS(188,204,8)
Código interno	Convolucional (FEC: $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{7}{8}$)	LDPC (FEC: $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{8}{9}$ y $\frac{9}{10}$).	8PSK: Trellis QPSK, BPSK: Convolucional
Ancho de banda del transpondedor	Hasta 54 MHz	Variable	27MHz o 36MHz
Roll-Off	0.35 (coseno elevado)	0.20, 0.25, 0.35 (coseno elevado)	0.35 (coseno elevado)
Esquema de modulación	QPSK, BPSK(opcional)	QPSK, 8PSK, 16APSK o 32APSK	BPSK, QPSK, TC8PSK
Tasa de símbolos	1 a 45 Ms/s (promedio)	Variable	28.86 Ms/s

Figura 2.20. Tabla comparativa de DVB-S, DVB-S2 e ISDB-S