

2

EL SISTEMA DE TRANSPORTE EN TV DIGITAL

7.0 Introducción.

El tema que se trata en este capítulo se refiere a los procedimientos de transporte de las señales digitales de televisión basadas en el estándar MPEG-2. En el Capítulo 6 se trató de la codificación de fuente basada en el mismo estándar MPEG-2 que ha sido adoptado prácticamente en todo el mundo para la compresión de vídeo en el entorno de la televisión digital.

Para transmitir una señal de televisión digital, no basta con la codificación de fuente, ya sea que esté basada en MPEG-2 o en cualquier otro procedimiento. Es necesario transportarla entre el codificador de fuente y el decodificador del usuario final, ya sea éste un televidente o una empresa dedicada a la difusión de programas de televisión por aire, cable o satélite. Aún asumiendo que el medio de transporte es ideal y transparente en el sentido de que no introduzca ninguna alteración a la señal original, la propia forma de codificación y compresión digital hacen necesaria la identificación de las diversas porciones que conforman una imagen de vídeo o una trama de audio. Por consecuencia no basta con especificar los requisitos que deben cumplirse para la compresión de la señal, sino que es necesario especificar claramente la forma en que debe ser transportada, ya sea con fines de contribución o de distribución. Con este propósito, también se han desarrollado estándares relativos al transporte de señales MPEG-2 a fin de que los que los sistemas que se diseñen y fabriquen cumplan con ellos para garantizar que el usuario final podrá recuperar la señal de televisión (audio, vídeo y eventualmente otros tipos de información como subtítulos, teletexto, etc.) con la fidelidad necesaria.

Este tema se relaciona más con el campo de la transmisión de datos o telemática que de televisión y comunicaciones, en un sentido relativamente tradicional. Por ello, algunos conceptos y el lenguaje utilizado se orientan más a dicho campo. En el tratamiento del tema se ha tratado de reducir en lo posible el empleo de las numerosas abreviaturas utilizadas en transmisión de datos que con frecuencia, resultan extrañas y molestas para quienes no están habituados a ellas. Por ello, se ha tratado de no abusar de la terminología abreviada, aunque con frecuencia es difícil prescindir de ella. Por otra parte, con frecuencia resulta difícil hacer una traducción fiel de muchos de los términos usados habitualmente en inglés. En la medida posible se ha respetado nuestro idioma, el español, pero en ocasiones en que el uso común o la inconveniencia de la traducción hacen inadecuado el empleo de una o varias palabras en español, se ha mantenido el término en inglés sin que ello signifique menoscabo alguno de nuestra lengua materna. Se asume también que el lector tiene conocimientos elementales de algunos conceptos de transmisión de datos, ya que la transmisión de la señal digital de televisión se basa en esos principios y para quienes están habituados a los sistemas puramente analógicos, aquélla puede parecer considerablemente más compleja, sobre todo si se tiene en cuenta que, con frecuencia resulta difícil distinguir si una situación específica requiere un tratamiento de software o de hardware. Esto ocurre especialmente con las figuras y diagramas, en que se mezclan ambas técnicas y es difícil, a simple vista, distinguir el hardware del software. En cualquier caso, lo que se pretende aquí es transmitir los conceptos básicos relacionados con el transporte y transmisión de señales digitales de televisión, sin entrar a fondo en aspectos de implementación que, se espera, el lector sea capaz de discernir.

7.1. El flujo de transporte MPEG-2

Existe abundante literatura relacionada con la compresión de vídeo según el estándar MPEG-2, sin embargo, la literatura sobre la forma de transportar la señal resultante de la compresión con ese estándar es muy escasa, a pesar de la enorme importancia que tiene, en particular para quienes deben proporcionar servicios de televisión en cualquiera de las formas actuales.

Según lo tratado en el Capítulo 6, MPEG-2 es en realidad una especificación de la sintaxis y semántica de compresión de la señal de televisión que no especifica cómo debe ser codificada, sino los requisitos que debe cumplir para su correcta decodificación. Es decir, especifica la gramática con que se debe generar la señal, pero deja abierto el camino para que el diseño de los codificadores pueda ser muy variado, siempre que cumplan con dicha gramática, de modo que los decodificadores de diversos tipos puedan convertir la señal MPEG-2 en una señal útil de televisión. De hecho, el estándar MPEG-2 se ha adoptado mundialmente para vídeo, pero no para el audio. En tanto que el sistema DVB¹, originado en Europa, emplea el estándar de audio MPEG-2, el sistema ATSC² emplea un sistema de compresión totalmente diferente e incompatible con el primero, el Dolby AC-3.

Por otra parte el estándar MPEG-2 especifica también la forma en que debe transportarse la señal digital de televisión en la sección de “Sistemas” conocida como ISO/IEC 13818-1, en que trata del transporte de las señales codificadas y multiplexadas hasta el decodificador a través de una diversidad de medios físicos y a la forma en que el decodificador puede identificar la información transportada por el flujo o caudal binario.

Tanto los estándares MPEG-1 como MPEG-2 contienen una especificación de *nivel del sistema*. En el caso de MPEG-1, tiene que ver básicamente con la sincronización de los flujos de audio y vídeo que se suministran a un decodificador, por ejemplo un reproductor de disco compacto (CD). El nivel del sistema se designa como *flujo de programa*, ya que fue diseñado para reproducir una única señal de vídeo o *programa*. La diferencia principal entre los sistemas MPEG-1 y MPEG-2, en lo que concierne al transporte de la señal, es que este último tiene en cuenta la posibilidad de errores en el medio de transmisión y proporciona las “anclas” necesarias para los sistemas de acceso condicional. Existen también algunas diferencias menores en el formato de los paquetes elementales.

Por otra parte MPEG-2 va más allá de MPEG-1 al agregar un *caudal o flujo de transporte* a su nivel del sistema. El flujo de transporte tiene que ver con la conectividad entre sistemas (codificador y decodificador) en condiciones adversas, tales como las que se tienen en medios radioeléctricos en los que se introducen errores y ruido en el medio de transmisión. Además, el flujo de transporte se expandió en previsión a la posibilidad de transmitir más de un programa simultáneamente y permite también, que un mismo programa pueda tener diversos flujos de audio y vídeo. Una característica adicional que ofrece el sistema de transporte es la de hacer posible la transmisión de datos adicionales, no necesariamente relacionados con la señal de televisión y que puede utilizarse para implementar diversos servicios en el futuro, tanto para los proveedores del servicio como para los usuarios finales, por ejemplo, la transmisión de software para computadoras.

El sistema MPEG-2 proporciona un enfoque de multiplexado en dos niveles o capas. La primera se destina a asegurar el sincronismo entre el audio y el vídeo y se designa como *flujo elemental de paquetes* (PES). La segunda, depende del medio de comunicación. Las especificaciones para los medios libres de error, tales como los de almacenamiento en cinta o disco, reciben el nombre de *transporte de programa*, en tanto que las especificaciones orientadas a los entornos en que ocurren errores se designa como *flujo de transporte*.

7.1.1 Tecnología básica de transmisión.

¹ Digital Video Broadcasting

² Advanced Television Standards Committee

El flujo de transporte MPEG-2 está basado en una tecnología de *transporte de paquetes*, similar a otras como Ethernet, SONET/SDH, etc. La información digital, comprimida, de audio y vídeo se segmenta en una serie de paquetes, con información añadida en encabezados y colas para hacer que el sistema de transmisión pueda llevar el seguimiento adecuado del contenido y destino de cada paquete.

Esta técnica, aunque aparentemente compleja, es bien conocida y aplicada desde hace muchos años. Ofrece, en el caso de la televisión digital, una ventaja importante, y es que una variedad de flujos binarios sin ninguna relación entre sí, pueden mezclarse en un mismo flujo o caudal, de manera similar al gran número de vehículos que comparten una misma autopista. Si bien esta es una forma de multiplexado, no es estrictamente multiplexado en tiempo (TDM) ni en frecuencia (FDM) y suele designarse como *multiplexado estadístico*, aunque en realidad no es tal. La designación apropiada es la de un sistema de *conmutación de paquetes*, en que cada paquete corresponde a un flujo de información particular y tiene un número de identificación específico, de manera que puede seleccionarse fácilmente de la masa de otros paquetes. En el caso de MPEG, los paquetes se identifican mediante un campo específico dentro del paquete, designado como *identificador de paquete* (PID³). Entre algunas de las ventajas de esta tecnología está la posibilidad de variar el flujo dinámicamente, variar dinámicamente la velocidad de transmisión para cualquier flujo particular y acceder a cualquier flujo elemental simplemente seleccionando el identificador de paquete (PID).

7.1.2 Elementos constitutivos del Sistema de Transporte MPEG-2

Flujos empaquetados elementales (PES⁴). La salida del codificador MPEG, ya sea de audio o vídeo constituye un *flujo elemental* y hay, por lo menos, uno para audio y uno para vídeo. Ambos se integran en un *flujo empaquetado elemental* que contiene la información de audio y vídeo sobre la que actuará el decodificador. Además de la información de audio y vídeo, cada flujo incluye *sellos o marcas de presentación de tiempo* (PTS⁵) que permiten la sincronización del audio y el vídeo. Además de transportar la información de audio y vídeo, pueden definirse PES para datos DSM-CC⁶, así como para “datos privados”, definidos por el usuario, generalmente el prestador del servicio, para sus propias necesidades.

Referencia del reloj del programa (PCR⁷). Dado que es literalmente imposible implementar un gran número de codificadores y decodificadores con relojes⁸ perfectamente sincronizados, es posible que el reloj del decodificador vaya ligeramente atrasado o adelantado respecto al del codificador. Si la secuencia de vídeo es suficientemente larga, esto puede dar lugar a contención o desborde en el buffer del decodificador, lo que causaría un problema serio para la reproducción correcta de la información. La solución a este problema se lleva a cabo mediante una referencia de tiempo a nivel del sistema, de gran precisión, que se agrega al flujo del sistema, de modo que el decodificador pueda ajustar su reloj, es decir, sincronizarse, con el reloj del codificador. Esta función se designa como *reloj de referencia del sistema* (SCR⁹) en un flujo de programa y *referencia de reloj del programa* (PCR), en un flujo de transporte. La diferencia entre ambos es principalmente semántica, ya que su función es prácticamente la misma. En el caso de MPEG-2, estas referencias de tiempo o de reloj están enganchadas a la frecuencia de 27 MHz y se insertan en el sistema de transporte cada 100 milisegundos, de forma que el decodificador pueda comparar continuamente el tiempo de su reloj con el del reloj del codificador. Si se detecta alguna diferencia, el decodificador cambia el tiempo de su reloj para ajustarlo al del PCR. El

³ PID: Packet Identifier.

⁴ PES: Packetized Elementary Streams

⁵ PTS: Presentation Time Stamp.

⁶ DSM-CC: Digital Storage Media Command and Control. Control de medios de almacenamiento digital.

⁷ PCR: Program Clock Reference.

⁸ El término *reloj* tiene aquí el mismo significado que en el contexto de computación. Se refiere a un oscilador o generador de pulsos que proporciona el tiempo de referencia en un sistema de transmisión de datos y que permite mantener el sistema sincronizado.

⁹ SCR: System Clock Reference.

PCR generalmente se inserta en el PES de vídeo de un programa particular y, puesto que hay un PCR diferente para cada programa particular en un sistema de transporte de programas múltiples, cada programa particular puede codificarse a velocidad diferente, por distintos codificadores.

Información específica del programa (PSI). En el sistema de transporte no sólo se tienen múltiples programas, sino además, cada programa puede estar conformado por múltiples señales de audio y vídeo, es necesario contar con algo semejante a un directorio que permita identificarlas. El flujo de transporte MPEG-2 especifica para este fin cuatro tablas, que pueden ser identificadas en el flujo de transporte. Dos de ellas, la *tabla de asociación de programas* (PAT¹⁰) y la *tabla del mapa del programa* (PTM¹¹) se utilizan para localizar los elementos de cada programa conducidos en el flujo de transporte.

Además, la especificación MPEG-2 define dos tablas más en el entorno PSI, pero no define su contenido. La primera es la *tabla de información de red* (NIT¹²) que puede transportar información sobre los parámetros físicos de la red, tales como frecuencias en un contexto de multiplexado en frecuencia (FDM) y números de transpondedores en el caso de comunicaciones por satélite, o cualesquiera otra información necesaria. Esta tabla está definida por el usuario, es decir el proveedor del servicio el responsable de la implementación de la red.

Otra tabla es la de *acceso condicional* (CAT¹³) que permite al proveedor del servicio asociar mensajes para la gestión de un programa particular (EMM¹⁴), por ejemplo para permitir la reproducción de un programa particular en un decodificador específico o en un grupo de decodificadores. También puede utilizarse para transmitir la información necesaria para descifrar señales. El contenido de esta tabla, igual que la NIT también debe ser definido por el usuario o proveedor del servicio.

Es importante mencionar aquí que no todas las características anteriores del sistema de transporte MPEG se han implementado en los sistemas actuales de televisión digital (DVB y ATSC), lo que hace, en principio, que los sistemas de transporte de estos dos estándares, ambos basados en MPEG-2, no sean compatibles.

Aunque no forman parte de la especificación MPEG-2, se pueden utilizar otras tablas en el sistema de transporte. Algunas de ellas son para uso privado de los proveedores del servicio, es decir, pertenecen a una implementación particular del sistema de transmisión MPEG-2, en tanto que el sistema DVB y otras organizaciones han añadido otras. El aspecto de importancia aquí, es que el sistema de transporte no es sólo para audio y vídeo, sino también para información relacionada con la programación, tal como cartelera o subtítulos, o bien en el futuro para otro tipo de información como la destinada a computadoras. Estas informaciones pueden ir incluidas en el flujo de transporte y constituyen un valor añadido a los servicios que prestan los radiodifusores y los operadores de cable. Entre estas tablas adicionales se encuentran las siguientes, que reciben el nombre genérico de *información del sistema* (SI¹⁵):

- Tabla de acceso condicional (CAT¹⁶). Aunque la existencia de esta tabla está definida en las especificaciones MPEG-2, su contenido no lo está. Esta tabla se utiliza para el descifrado de información y para control de acceso, por ejemplo en programas de *pago por visión o por evento* y, por tanto, su contenido depende del proveedor del servicio. Esta tabla es muy importante para impedir la piratería de programas en el sistema DVB.

¹⁰ PAT: Program Association Table.

¹¹ PMT: Program Map Table.

¹² NIT: Network Information Table.

¹³ CAT: Conditional Access Table.

¹⁴ EMM: Entitlement Management Access.

¹⁵ SI: System Information.

¹⁶ CAT: Conditional Access Table.

- Tabla de información de red (NIT). Ya mencionada antes en la sección en que se trató la información específica de programa (PSI). Por el término “red”, se entiende aquí todo el contenido de un canal de transmisión, ya sea por ejemplo, un transpondedor de satélite o un cable. En dicho canal es necesaria información de frecuencias, anchos de banda, etc., que puede ser requerida por el decodificador.
- Tabla de asociación de “bouquet” (BAT¹⁷). En este contexto, el término *bouquet (ramillete)* no tiene un equivalente preciso en español y aquí se entiende por tal al conjunto de servicios comercializados como una entidad única. Un bouquet puede mapearse a través de más de una red y el propósito de esta tabla es contribuir a su organización.
- Tabla de descripción de servicios (SDT¹⁸). Esta tabla describe los servicios en términos de su nombre, proveedor y demás información relativa.
- Tabla de información de eventos (EIT¹⁹). Esta tabla es, de hecho, una guía de programación en línea y contiene información sobre los nombres de programas, horario de inicio, duración y categoría (comedia, deportes, etc.).
- Tabla de estado (RST²⁰). Es una lista de disponibilidad de programas y si están o no codificados (encriptados).
- Tabla de tiempo y fecha (TDT²¹). Contiene información sobre la fecha y horarios locales y se utiliza en el decodificador para actualizar su reloj interno.

7.1.3. Reproducción de un programa.

Aunque algunas de las ideas expresadas en los puntos anteriores se desarrollarán con algo más de amplitud en otras secciones de este capítulo, conviene ahora resumirlas brevemente para comprender cómo puede localizarse y decodificarse un programa en un receptor de televisión o en una terminal de usuario adosada a un receptor analógico convencional.

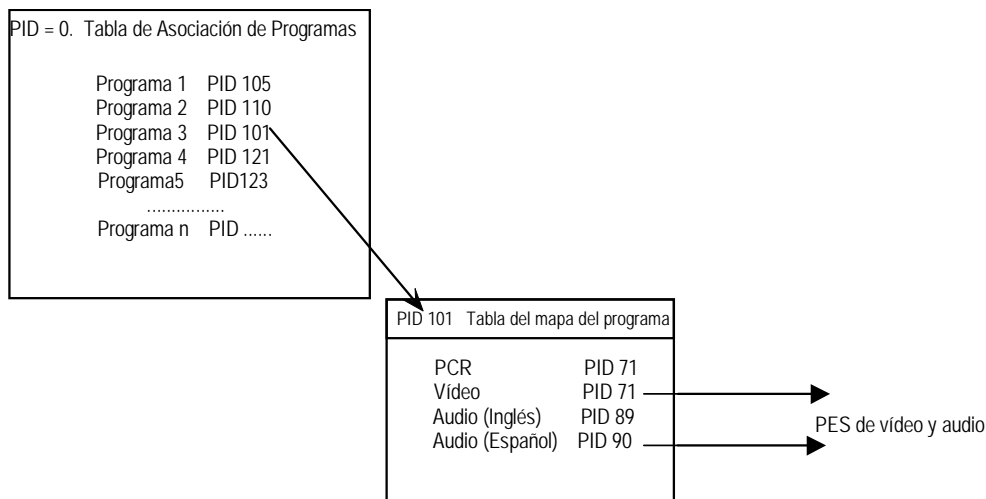


Fig. 7.1. Mapeo de un programa de la PAT, a la PMT y al flujo elemental de paquetes de audio y vídeo

¹⁷ BAT: Bouquet Association Table.

¹⁸ SDT: Service Description Table.

¹⁹ EIT: Event Information Table.

²⁰ RST: Running Status Table.

²¹ TDT: Time and Date Table.

El proceso se inicia cuando un espectador decide ver un programa, publicado en una lista en la prensa o visualizado en la pantalla del televisor como resultado de la tabla de información de eventos (EIT) y sintoniza el aparato, que en este caso puede ser un receptor-decodificador integrado (IRD²²), al número de canal (programa) que desea ver. Lo que ocurre a continuación es estrictamente función de la forma en que el IRD “lee” el flujo de transporte presente en su entrada. Es decir, el sintonizador no cambia de frecuencia ni hay conmutación de canales. El mismo flujo de transporte contiene un cierto número de programas sobre el mismo canal de comunicación al que está sintonizado el IRD, entre los que asume se encuentra el programa deseado.

La primera acción del receptor es buscar la tabla de asignación de programas (PAT) más inmediata en el flujo de transporte de entrada. Esta tabla siempre tiene un identificador de paquete PID = 0 y contiene la lista de los diversos programas que, en la mentalidad del espectador siguen siendo “canales”. Cada entrada de la tabla tiene el número del identificador PID de la tabla del mapa del programa (PMT²³) que define al programa deseado. Este proceso se ilustra en la figura 7.1 y, para el caso del ejemplo se asume que el PID del programa deseado es el 101.

Cuando el receptor ha localizado la tabla de asociación de programas en el flujo de transporte, espera por un paquete cuyo PID sea 101. Este paquete contendrá la tabla del mapa de programa deseado y contiene uno o más elementos con los números de PID de los paquetes elementales (PES). Aún cuando generalmente los paquetes elementales corresponden a una señal de vídeo y otra de audio, puede haber varias copias de ellas, por ejemplo audio en varios idiomas, información de orientación paternal sobre el programa, etc. En el ejemplo de la figura, el PID para el vídeo es 71 y si el usuario elige el audio en español, el número del PID correspondiente es 90. El receptor selecciona los paquetes correspondientes a la selección del usuario y procede a su decodificación. El receptor selecciona también cualquier paquete elemental (PES) que contenga la información de referencia de reloj (PCR) que, generalmente se encuentra en el mismo flujo de vídeo.

7.2 Concepto general del Sistema de Transporte

El concepto de “transporte” en el sistema digital de televisión, aunque en principio similar al empleado en los sistemas analógicos, presenta algunas diferencias a causa de las características de la señal digital, que es conveniente analizar. En los sistemas analógicos las señales de audio y vídeo se multiplexan en frecuencia en el ancho de banda de un canal de televisión (6, 7 u 8 MHz según el caso). En el caso de transmisión por cable o fibra óptica, el multiplexado también es, por lo general, en frecuencia y se aplican los esquemas tradicionales bien conocidos. En el caso de la señal digital de televisión y considerándola compuesta únicamente por las señales digitales de audio y vídeo, éstas deben transmitirse como un flujo o caudal binario único, por lo que es necesario multiplexarlas también, pero en este caso en tiempo y no en frecuencia. Es claro que a estas señales pueden agregarse otras de valor añadido, de utilidad ya sea para el televidente o para el proveedor del servicio y que también deberán ser multiplexadas en tiempo con las de audio y vídeo.

El estándar MPEG, tanto para imagen como para sonido define un esquema de transmisión en paquetes de longitud fija, gracias al cual es posible el multiplexado de paquetes, a fin de que el usuario final perciba el sonido prácticamente al mismo tiempo que la imagen. Esta estructura de paquetes es fundamental, no sólo para el transporte de la señal, sino para aspectos tan importantes como la grabación, reproducción y edición de los programas de televisión.

Ahora bien, la utilización del espectro radioeléctrico, ya sea que se trate de sistemas de radiodifusión terrestre, de cable o de satélite, no es la misma en el caso analógico que en el digital. En el primero, los canales tienen un ancho de banda fijo que, en principio, no puede reducirse sin un deterioro apreciable de la calidad de la señal. En el dominio digital, el ancho de banda depende del nivel de compresión y,

²² IRD: Integrated Receiver Decoder.

²³ PMT: Program Map Table.

por consecuencia, en el ancho de banda de un canal analógico pueden transmitirse varios canales digitales con calidad equivalente. Lo mismo ocurre en los sistemas de cable o de satélite. Este es un aspecto que aún no está suficientemente claro y que tendrá que ser objeto de estudio para llegar a una estandarización adecuada con miras al futuro funcionamiento de sistemas completamente digitales.

Independientemente de lo anterior, es claro que puede establecerse una filosofía general, que es la que subyace en el sistema de transporte de la señal digital de televisión. Así, puede pensarse en el transporte²⁴ como aquél en que puede transmitirse un programa único de televisión o bien varios programas para su distribución subsecuente. Además, en el sistema de transporte se contempla también la posibilidad de transmitir información de valor añadido como pueden ser tablas o mapas de programación, teletexto, etc., y también otros tipos de información accesible al televidente como información bursátil o financiera, servicios de teletienda, etc., además de datos y software para computadoras. Aún cuando estos aspectos no están aún implementados, la tendencia parece ir en esa dirección y es muy probable que en un futuro próximo, se cuente con receptores “inteligentes” de televisión que puedan manejar no sólo los programas de televisión, sino información de tipo y aplicaciones muy variadas.

La implementación de un sistema de transporte en términos de paquetes de información conlleva necesariamente la identificación y sincronismo de cada paquete a fin de que pueda ser recuperado correctamente en el receptor, dentro del contexto de la señal completa de televisión. Este es el tema que, en forma general se trata en este capítulo, a fin de dar un idea básica, no necesariamente superficial de dicho sistema de transporte. Los detalles son numerosos y los estándares que se han desarrollado hasta la fecha, relativamente abundantes, por lo que no es posible un tratamiento completamente detallado, pero sí proporcionar tanto las ideas fundamentales como la orientación suficiente para abundar en el tema.

7.3. Características generales del sistema de transporte

El sistema de transporte se basa en la segmentación del flujo binario en paquetes de longitud fija de acuerdo a las definiciones que proporciona MPEG. Este enfoque de la capa de transporte es adecuado para las necesidades de transmisión terrestre y por cable y el empleo de paquetes de datos de longitud fija y tamaño moderado, es también adecuado para aplicar técnicas eficientes de corrección de errores en ambos medios de transmisión. Además, proporciona la flexibilidad suficiente para adecuar las necesidades de multiplexado, al mismo tiempo que proporciona medios bien definidos para agregar servicios adicionales en el futuro y mantiene la interoperabilidad con otros medios, sobre todo en entornos multimedia hacia los que apuntan las tendencias actuales.

El empleo de paquetes de longitud fija brinda completa flexibilidad para la asignación de la capacidad necesaria del canal a las diferentes señales que componen la señal digital de televisión, incluyendo aquellas de los servicios de valor añadido. A fin de identificar el tipo de información, en el encabezado del paquete se emplea el *identificador de paquete* o PID. De esta forma, toda la capacidad del canal puede asignarse en lo que podría designarse como “ráfagas de información” y hace posible el empleo de paquetes para la distribución de llaves de decodificación a una audiencia considerable de televidentes durante los segundos que preceden a un evento de pago por visión, o bien para la descarga de material relacionado con la programación y aún de software en el futuro.

El formato de transporte en las condiciones descritas antes, también es *escalable* en el sentido de que es posible explotar la disponibilidad de canales de diferentes anchos de banda, agregando más flujos elementales a la entrada del multiplexor, aspecto que es de particular importancia en los sistemas de distribución como los de cable o fibra óptica.

²⁴ El empleo de la palabra *transporte* aquí, se refiere precisamente al transporte de la señal, bien sea con fines de contribución o de distribución y, según el contexto, puede considerarse a veces como sinónimo de *transmisión*.

En vista de las posibilidades que la televisión digital abre para nuevos servicios en el futuro y que aún no es posible anticipar, es muy importante que la arquitectura del sistema de transporte sea abierta, de modo que sea posible agregar nuevos flujos binarios sin modificaciones de hardware, únicamente agregando nuevos identificadores de paquete en el transmisor y filtrándolos en el receptor. La compatibilidad con sistemas existentes también queda asegurada, porque al introducir nuevos flujos al sistema de transporte, los decodificadores “antiguos” simplemente ignorarán los nuevos PIDs. Esta característica podría utilizarse para introducir, en forma compatible con los formatos tradicionales (barrido secuencial y relación de aspecto 4:3), formatos progresivos como los que se han pensado para los sistemas de definición extendida o de alta definición, transmitiendo datos adicionales junto con el flujo básico original.

Otra característica importante del sistema de transporte basado en paquetes de longitud fija, es que en el receptor es posible la decodificación mediante arquitecturas relativamente simples y adecuadas para las elevadas velocidades de transmisión utilizadas en televisión digital. El decodificador no requiere “saber” a detalle la estrategia de multiplexado ni las características del caudal binario de la fuente para extraer los flujos binarios elementales en el demultiplexor. Todo lo que requiere el decodificador es identificar correctamente el paquete utilizando el PID en cada encabezado de paquete, en posiciones fijas y conocidas del flujo binario. Todo ello dentro del contexto de un sincronismo preciso.

Según se mencionó, el sistema de transporte está basado en la especificación del sistema MPEG-2. Sin embargo, dicha especificación es general y las diferentes implementaciones (ATSC y DVB) lo han adecuado a sus requerimientos específicos, con el fin de evitar la disminución en la eficiencia a que daría lugar el uso de los protocolos que se aplicarían en el caso general.

La compatibilidad del sistema de transporte con MPEG-2 permite, además, la interoperabilidad con otras aplicaciones que utilicen MPEG-2, entre las que pueden incluirse el almacenamiento de flujos comprimidos, interconexión de computadoras y sistemas de distribución que no sean de alta definición. Dicha compatibilidad implica que los flujos de transporte de televisión digital pueden manejarse, en principio, directamente por esas otras aplicaciones, al menos si son compatibles en ancho de banda y velocidad de procesado.

7.4 El Sistema de Transporte en el contexto del sistema de televisión digital.

En la figura 7.2 se ilustra la situación del sistema de transporte y multiplexado dentro del contexto general de un sistema de televisión digital. El transporte se localiza entre la función de codificación o decodificación de la aplicación (audio, vídeo, etc.) y el sistema de transmisión, antes de la codificación de canal. En su nivel o capa inferior, el sistema de transporte realiza la función de dar formato a la información codificada procedente del codificador de fuente y multiplexar los diferentes componentes para su transmisión. En el receptor, tiene la función de recuperar los flujos binarios correspondientes a cada aplicación individual. La estructura en bloques con algo más de detalle se ilustra en las figuras 7.3 (a), para el extremo transmisor y 7.3 (b) para el receptor, para el caso de un solo programa.

En el extremo transmisor y más concretamente, en el del codificador de fuente, representado esquemáticamente en la figura 7.2 por los codificadores de vídeo, audio y transporte, se utiliza una familia de frecuencias basada en un oscilador o reloj de 27 MHz. Esta señal de reloj se usa para generar una muestra de 42 bits de la frecuencia, que se segmenta en dos partes de acuerdo a la especificación MPEG-2. Estas son la *base de referencia del reloj de programa*, de 33 bits y la *extensión de referencia del reloj de programa*, de 9 bits. La primera equivale a una muestra de una señal de reloj a 90 KHz, enganchada en frecuencia al reloj de 27 MHz y se utiliza por los codificadores de audio y vídeo al codificar el *sello o marca de tiempo de presentación* (PTS²⁵) y el *sello de tiempo de decodificación* (DTS²⁶). Las señales de reloj para muestreo del audio y del vídeo

²⁵ PTS: Presentation Time Stamp

²⁶ DTS: Decode Time Stamp.

deben estar enganchadas en frecuencia al reloj de 27 MHz. Ambas señales deben cumplir el requisito dado por las expresiones 7.1 y 7.2.

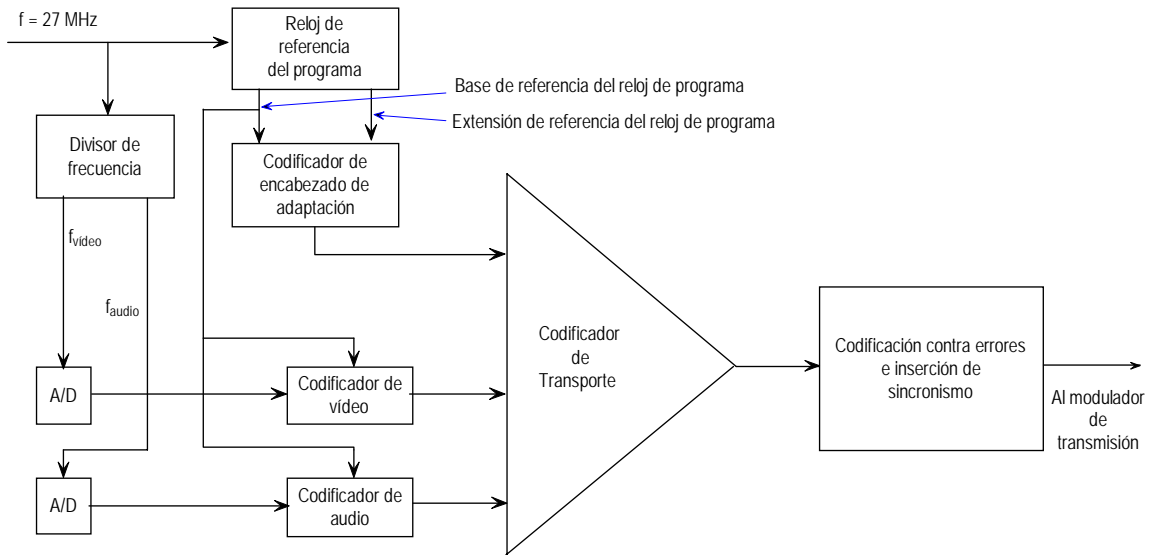


Fig. 7.2. Ubicación del sistema de transporte en el sistema de televisión digital.

$$f_a = \left(\frac{n_a}{m_a} \right) \times 27 \text{ MHz} \quad (7.1)$$

$$f_v = \left(\frac{n_v}{m_v} \right) \times 27 \text{ MHz} \quad (7.2)$$

Donde n_a , n_v , m_a y m_v son enteros.

En una capa superior, el multiplexado y demultiplexado de programas múltiples, incluidos en un mismo caudal binario, puede lograrse con una etapa adicional de multiplexado y demultiplexado antes de la etapa final de transmisión o de la entrada al receptor individual. El sistema de transporte también incluye funciones de nivel superior relacionadas con la identificación de las aplicaciones y de sincronización del receptor.

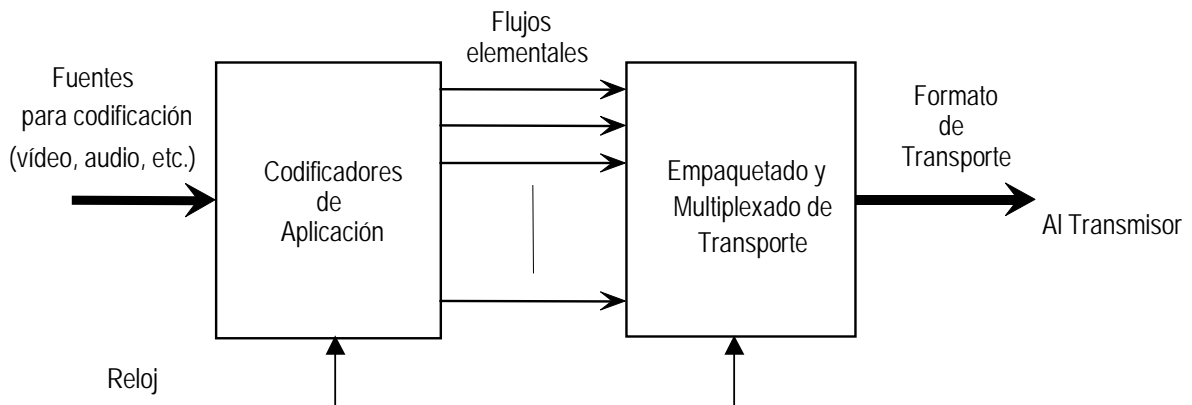


Fig. 7.3(a) Extremo transmisor del sistema de transporte

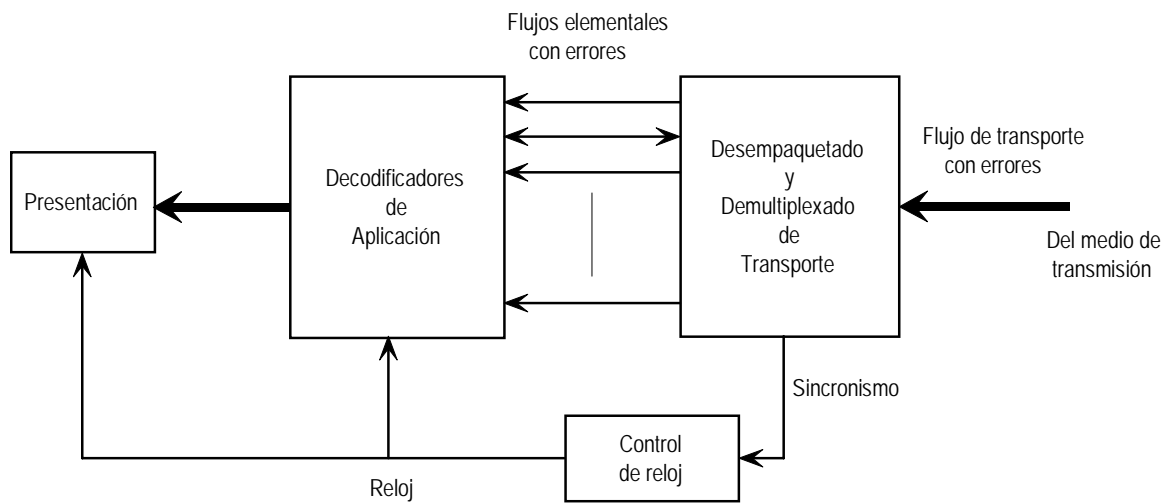


Fig 7.3(b). Extremo receptor del sistema de transporte

Según se mencionó, el mecanismo de transporte se basa en el empleo de paquetes de longitud fija, identificados por encabezados. Cada encabezado identifica al flujo de datos de una aplicación particular, designado también como *flujo elemental*, que constituye la carga útil de información del paquete. Las aplicaciones incluyen vídeo, audio, datos e información de programas y de control del sistema. Los flujos elementales de vídeo y audio van “envueltos” en una estructura de paquete de longitud variable, designada como *flujo elemental empaquetado* (PES²⁷) antes del proceso de transporte. La capa PES proporciona las funciones necesarias para identificación y sincronización en los procesos de decodificación y presentación de la aplicación individual.

Ascendiendo un nivel en la descripción de la organización general, los flujos elementales que comparten una misma base de tiempo se multiplexan, junto con información de control, en *programas*. Debe notarse que la designación de *programa* en un sistema de televisión digital es análoga a un canal o programa en televisión analógica, en el sentido de que contiene vídeo, audio e información adicional, necesaria para formar un programa completo de televisión. Estos programas, junto con la información de control global del sistema se multiplexan de modo asíncrono y constituyen el sistema multiplexado.

En este nivel, el sistema de transporte es sumamente flexible ya que permite que los programas puedan definirse como cualquier combinación de flujos elementales, de modo que un mismo flujo elemental puede estar presente en más de un programa, como ocurre con programas en que la imagen es la misma, pero el audio es diferente. Es decir, un programa puede formarse combinando un flujo elemental con otro suplementario, por ejemplo para utilizarse por decodificadores escalables y los programas pueden configurarse para ajustarlos a necesidades específicas como en el caso de transmisión de idiomas diferentes en el caso de emisiones regionales o internacionales.

Por otra parte, y como consecuencia de lo anterior, es posible multiplexar los diferentes programas según se desee y permitir al sistema reconfigurarlos con facilidad cuando sea necesario. El procedimiento de extracción de los programas individuales en un sistema dado es relativamente simple y está bien definido.

²⁷ PES: Packetized Elementary Stream

Además, el sistema de transporte ofrece otras características de utilidad tanto para el funcionamiento de los decodificadores normales, como aspectos especiales requeridos en las aplicaciones de radiodifusión y de transmisión por cable, como son la sincronización del decodificador, acceso condicional e inserción local de programas. Asimismo, la definición del flujo de transporte atiende directamente los aspectos relacionados con el almacenamiento y reproducción de programas que, si bien no está directamente relacionado con la transmisión, es un requisito fundamental para la creación anticipada de programas, su almacenamiento y reproducción en el momento deseado. Los programas se almacenan en el mismo formato en que son transmitidos, es decir, como flujos de transporte. Finalmente, el formato del flujo de datos contiene los elementos necesarios para soportar el diseño de equipos digitales destinados al consumo masivo, basados en la grabación y reproducción del flujo binario, de forma similar a la empleada con los equipos domésticos analógicos, si bien es necesario tener en cuenta que los aspectos de grabación y reproducción digital de señales comprimidas son muy diferentes de las que se aplican a los sistemas analógicos equivalentes.

Interoperabilidad. Hay dos aspectos importantes a considerar en lo que se refiere a interoperabilidad al nivel de transporte. Uno se refiere a la posibilidad de transporte del flujo binario en otros sistemas de comunicación y otro, la posibilidad de transportar, por un sistema, flujos binarios generados en otros sistemas de comunicaciones.

En general, no hay nada que impida la transmisión de un flujo binario como carga útil de otro sistema de comunicaciones. Puede ser más fácil conseguir esto en unos sistemas, como los de cable, satélite de radiodifusión directa (DBS), ATM²⁸, etc., que en otros como las redes de computadoras basadas en protocolos tales como FDDI, IEEE 802.6, etc., pero en general siempre es posible. La interoperabilidad con redes ATM es de especial importancia, ya que se estima que dichas redes serán la base de muchas redes de comunicaciones de banda ancha en el futuro y, por ello, la interoperabilidad con ATM ha sido atendida de manera especial en el diseño del protocolo.

Un aspecto adicional de la interoperabilidad es la transmisión de flujos de datos ajenos a la televisión, dentro del flujo total de información de televisión digital. Este aspecto tiene importancia para información relacionada con aplicaciones de televisión propiamente dicha, por ejemplo cartas o menús de programas, lleve de apertura de decodificadores, etc., pero también es posible para flujos de otro tipo, como el transporte de software o datos para uso exclusivo por computadoras. El único requisito es que pueda reconocerse la naturaleza general de estas informaciones dentro del contexto del sistema.

7.5 Características de los paquetes en el Sistema de Transporte

Según se ha venido mencionando en las secciones anteriores, el flujo binario en el sistema de transporte está formado por paquetes de longitud fija, incluyendo un encabezado cuya longitud puede ser fija o variable, como se ilustra en la figura 7.4

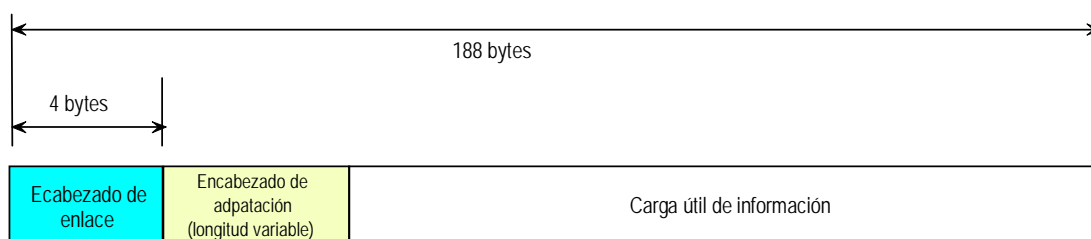


Fig. 7.4. Formato de los paquetes de transporte.

Cada paquete consiste de 188 bytes, de acuerdo a la sintaxis y semántica de transporte MPEG-2. Esta longitud de 188 bytes obedece a varios factores:

²⁸ ATM: Asynchronous Transfer Mode

- a) Los paquetes deben ser lo suficientemente grandes de modo que la longitud del encabezado no sea significativa respecto a la de la carga total de información contenida en el paquete.
- b) No deben ser tan grandes que impidan una corrección de errores eficiente.
- c) Es conveniente que la longitud de los paquetes sea consistente con las dimensiones de los bloques sobre los que operan los métodos de corrección de errores, a fin de que puedan sincronizarse a dichos bloques de corrección de errores.
- d) Es deseable que la longitud de los paquetes permita la interoperabilidad con el formato requerido por las redes ATM. En este caso, la idea básica es transmitir un paquete de transporte MPEG en cuatro celdas ATM.

El contenido de cada paquete se identifica mediante un encabezado, cuya estructura es, a su vez, de capas y puede describirse como una combinación de una capa de “enlace”, de longitud fija y una capa de adaptación de longitud variable. Cada capa sirve para una función diferente, de forma similar a la de las capas de enlace y transporte en el modelo OSI de un sistema de comunicaciones. En el sistema digital de televisión, las funciones de estas capas de enlace y adaptación se utilizan directamente para el enlace de radiodifusión terrestre en que se transmite el flujo de transporte MPEG-2. Sin embargo, en otros sistemas de comunicaciones, por ejemplo ATM, los encabezados MPEG-2 no jugarán ningún papel en la implementación de un protocolo de capas en el sistema de transmisión y se transportarán como parte de la carga útil, en cuyo caso continuarán sirviendo como identificadores de los contenidos del flujo binario.

Capa de enlace. Esta capa se implementa en el encabezado con un campo de 4 bytes, como se ilustra en la figura 7.5 y cuyas funciones son las siguientes:

Sincronización. La sincronización del paquete se realiza por el primer byte de éste, al que se designa como *sync_byte* o byte de sincronización. Este tiene el mismo valor fijo, preasignado, en todos los flujos MPEG-2. En las implementaciones de algunos decodificadores, la función de sincronización del paquete se realiza en la capa física del sistema de comunicaciones, que precede a la etapa de demultiplexado. En este caso el campo del *sync_byte* puede utilizarse para la verificación del sincronismo del paquete. En otras implementaciones, este byte puede utilizarse como la fuente primaria de información para establecer el sincronismo. El estándar no especifica los detalles de la forma en que se puede implementar esta función; únicamente proporciona las referencias o “anclas” en el flujo binario para facilitarla²⁹.

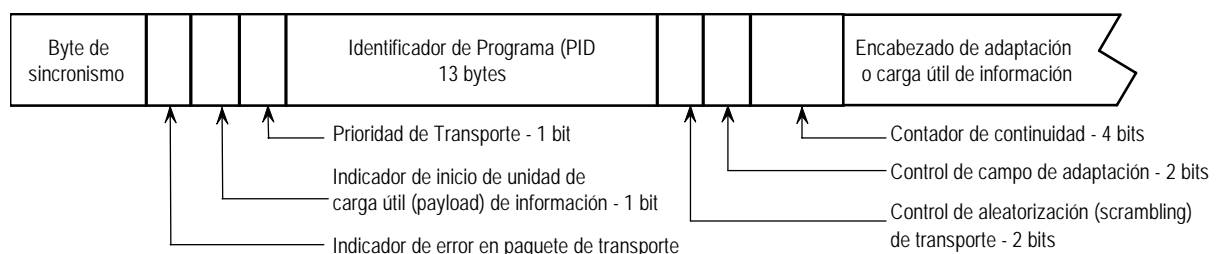


Fig. 7.5 Formato del encabezado de enlace.

²⁹ Conviene recordar que MPEG-2 define básicamente la sintaxis y semántica del proceso de compresión y descompresión, pero no entra en los aspectos de implementación de los codificadores y decodificadores, que quedan a la elección de los fabricantes, siempre y cuando cumplan con los requerimientos fijados por el estándar MPEG-2.

Identificación de paquetes. Constituye un elemento importante del encabezado de enlace y está formado por 13 bits designados como *identificador de paquete* o PID que proporcionan el mecanismo para el multiplexado y demultiplexado de los flujos de datos, permitiendo la identificación de paquetes que pertenecen a un flujo particular, bien sea de información o de control. Como la ubicación del PID en el encabezado siempre es fija, la extracción de paquetes correspondientes a un flujo específico es fácil una vez que se ha sincronizado el paquete. Esta característica es conveniente en los sistemas de transmisión de alta velocidad, como es el caso de la televisión digital.

Manejo de errores. La detección de errores se activa en el decodificador mediante el uso del *contador de continuidad*. En el extremo transmisor, el valor en este campo crece de 0 a 15 para todos los paquetes con el mismo PID que transporta carga de información (el protocolo de transporte permite la definición de paquetes que no transportan carga de información). En el receptor, y en condiciones normales, la recepción de paquetes en un flujo de PID en que hay una discontinuidad en el contador de continuidad indica que se ha perdido información en la transmisión. El procesador de transporte en el decodificador, indica que en un flujo elemental particular se han perdido datos.

Debido a la importancia de cierta información para la correcta operación del sistema, tal como encabezados de adaptación, sellos o marcas de tiempo y mapas de programa, el sistema de transporte cuenta con medios para aumentar la robustez contra errores en el canal, proporcionando un mecanismo para duplicar paquetes en el codificador, de modo que los paquetes que contienen información importante pueden duplicarse en el codificador. Los paquetes duplicados son utilizados por el decodificador si se detectan errores en el paquete original, o bien son descartados.

El indicador de error en el paquete de transporte tiene por función la indicación de errores entre el modem y el demultiplexor de transporte. Si este bit es “1”, la carga de información del paquete no debe utilizarse. Como el sistema de televisión digital no soporta la entrega de información con prioridad, el *indicador de prioridad de transporte* se ignora en el receptor. Sin embargo, este bit puede activarse a 1 si la capa de transporte se utiliza simultáneamente para transportar otros tipos de información en que sí se aplique prioridad.

Carga útil de información (payload). El *indicador de inicio de unidad de carga útil* se utiliza para señalar que la carga del paquete contiene el inicio de una estructura que contiene la carga de información. Para datos de audio y vídeo, este es el flujo elemental empaquetado (PES) y para información específica de programa (PSI³⁰), es el inicio de una tabla.

Encabezado de adaptación. Los dos bits de *control del campo de adaptación* señalan si está presente o no un encabezado de adaptación y si está, si contiene o no carga de información en el mismo paquete de transporte. No se permiten encabezados de adaptación en paquetes con información específica de programa (PSI).

Aleatorización³¹. El significado del estado de los indicadores de control de aleatorización de transporte se han definido en el sistema de televisión ATSC de la forma siguiente:

- 00: Carga de información sin aleatorizar.
- 01: No aleatorizado, El estado puede utilizarse como indicador para uso específico por el proveedor del servicio.
- 10: La información del paquete se aleatoriza con llave “par”
- 11: La información del paquete se aleatoriza con llave “impar”.

³⁰ PSI: Program Specific Information.

³¹ Scrambling.

Encabezados de nivel de adaptación. La presencia de un encabezado de adaptación se indica mediante los dos bits de *control del campo de adaptación*. El encabezado de adaptación, por su parte, contiene información útil para las funciones de decodificación y se compone de dos segmentos, uno de longitud fija y otro variable. Su formato se basa en el empleo de indicadores (flags) para señalar la presencia de extensiones particulares del campo y se inicia siempre con una componente fija de 2 bytes en el propio encabezado de adaptación, cuando éste se transmite. El formato de la porción fija de este campo o encabezado de adaptación se muestra en la figura 7.6.

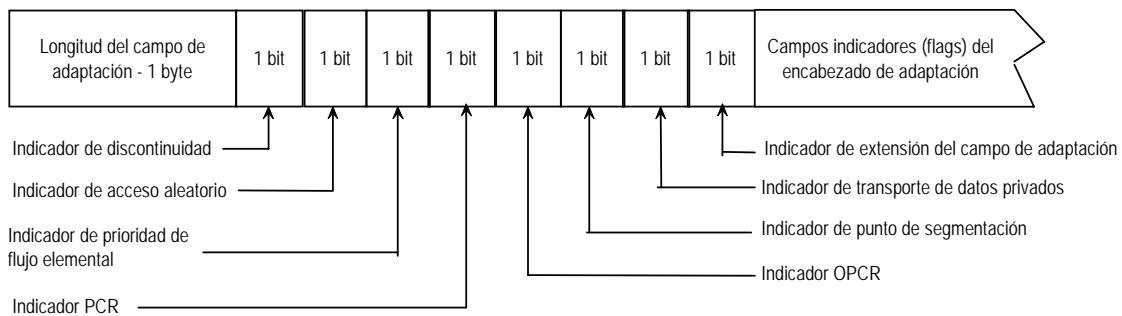


Fig. 7.6. Formato de la componente de longitud fija del encabezado de adaptación.

Longitud del campo de adaptación. Especifica el número de bytes en el encabezado de adaptación propiamente dicho. Este puede incluir bytes de relleno con código FF, que son ignorados por el decodificador. Si tales bytes de relleno se incluyen, el byte de longitud del campo de adaptación los toma en cuenta. El valor del byte de longitud del campo de adaptación también puede ser usado por el decodificador para ignorar el campo de adaptación y avanzar directamente al campo de carga de información.

La presencia de campos adicionales en el encabezado de adaptación se indica por el estado de los últimos bits de la segunda porción del campo fijo mostrado en la figura 7.4, en los que el valor “1” indica que está presente ese campo particular. Los tres indicadores del principio no dan lugar a extensiones del campo de adaptación y, en particular, el bit indicador de prioridad de flujo elemental no se utiliza en el sistema y si su valor es “1”, es ignorado por el decodificador. Las restantes componentes del campo de adaptación se basan en el estado de estos indicadores y el orden en que aparecen en el flujo binario es el mismo que el orden de los indicadores. Según el tipo de información contenida en el encabezado de adaptación, los datos en estos campo pueden ser de longitud fija o variable.

Campos PCR y OPCR. El campo de *referencia del reloj de programa* (PCR³²) se usa para el proceso de decodificación. En ciertas condiciones, este campo puede modificarse durante la transmisión y debe ser transmitido por lo menos una vez cada 100 milisegundos. El campo de *referencia del reloj original de programa* (OPCR³³) indica el tiempo de llegada del último byte de la *base de referencia del reloj original del programa* al decodificador, para un programa particular. Este campo no se modifica durante la transmisión y puede utilizarse para la grabación y reproducción de programas específicos. El campo OPCR no se emplea por el receptor en el proceso de decodificación.

Campo de segmentación. Señalado por el indicador de *punto de segmentación*³⁴, se utiliza principalmente para la inserción de programas y corresponde al campo del *contador de segmentación* en el encabezado de adaptación. Este campo indica el número de paquetes con el mismo identificador

³² PCR: Program Clock Reference

³³ OPCR: Original Program Clock Reference.

³⁴ Splice Countdown Field

(PID) que el paquete actual, que hay en el flujo binario hasta alcanzar el punto de segmentación y, por tanto, indica al receptor el punto en que debe conmutar de un segmento de programa a otro. La cuenta en este campo indica al receptor el punto en que termina el segmento insertado y en que se reinicia o continúa el programa original.

El paquete de punto de segmentación se define como aquél en el flujo binario elemental, a partir del cual pueden eliminarse datos y reemplazarlos por los de otro flujo, de modo que el flujo de transporte resultante cumple con las reglas impuestas por MPEG-2.

Acceso condicional. El formato de transporte permite la aleatorización (scrambling) de los datos en los paquetes, de forma que la información de cada paquete puede aleatorizarse de manera independiente de los otros. La aleatorización consiste básicamente en alterar el orden de la secuencia binaria de una forma predeterminada y constituye, de hecho, una forma de encriptado de la información, de modo que solamente el receptor que “conozca” la llave para descryptarla, podrá tener acceso a ella. El estándar de televisión digital especifica el método a usar para la desaleatorización, pero no especifica la llave ni la forma de obtenerla en el decodificador. Dicha llave debe ser suministrada al decodificador durante un intervalo de tiempo adecuado para que resulte útil. Como hay capacidad de transporte de datos “privados” en varias posiciones del flujo de transporte, estas resultan adecuadas para la inserción de la llave. Una posición posible puede ser una porción definida del flujo, con su propio PID o bien, un campo privado dentro de un encabezado de adaptación transportado por el PID del paquete aleatorizado. La seguridad del acceso condicional se asegura encriptando la llave de desaleatorización al enviarla al receptor y actualizándola, es decir cambiándola, con frecuencia. En el estándar no hay restricciones para el número de llaves que pueden utilizarse ni para la frecuencia con que pueden cambiarse.

La información en el encabezado de enlace del paquete de transporte indica si la carga de datos está aleatorizada y si lo está, indica la llave que debe utilizarse para la desaleatorización. La información del encabezado de un paquete se transmite siempre sin aleatorizar.

La definición general de transporte MPEG-2 proporciona los mecanismos para la aleatorización en dos niveles, dentro de la estructura de paquete PES y en la capa de transporte. La aleatorización en el paquete PES es útil principalmente en el flujo de programa, en que no hay un protocolo similar al de la capa de transporte para permitir esta función. En el sistema ATSC la aleatorización se implementa únicamente en la capa de transporte.

7.5.1 Capa de adaptación.

El encabezado de adaptación en el paquete MPEG-2 es de longitud variable y su presencia se señala en la sección de nivel de enlace del encabezado. Las funciones de estos encabezados se relacionan básicamente con la decodificación del flujo elemental, que se extrae utilizando las funciones del nivel de enlace. Dichas funciones se describen a continuación.

Sincronización. La sincronización de los procesos de decodificación y presentación requeridas por las aplicaciones (audio, vídeo, datos, etc.) en el receptor, constituye uno de los aspectos más importantes del suministro de datos digitales en un sistema que funciona en tiempo real, como es el caso de la televisión digital. Puesto que los datos recibidos deben procesarse en el receptor a una velocidad igual que con la que fueron generados en el transmisor, la pérdida de sincronismo da lugar a contención o desbordamiento del buffer en el decodificador y, por consecuencia, a la pérdida de sincronismo en la presentación de la información visual y sonora. Los problemas en el tratamiento de este problema son muy diferentes a los que se plantean en la televisión analógica, en que la información se transmite en forma síncrona y es posible extraer una señal de reloj o sincronismo directamente de las señales de sincronismo de la imagen. En un sistema digital con compresión, la cantidad de datos generados para cada imagen es variable en función del método de codificación y de su complejidad, y no es posible extraer las señales de sincronismo directamente a partir del inicio de una imagen. En realidad, en

televisión digital no hay un concepto natural de sincronismo entre la visualización y la transmisión similar al de la televisión analógica, para el caso de un flujo de datos de una señal digital comprimida.

La solución a este problema es transmitir información de sincronismo en los encabezados de adaptación de paquetes seleccionados específicamente, que pueda servir como referencia al decodificador. Esto se lleva a cabo transmitiendo una muestra de la señal de reloj a 27 MHz en el campo de *referencia del reloj de programa* (PCR), que indica el tiempo esperado para completar la lectura de ese campo en el flujo binario del decodificador de transporte. La fase del oscilador o reloj local en el decodificador se compara con el valor del PCR en el flujo binario de transporte en el instante en que se obtiene, para determinar si el proceso de decodificación está sincronizado. En general, El PCR del caudal binario no cambia directamente la fase del reloj local, sino que sirve únicamente como entrada para ajustar la frecuencia de éste, cuya frecuencia nominal también es de 27 MHz. Las excepciones a lo anterior se tienen cuando hay cambio de canal en el receptor o cuando se insertan programas locales. Las frecuencias de muestreo de los caudales de audio y vídeo en el decodificador, están enganchadas a la frecuencia del reloj del sistema, obtenida de los valores del PCR. Esto simplifica la implementación del receptor en términos del número de osciladores locales requeridos para llevar a cabo el proceso completo de decodificación y permite además, la rápida adquisición de sincronismo en los casos mencionados de cambio de canal o inserción de programas.

Acceso aleatorio al flujo de datos comprimidos. En aplicaciones tales como adquisición, inserción y conmutación de programas, es necesario acceder o “entrar” en el flujo de datos de audio y vídeo. Este acceso o entrada aleatoria es posible solamente si la codificación del flujo elemental para la aplicación permite esta función directamente. Por ejemplo, el flujo de vídeo permite la entrada aleatoria mediante el concepto de los cuadros I, codificados sin ningún tipo de predicción (intracuadro) y que, por tanto, pueden ser decodificados sin necesidad de información previa. El inicio del encabezado de una secuencia de vídeo que precede a los datos de un cuadro I, puede servir como punto de acceso aleatorio a un flujo elemental de vídeo. En general, estos puntos de acceso aleatorio deben coincidir también con el inicio de paquetes PES. El soporte de esta función de acceso aleatorio a nivel de la capa de transporte, lo proporciona el indicador en el encabezado de adaptación del paquete que indica si tiene un punto de acceso aleatorio para el flujo elemental. Además, la carga útil de información de los paquetes que constituyen puntos de acceso aleatorio se inicia con los datos que forman el punto de acceso de entrada al flujo binario propiamente dicho. Este enfoque permite que puedan descartarse directamente en la capa de transporte aquellos paquetes presentes cuando se conmutan canales y se inicia la búsqueda de un punto de resincronización del sistema en el flujo de transporte. Un objetivo general es tener puntos de acceso aleatorio tan frecuentes como sea posible, para permitir la conmutación rápida de canales.

Inserción de programas locales. El sistema de transporte permite la inserción de programas locales y publicidad comercial mediante el uso de indicadores (flags) dedicados a este propósito en el encabezado de adaptación del paquete de transporte. Las funciones de inserción de segmentos de un programa y conmutación de canales son muy similares. La diferencia principal radica en las constantes de tiempo involucradas en el proceso de segmentación y también en el hecho de que en la inserción de segmentos de programa, el flujo binario se conmuta de nuevo al programa original al final del segmento insertado, en tanto que en la conmutación de canales, ésta ocurre muy posiblemente hacia otro programa.

Hay una serie de detalles que tienen que ver con las implementaciones de hardware para estas dos situaciones y que incluyen los dispositivos de entrada y los requerimientos de los buffers. Por ejemplo, si la inserción de programas locales tiene lugar en el flujo binario de una red de contribución o de distribución y, si el flujo en la red no incluye posiciones de asignación para programas locales, el flujo de transporte del programa que se pretende insertar tendrá que utilizar en un buffer capaz de almacenar el segmento del programa a insertar. Si el programa se obtiene de una fuente local, por ejemplo un servidor de vídeo o una máquina reproductora, puede ser necesario hacer una pausa en el proceso de entrada. Estos aspectos no tienen que ver en el caso de conmutación de canales.

El proceso de inserción de programas se maneja en dos capas. Las funciones de la capa inferior se relacionan con la segmentación de los flujos de transporte para los elementos individuales del programa. Las de la capa superior se relacionan con la coordinación de estos procesos entre los diferentes flujos elementales que conforman el flujo de transporte de programa. En la figura 7.6 se ilustra este enfoque.

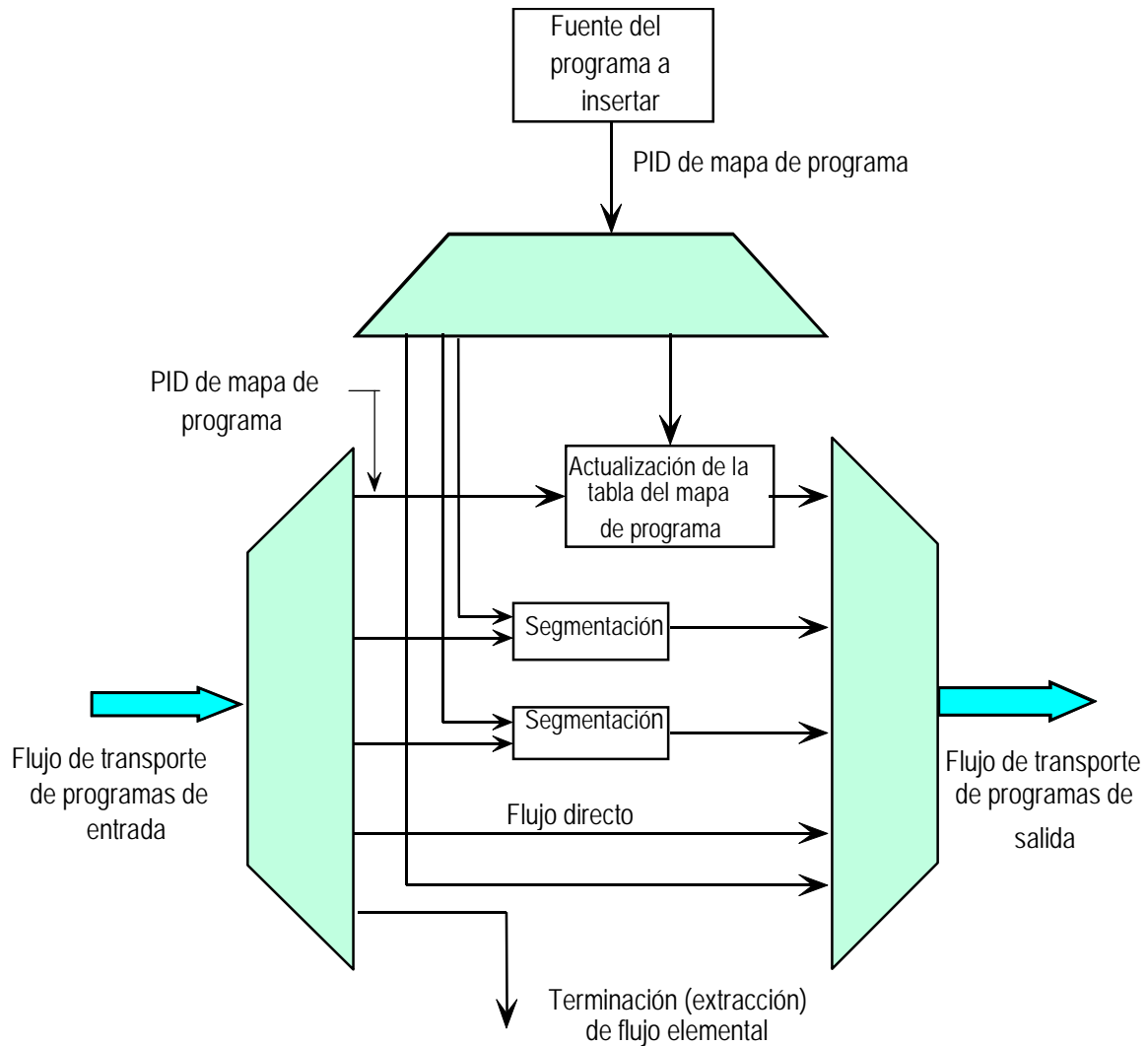


Fig. 7.6 . Arquitectura general de la inserción de programas.

El primer paso para la inserción de un programa local es el demultiplexado de los flujos elementales individuales y la subsecuente extracción de los paquetes, identificados por los correspondientes PIDs, incluyendo el flujo que transporta la tabla del mapa de programas. Una vez que se han extraído los paquetes, es posible la inserción de programas basándose en los PIDs individuales. Algunos de los paquetes pueden pasar directamente al multiplexor de salida sin ser modificados y, además, es posible extraer algunos de los flujos elementales sin pasarlos al multiplexor de salida.

El interfaz para la inserción del flujo binario elemental correspondiente al programa a insertar, está en la capa de transporte del protocolo. Ello significa que la inserción de los flujos elementales siempre tiene lugar en unidades de paquetes de transporte. Los aspectos primarios que permiten la inserción de flujos elementales son el *indicador de discontinuidad* y el *contador de segmentación* en el encabezado de transporte. El *contador de discontinuidad* indica al decodificador que la *referencia de reloj del programa* (PCR) cambia a una nueva base de tiempo. Esto simplemente informa al decodificador que

el cambio en el flujo binario no se debe a un error en el canal, sino que ha sido provocado intencionalmente por el suministrador del programa. La consecuencia para el decodificador es que éste debe continuar el proceso normal de decodificación y es tarea del codificador asegurar que el flujo binario se ha estructurado cumpliendo los requisitos necesarios para que los decodificadores no fallen debido a contención o desborde de datos en sus buffers.

El *contador de segmentación* en el encabezado de adaptación se utiliza para indicar que el paquete subsecuente es el punto para conmutar a un nuevo flujo binario. El contador contiene un número positivo que es decrementado por cada paquete de ese servicio específico.

En este sentido hay algunas diferencias entre el estándar de televisión digital ATSC y el estándar MPEG-2. De hecho el primero impone requerimientos más estrictos que MPEG-2 para la codificación de transporte. Sin embargo, es importante hacer notar que el proceso de dar oportunidades frecuentes para segmentar un programa no cae dentro del control de la capa de transporte. Esta capa solamente proporciona los mecanismos necesarios para implementar la segmentación y, por consecuencia, la previsión de las posibilidades de inserción de programas, requiere de control sobre los algoritmos de codificación de fuente utilizados para codificar el audio y el vídeo.

7.6 Multiplexado en alto nivel

El esquema de multiplexado puede describirse como una combinación de multiplexado en dos capas diferentes. En la primera, los flujos de transporte se forman multiplexando uno o más flujos elementales en la capa de transporte. En la segunda, los flujos de transporte se combinan, generalmente por multiplexado asíncrono de paquetes, para formar el sistema completo. La capa en el sistema, que contiene la información tanto al nivel de programa como al nivel de sistema, se designa como de *información específica de programa* (PSI³⁵).

Múltiplex de transporte de programas. Antes de describir el múltiplex de transporte de programas, conviene aclarar que la terminología puede resultar confusa. El término *programa* es análogo al del programa que ocupa un canal de televisión analógica. El término *flujo de programa*, se refiere a un flujo binario particular, con un formato específico definido por MPEG-2 y el término *flujo de transporte de programa* se utiliza para describir un flujo de transporte, generado para un programa específico.

El flujo de transporte de programa se forma multiplexando flujos binarios elementales, con o sin empaquetado PES, que comparten una base de tiempo común. Según estos flujos elementales se multiplexan, se organizan en paquetes de transporte y se agrega un flujo binario de control que describe al programa, conformado también en paquetes de transporte y designado como *mapa del flujo elemental* en la figura 7.7. Los flujos elementales y el de control se identifican por sus respectivos y únicos PIDs en el encabezado de enlace. El flujo de control contiene la *tabla del mapa de programa*, que describe el mapa del flujo elemental e incluye información de los PIDs de los flujos de transporte que constituyen el programa, así como la identificación de las aplicaciones (audio, vídeo, etc.) que se transmiten en esos flujos, la relación entre dichos flujos, etc. La identificación de un flujo binario que transporta una tabla del mapa de programa se lleva a cabo en las capas del sistema.

La sintaxis de transporte permite que un programa esté compuesto por un gran número de flujos elementales, sin restricción en los tipos de aplicación requeridos dentro de un programa. Por ejemplo, un flujo de transporte de programa no necesita contener un único caudal de vídeo o audio; puede ser un programa de “datos”. Por otra parte, un flujo de transporte de programa puede contener múltiples flujos de vídeo y audio relacionados, siempre que compartan una base de tiempo común. Las aplicaciones de datos que pueden transportarse son flexibles y la única restricción es que debe haber una asignación o identificador apropiado para permitir su reconocimiento por el decodificador. En las

³⁵ PSI: Program Specific Information.

condiciones actuales, es literalmente imposible anticipar las posibles aplicaciones que brinda tal flexibilidad.

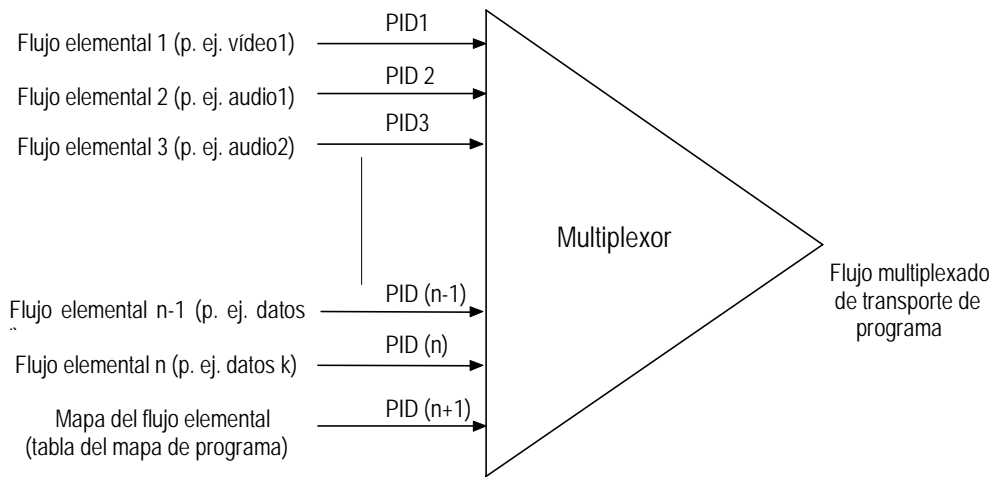


Fig. 7.7. Multiplexado de flujo de transporte de programa.

Conviene hacer notar que, para los diferentes flujos elementales que constituyen un programa, las funciones de nivel de enlace se realizan independientemente, sin coordinación a nivel de programa. Esto incluye funciones tales como manipulación del PID, filtrado de los flujos, aleatorización y desaleatorización, definición de paquetes para entrada aleatoria, etc. La coordinación entre los elementos de un programa se controla principalmente en la etapa de presentación (visualización en el caso de vídeo), basándose en el empleo de una base de tiempo común. Esta base de tiempo común se consigue haciendo que todos los flujos elementales de un programa deriven la información temporal de un reloj único y luego transmitan esta información a través de los PCR en uno de los flujos elementales que constituyen el programa. Los datos necesarios para el sincronismo de la presentación están presentes en los flujos elementales para cada aplicación individual.

Múltiplex del sistema. El múltiplex del sistema es el proceso de multiplexado de los diferentes flujos de transporte de programas. Además de los flujos de transporte, con los correspondientes PIDs, que definen a los programas individuales, se define un flujo binario de control a nivel del sistema con PID = 0. Este flujo transporta la *tabla de asociación del programa*, que “mapea” las identidades del programa con sus correspondientes flujos de transporte. La identidad del programa se representa por un número en la tabla de asociación y debe tenerse en cuenta que un programa corresponde a lo que tradicionalmente se designa como *canal* en televisión. El mapa indica el PID del flujo binario que contiene la *tabla del mapa del programa*, para un programa determinado. De esta forma, el proceso de identificación de un programa y su contenido tiene lugar en dos etapas. La primera hace uso de la tabla de asociación del programa en el flujo de PID = 0, para identificar el PID del flujo que transporta a la tabla del mapa del programa y luego, en la segunda etapa, se obtienen los PIDs de los flujos elementales que constituyen el programa, de la tabla del mapa de programa adecuada. Una vez que se han efectuado estas etapas, los filtros³⁶ en un demultiplexor pueden ajustarse para recibir sólo los flujos binarios de transporte que corresponden al programa de interés.

La capa de multiplexado del sistema se ilustra en la figura 7.8.

³⁶ Debe entenderse aquí que no se trata de filtros eléctricos, sino de “filtros” de software.

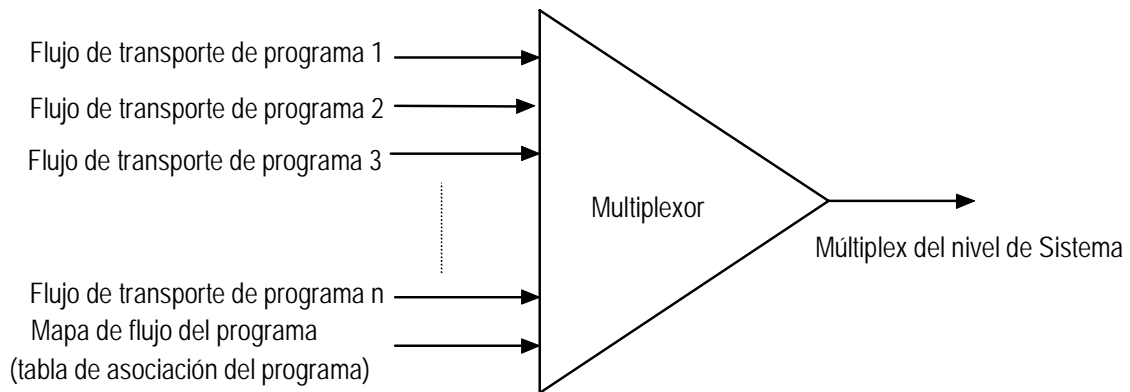


Fig. 7.8. Función del múltiplex para formar el flujo binario a nivel del sistema.

Conviene hacer notar que durante el proceso de multiplexado a nivel del sistema, es posible que los PIDs en diferentes flujos de programa sean iguales a la entrada. Esto presenta un problema ya que los PIDs para diferentes flujos binarios deben ser únicos. La solución a esto se da en la etapa de multiplexado, modificando algunos de los PIDs justo antes de multiplexar los flujos. Estos cambios se registran en la tabla de asociación del programa y en la tabla del mapa del programa. La implementación de hardware para la reasignación de funciones del PID en tiempo real se facilita debido a que el proceso es síncrono a la frecuencia de reloj de los paquetes. Otra alternativa es la de asegurarse que los PIDs utilizados en los programas que constituyen el sistema sean únicos, lo que no siempre es posible cuando se trata de flujos almacenados.

La arquitectura del flujo binario es escalable, ya que pueden multiplexarse flujos binarios múltiples al nivel del sistema para su transporte en canales de banda ancha, extrayendo las tablas de asociación de programas de cada flujo del sistema multiplexado y reconstruyendo un nuevo flujo PID = 0. En este caso es necesario reasignar los PIDs de los paquetes.

Demultiplexado. En la figura 7.9 se ilustra esquemáticamente el proceso de extracción de los flujos individuales de un programa en el receptor, si bien la implementación del sistema en la forma indicada en la figura no es la más eficiente. En la práctica se puede utilizar el mismo hardware demultiplexor para extraer los flujos de control tanto de la tabla de asociación del programa, como de la tabla del mapa del programa.

Una vez que se han obtenido los paquetes de cada uno de los flujos elementales en el programa, es necesario realizar un procesamiento subsecuente para obtener los puntos de entrada aleatorios para cada flujo elemental, así como para extraer la sincronización del reloj del sistema decodificador, etc. Este procesamiento tiene lugar antes de que el proceso normal de decodificación en el receptor alcance las condiciones normales de funcionamiento para recibir un programa.

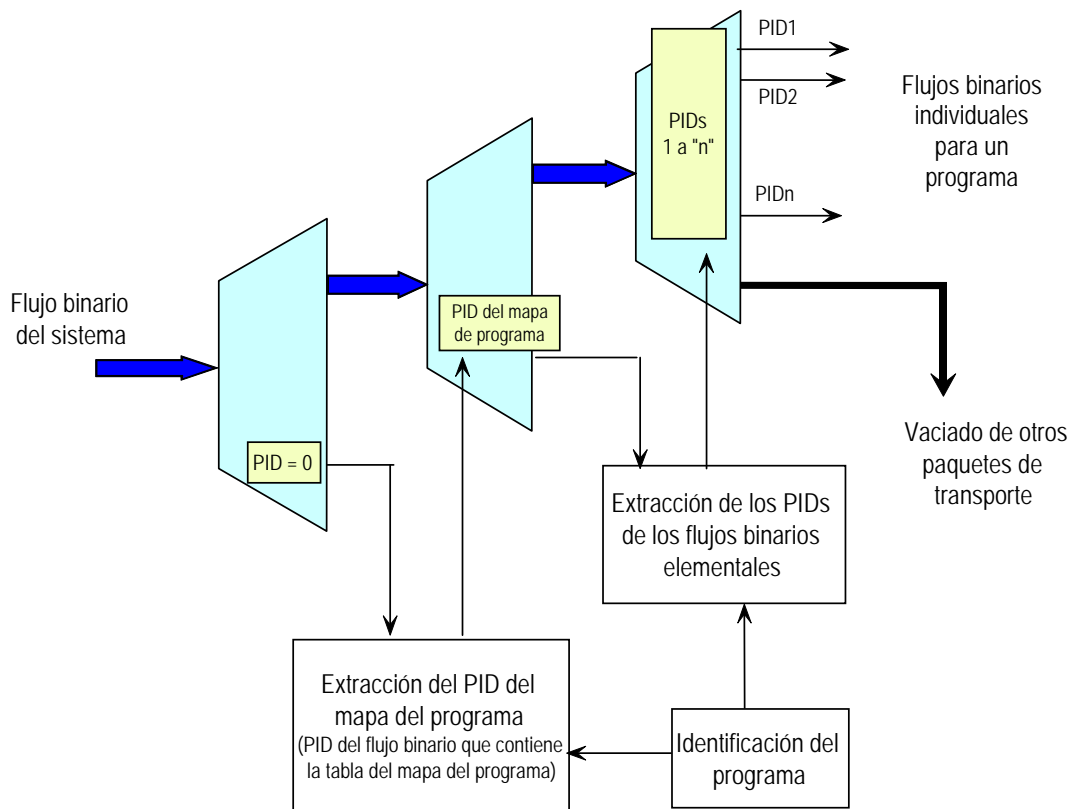


Fig. 7.9. Proceso del demultiplexado de transporte para un programa.

El modelo de capas empleado para definir la función de multiplexado no implica necesariamente que los multiplexados de programa y del sistema deban implementarse siempre en etapas separadas. Es posible, y se permite, la implementación de hardware que incluye el multiplexado tanto a nivel de programa como de sistema en un solo multiplexor siempre que el flujo binario multiplexado a la salida cumpla con las propiedades del estándar MPG-2. Este es un tema que, sin duda será motivo de estudio y evolución en el futuro, según se vayan implementando los diferentes sistemas de televisión digital.

7.7 Segmentación

Es práctica común que al término de un programa de televisión o durante él, se inserten “vídeo clips” con anuncios publicitarios u otros materiales audiovisuales de corta duración, generados por diferentes equipos en el centro de producción. En el entorno analógico la combinación y sincronismo de estos materiales es relativamente fácil mediante un mezclador (switcher) de audio y vídeo. Sin embargo, en un medio completamente digital esta acción plantea algunos problemas a causa de la naturaleza y características de las señales.

Una solución a estos problemas es la reutilización de los identificadores de paquete (PID) para los flujos elementales (PES) de vídeo y audio, una vez que se ha completado el programa. Así, un canal determinado de televisión puede usar los mismos PIDs para todo su vídeo y audio, transmitiendo un programa tras otro durante todo el día. Puesto que cada paquete elemental contiene su propia información para decodificarlo, el decodificador puede seguir usando los mismos números de PES en los diferentes programas e identificar cualquier cambio en la tasa binaria u otros parámetros importantes de la señal transportada y continuar la decodificación correctamente. Este proceso se designa como *segmentación* y es substancialmente diferente de la *edición*. La edición se basa en la selección de cuadros completos, de modo que en una secuencia de vídeo la edición sólo puede

realizarse al inicio de un cuadro, en tanto que en la segmentación no se seleccionan cuadros completos, sino porciones de éstos que corresponden a bloques, macrobloques o segmentos de la imagen (véase la sección 6.14 del Capítulo 6).

La segmentación puede ser “sin costura”, es decir sin transiciones bruscas si se aplican los mismos parámetros de un programa al siguiente. En principio, esto no es más complicado que un cambio de escena. Por otra parte, si la tasa binaria varía de un programa a otro habrá una transición brusca³⁷ que puede durar varios cuadros hasta que el decodificador vuelve a adquirir el sincronismo correcto. Cuando esto ocurre la pantalla se deja en negro una fracción de segundo, lo que es apenas perceptible al observador.

Además de reutilizar los PIDs de los paquetes elementales, la segmentación entre dos señales de vídeo puede llevarse a cabo en la tabla del mapa de programas (PMT). Estas tablas se actualizan varias veces por segundo, de modo que sus contenidos pueden cambiarse fácilmente para apuntar a un conjunto diferente de PIDs.

7.8 Mezcla de programas de diversas fuentes.

En los sistemas de cable de manera particular, es importante conmutar entre programas seleccionados de diversos flujos de transporte de entrada y recombinarlos en un nuevo flujo de transporte para su distribución a los abonados. Estos flujos de transporte de entrada pueden proceder de receptores de satélite, microondas, radiodifusión terrestres, etc. En la figura 7.10 se ilustra esquemáticamente la forma en que los diversos flujos de transporte de entrada pueden demultiplexarse para extraer de ellos los programas individuales de interés, almacenarse en un servidor de vídeo y luego recombinarse en un nuevo sistema de transporte al que se pueden añadir contenidos de programas locales. Este nuevo flujo de transporte puede luego transmitirse por cable, satélite o sistemas de radiodifusión terrestre.

Las diversos flujos de entrada, procedentes de fuentes variadas como satélite, redes de microondas y aún de radiodifusión terrestre, pueden demultiplexarse en programas individuales MPEG-2 y almacenarse en un servidor de vídeo, para posteriormente recombinarse en un nuevo flujo de transporte al que, por ejemplo, pueden agregársele programas locales. Este nuevo flujo de transporte puede transmitirse nuevamente por satélite, radioenlaces terrestres, transmisores de radiodifusión terrestre, sistemas de cable, etc.

El demultiplexor es, de hecho, una computadora que puede leer fácilmente el flujo binario de entrada. Los paquetes elegidos, simplemente se extraen del flujo binario de entrada y de ahí, pueden ser almacenados temporalmente en un servidor de vídeo para su reproducción transmisión posterior, o bien pueden ser transportados directamente a la salida. Por lo general, solamente se guardan los PES de vídeo y audio y se descarta el resto de datos contenidos en el flujo de transporte.

³⁷ En la terminología usual de televisión estas transiciones pueden aparecer como desgarramientos en la imagen y reciben el nombre de *glitches*.

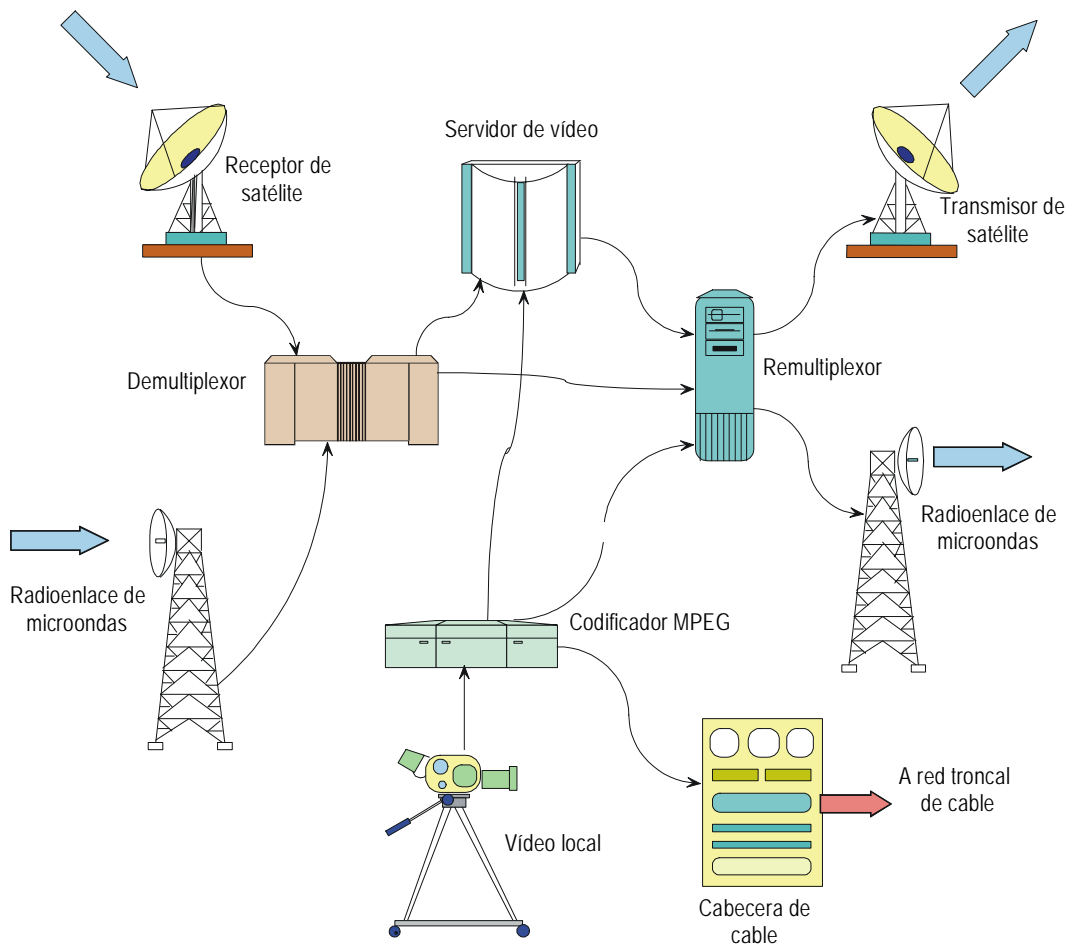


Fig. 7.10. Combinación de los flujos de transporte en un sistema de televisión digital.

La porción de salida es algo más complicada, ya que no solamente deben reconstruirse las tablas asociadas a los programas, sino que también deben ajustarse las referencias de tiempo (PCR) de cada programa. Como la referencia de tiempo la proporciona un reloj a 27 MHz es necesario hardware especial. Además, puesto que los PIDs para cada flujo debe ser único en el nuevo sistema de transporte, cualquier PID duplicado debe detectarse y corregirse. Este sistema se designa generalmente como *remultiplexor* y está constituido generalmente por una computadora a la que se ha añadido hardware de propósito especial.

Bibliografía Adicional

- [1] - J. Whitaker. DTV Handbook. 3rd. Edition. McGraw-Hill, 2001.
- [2] - R. Blair. Digital Techniques in Broadcasting Transmission. Focal Press, 1999.
- [3] - G. W. Collins. Fundamentals of Digital Television Transmission. John Wiley & Sons, Inc. 2001.