

**13° Encuentro Regional de Telecomunicaciones**

**Rosario 2009**

**19, 20 y 21 de Mayo**

**Conferencia:**

**“Lo que tenemos que saber de TV Digital”**

**Ing.Cayetano R.GROSSI**

**20 de Mayo de 2009**

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2. EL ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL ATSC.....</b>	<b>4</b>
2.1. ANTECEDENTES GENERALES.....	4
2.2. EL SISTEMA ATSC.....	4
2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE.....	5
2.3.1. <i>Características del Video.....</i>	<i>5</i>
2.3.2. <i>Características del Sistema de Audio.....</i>	<i>6</i>
2.3.3. <i>Subsistema de Múltiplex de Transporte.....</i>	<i>7</i>
2.4. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE CODIFICACIÓN Y MODULACIÓN.....	7
2.4.1. <i>Codificación de Canal.....</i>	<i>7</i>
2.4.2. <i>Modulación 8-VSB.....</i>	<i>8</i>
2.4.3. <i>Tasa de Datos.....</i>	<i>9</i>
2.4.4. <i>Características Espectrales.....</i>	<i>9</i>
2.5. OPERACIÓN CON FRECUENCIA ÚNICA NACIONAL.....	9
<b>3. EL ESTÁNDAR DIGITAL VIDEO BROADCASTING (DVB).....</b>	<b>11</b>
3.1. ANTECEDENTES GENERALES.....	11
3.2. EL SISTEMA DVB-T.....	11
3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE.....	12
3.3.1. <i>Características del Video.....</i>	<i>12</i>
3.3.2. <i>Características del Audio.....</i>	<i>13</i>
3.4. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE CODIFICACIÓN Y MODULACIÓN.....	13
3.4.1. <i>Descripción de la Codificación de Canal.....</i>	<i>13</i>
3.4.2. <i>Modulación OFDM.....</i>	<i>14</i>
3.4.3. <i>Tasas de Datos.....</i>	<i>15</i>
3.4.4. <i>Características Espectrales.....</i>	<i>16</i>
3.4.5. <i>DVB para Terminales Portátiles (DVB-H).....</i>	<i>16</i>
3.5. OPERACIÓN CON FRECUENCIA ÚNICA NACIONAL.....	17
<b>4. EL ESTÁNDAR INTEGRATED SERVICES DIGITAL BROADCASTING (ISDB).....</b>	<b>18</b>
4.1. ANTECEDENTES GENERALES.....	18
4.2. EL SISTEMA ISDB-T.....	18
4.3. CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE.....	19
4.3.1. <i>Características del Video.....</i>	<i>19</i>
4.3.2. <i>Características del Audio.....</i>	<i>20</i>
4.4. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE CODIFICACIÓN Y MODULACIÓN.....	20
4.4.1. <i>Codificación de Canal.....</i>	<i>20</i>
4.4.2. <i>Modulación OFDM.....</i>	<i>22</i>
4.4.3. <i>Tasas de Datos.....</i>	<i>22</i>
4.4.4. <i>Características Espectrales.....</i>	<i>23</i>
4.4.5. <i>Transmisión a Terminales Portátiles.....</i>	<i>23</i>
4.5. OPERACIÓN CON FRECUENCIA ÚNICA NACIONAL.....	23

<b>5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTÁNDARES.....</b>	<b>24</b>
5.1. FUENTES DE DATOS	
5.1.1. Sistema de transporte y múltiplex.....	24
5.1.2. Audio.....	24
5.1.3. Televisión de alta definición (HDTV).....	24
5.2. TASAS DE DATOS Y COBERTURA.....	25
5.2.1. Tasas de Datos.....	25
5.2.2. Ruido de Impulso.....	28
5.2.3. Cobertura de Zonas Oscuras.....	28
5.3. MOVILIDAD Y MULTITRAYECTORIA.....	28
5.3.1. Robustez ante Propagación de Multitrayectoria.....	28
5.3.2. Recepción bajo Condiciones de Movilidad.....	30
5.4. ANCHO DE BANDA Y EFICIENCIA ESPECTRAL.....	31
5.4.1. Utilización del Espectro y Eficiencia Espectral.....	31
5.4.2. Factibilidad de Operar con Bandas de 8MHz.....	31
5.5. COEXISTENCIA CON TRANSMISIONES ANALÓGICAS.....	32
5.6. COSTO Y DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS.....	33
5.6.1. Comparación Cualitativa de Costos de Equipos para TVD.....	33
5.6.2. Breve Inspección de la Oferta Actual de STB.....	33
5.7. EXTENSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA.....	34
5.7.1. Factibilidad de las Redes de Frecuencia Única.....	34
5.7.2. Cambio de Norma MPEG-2 a MPEG-4.....	35
5.7.3. Servicios Interactivos y Acceso Condicional.....	36
5.8. RESUMEN.....	37
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>38</b>

## 1. Introducción

---

La transmisión de televisión digital terrestre permite mejorar sustantivamente la experiencia televisiva en comparación a la televisión analógica usada en la actualidad. Ello es posible gracias al mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico que es posible con la TV Digital, lo que permite transmisiones con resoluciones de vídeo de alta definición y audio de alta fidelidad, o bien, alternativamente, empaquetar múltiples programas con video de definición estándar sin alterar la asignación de canales y espectro existentes en la actualidad. La señal digital además puede ofrecer servicios que involucran cierto grado de interactividad con el tele-espectador. Algunos sistemas de TV Digital también permiten la recepción de TV en condiciones móviles. Finalmente, con TV Digital será posible utilizar los canales adyacentes, con lo cual se amplía la oferta de espectro para la entrada de nuevos operadores.

El principal costo de la introducción de la TV Digital Terrestre radica en que los receptores analógicos presentes en la gran mayoría de los hogares son incompatibles con esta nueva tecnología. Ello obligará a los usuarios ya sea a adquirir televisores digitales, o bien complementar sus actuales televisores con dispositivos decodificadores de TV Digital (settop-boxes). Asimismo, los actuales operadores de televisión analógica de libre recepción deberán revisar sus planes de negocio y realizar inversiones en equipamiento para obtener el máximo provecho de esta tecnología.

Considerando que los aspectos técnicos y de costo de equipamiento son relevantes en la adopción del estándar de televisión digital, y que corresponde a la Subsecretaría de Telecomunicaciones estudiar y proponer las políticas regulatorias correspondientes, es que se ha encargado el presente estudio. El objetivo del estudio es señalar las diferencias técnicas y de costo, desde el punto de vista técnico-teórico, asociados a cada estándar de TV Digital.

## 2. El Estándar de Televisión Digital ATSC

---

### 2.1. Antecedentes generales

---

En 1987, la *Federal Communications Comisión* de los Estados Unidos de Norteamérica (FCC), estableció el *Advisory Committee on Advanced Television Service* (ACATS). Este comité trabajó en estrecha relación con el *Advanced Television Systems Committee* (ATSC), organización privada creada en 1982 para coordinar el desarrollo y definir el estándar de televisión digital que adoptaría Estados Unidos. El estándar fue desarrollado por un consorcio de empresas que lleva el nombre de *Grand Alliance*, y fue adoptado por ATSC el 16 de Septiembre de 1995 bajo la sigla A/53. El nuevo estándar fue ratificado por el ACATS el 28 de noviembre de 1995. Hasta el momento existen 1584 estaciones de televisión digital ATSC operando en los Estados Unidos.

El estándar ATSC describe un sistema para transmisión de video, audio y datos que transporta datos a una tasa neta de 19,4Mbps a través de un canal convencional de 6MHz de ancho de banda.

Una transmisión ATSC puede portar ya sea una señal única de televisión de alta definición (HDTV), o varios programas diferentes con definición normal (SDTV). Asimismo, es posible incluir datos adicionales en la transmisión, como canales adicionales de audio, servicios especiales para personas con discapacidades visuales o auditivas, o canales de comentarios.

Recientemente se ha definido el formato para transmisiones mediante redes de frecuencia única, aunque dicho formato no considera una optimización del funcionamiento de estas redes. ATSC también contempla la provisión de servicios interactivos y control de acceso para contenidos pagados.

### 2.2. El Sistema ATSC

---

El diagrama de bloques del sistema se muestra en la Figura 1, en la que se aprecia que el sistema ATSC consiste de tres subsistemas:

- Codificación y compresión de fuentes (video, audio, datos).
- Múltiplex y transporte de los servicios.
- Transmisión de radiofrecuencia (RF).

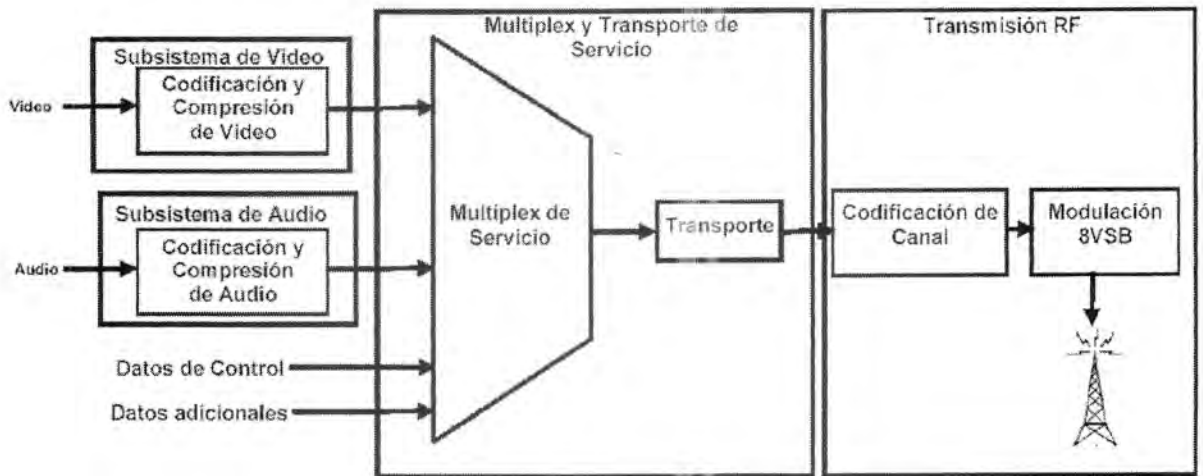


Figura 1. Sistema ATSC.

El subsistema de *Codificación y Compresión de Fuentes* comprime los flujos de audio y video con el propósito de minimizar la cantidad de bits necesarios para representar la información correspondiente. Para la compresión y codificación de los flujos de video el sistema ATSC utiliza la sintaxis MPEG-2, con las especializaciones descritas en los documentos A53 y A52, mientras que para la compresión de audio digital se utiliza la norma de compresión digital de audio AC-3.

El subsistema *Multiplex y Transporte de Servicios* divide el flujo continuo de información en paquetes de datos, inserta marcas de identificación únicas a cada *paquete*, y multiplexa los flujos de paquetes de video, audio y datos anexos para componer un único *flujo de transporte*. Los datos anexos incluyen datos para el control de la transmisión, control de acceso, e información sobre la configuración de los servicios de audio y video, tales como *subtitulado*. El sistema de transporte de ATSC utiliza el sistema de multiplex y transporte definido por el estándar MPEG-2, el cual es compatible con el formato de transporte de otros medios digitales, tales como la radiodifusión terrestre de audio digital, sistemas de televisión digital por cable y satelital, medios de almacenamiento como discos de video digital y DVD, e interfaces computacionales.

Finalmente, el subsistema *Transmisión de RF* agrega codificación de canal y realiza la modulación del flujo de transporte para su posterior transmisión inalámbrica. El propósito de la codificación de canal es agregar información redundante al flujo de datos. Dicha información es luego utilizada en el receptor para detectar y corregir errores causados por el canal inalámbrico e interferencias. El sistema de modulación usa la modalidad 8 VSB para transmisiones terrestres. La norma también considera un modo de alta capacidad de datos, 16 VSB, orientado a televisión por cable.

## 2.3. Características de la Fuente

### 2.3.1. Características del Video

Existen tres tipos básicos de resolución de pantalla que pueden utilizarse con el estándar ATSC. El nivel más sencillo incluye los formatos-básicos y extendidos de las normas de TV analógicas NTSC y PAL<sup>1</sup>, con 480 y 576 líneas visibles, respectivamente (Figura 2), y hasta 720 píxeles por línea. Luego, el nivel medio incluye imágenes de resolución media con 720 líneas de resolución y 960 píxeles por línea (razón de aspecto 4:3 tradicional) o 1280 píxeles por línea (razón de aspecto 16:9 en pantalla extendida). El nivel de mayor resolución tiene 1080 líneas con 1440 y 1920 píxeles por línea para razones de aspecto 4:3 y 16:9, respectivamente. La Figura 2 muestra las relaciones de tamaño comparativas<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> En NTSC, existen 525 líneas horizontales pero sólo 480 son visibles. En PAL, existen 625 líneas horizontales pero sólo 576 son visibles.

<sup>2</sup> El modo con 1080 líneas se codifica en campos de 1920×1088 píxeles, pero las últimas 8 líneas se descartan antes del despliegue, debido a una restricción del formato de video MPEG-2, el cual requiere que el número de píxeles sea divisible por 16.



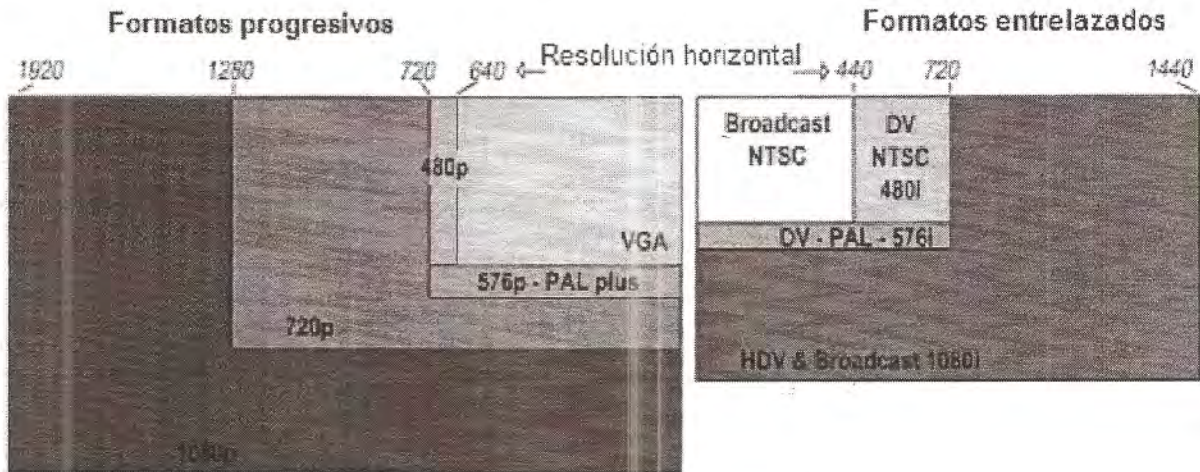


Figura 2. Comparación entre resoluciones de video especificadas<sup>3</sup> por ATSC.

Las imágenes correspondientes a una pantalla completa pueden formarse mediante barrido entrelazado o progresivo. Los formatos posibles según tipo de barrido están resumidos en la Tabla I, donde P indica barrido progresivo e I indica barrido entrelazado<sup>4</sup>.

Líneas Verticales	Píxeles por Línea	Razón de Aspecto	Frecuencia de Tramas
1080	1920, 1440	16:9, 4:3	60I, 30P, 24P
720	1280, 960	16:9, 4:3	60I, 30P, 24P
576	720	16:9, 4:3	25I, 25P (no en USA)
480	720	16:9, 4:3	60P, 60I, 30P, 24P
480	640	4:3	60P, 60I, 30P, 24P

Tabla I. Resoluciones de pantalla especificadas por ATSC para el Servicio Principal<sup>5</sup>.

Es importante destacar que el estándar ATSC fue diseñado desde el principio con las opciones necesarias para ser implementado tanto dentro de los Estados Unidos como fuera de ellos (incluyendo países que migran desde formatos distintos a NTSC, como PAL, por ejemplo). Por ello, ATSC es capaz de trabajar correctamente en situaciones en que la frecuencia de barrido sea tanto 25 cuadros por segundo (PAL) como 30 cuadros por segundo (NTSC).

### 2.3.2. Características del Sistema de Audio

La compresión y codificación de audio en ATSC se basa en el estándar de compresión digital de audio AC-3, descrito en el documento ATSC A/52B. AC-3 es el estándar de compresión de audio propietario de los laboratorios Dolby, que actualmente estos laboratorios utilizan para su sistema *Surround Sound*, compatible con muchas aplicaciones de audio/video (DVD, DTS, DTX, etc.).

<sup>3</sup> ATSC tiene 18 formatos de video diferentes. Es mandatorio que todos los televisores sean capaces de recibir y decodificar los 18 formatos. No obstante, la mayoría de los televisores son capaces de desplegar sólo 1 o 2 de estos formatos, y convierten todos los demás a estos últimos.

<sup>4</sup> Una trama es un campo de imagen constituido por un cierto número de líneas de barrido. En los sistemas de barrido entrelazado (I), se necesitan dos tramas (una con las líneas pares, la otra con las impares) para definir un cuadro o imagen completa. En los sistemas de barrido progresivo (P), la trama contiene toda la información de un cuadro. La televisión analógica utiliza barrido entrelazado.

<sup>5</sup> El Servicio Principal es el modo de funcionamiento normal del estándar. Existe también un Servicio Extendido, que permite reservar parte del ancho de banda para la transmisión de información que permite enfrentar de mejor manera problemas de transmisión del canal.

El sistema de audio está diseñado para transportar hasta seis señales de audio de alta calidad para su utilización en sistemas de tipo *Home Theater* (también denominadas señales "5.1"). Los seis canales de audio son: Izquierdo (L), Central (C), Derecho (R), Surround Izquierdo (LS), Surround Derecho (RS) y énfasis de Baja Frecuencia (LFE). El audio de cada canal está limitado a un ancho de banda de 20kHz, con excepción del canal LFE, el que está limitado a 120Hz. También es posible enviar otras combinaciones de señales de audio, siempre que no se exceda la tasa máxima total de 448kbps.

La compresión AC-3 de una o varias fuentes de audio digital o *flujos elementales* (desde 2 en un programa con sonido estéreo hasta 6 en un programa con sonido 5.1), representa un *servicio de audio*. Múltiples servicios pueden ser multiplexados en un flujo de transporte MPEG-2, siendo clasificados en principal (audio completo asociado a una señal de video, incluyendo diálogo, música, efectos especiales, etc.) y asociados (servicios especiales como para gente con discapacidades visuales o auditivas, señales de emergencia, etc.). El servicio principal de audio, o un servicio asociado completo, debe ser codificado a una tasa de datos no superior a 448kbps, y la tasa final de una combinación de un servicio principal y uno asociado no debe exceder lo 576kbps.

### 2.3.3. Subsistema de Múltiplex de Transporte

El subsistema de transporte (Figura 1) usa como entradas los flujos de video, audio y datos, codificados y comprimidos de acuerdo al estándar MPEG-2 (ISO/IEC 13818-1) y los paquetiza y multiplexa de acuerdo al sistema definido en el mismo estándar MPEG-2, con las restricciones y extensiones señaladas en el Anexo C del estándar A/53.

El subsistema de transporte divide los flujos elementales de video, audio y datos en unidades más pequeñas y las multiplexa en estos paquetes de transporte de 188bytes, cuyo primer byte es insertado para sincronismo. El receptor, es responsable de recuperar esos flujos elementales para entregárselos a los decodificadores correspondientes, junto con la señalización de errores. El subsistema de transporte también incorpora la función que permite la sincronización del receptor.

## 2.4. Características del Sistema de Codificación y Modulación

El sistema de codificación de canal y modulación de ATSC (bloque "Transmisión de RF" en la Figura 1) constituye la característica más propia de éste estándar. Los dos bloques fundamentales son la Codificación de Canal y la Modulación 8-VSB, descritos a continuación.

### 2.4.1. Codificación de Canal

La Figura 3 muestra el diagrama del proceso de codificación y modulación. El sistema es alimentado con el flujo de transporte paquetizado según se ha descrito anteriormente. Los datos son primero aleatorizados (dispersión de energía) y luego procesados para brindar capacidad de corrección de errores mediante un código de bloques Reed-Solomon (RS), seguido por un entrelazador y un codificador Trellis (TCM).

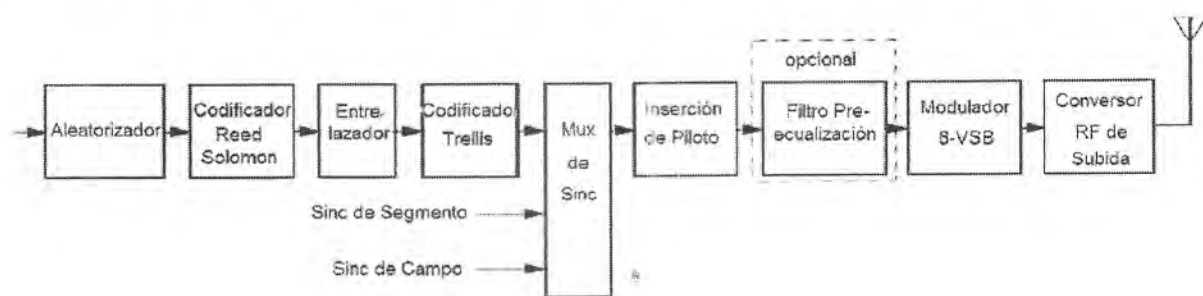


Figura 3. Diagrama funcional del sistema de codificación de canal y modulación de ATSC.



Las características de cada bloque se describen a continuación:

**Aleatorizador:** La aleatorización uniformiza la distribución de energía de la señal MPEG-2 en el espectro y contribuye a que el espectro de la transmisión tenga las propiedades adecuadas (se comporta como una señal de ruido blanco). La aleatorización de los bits que componen un flujo de transporte se logra mediante multiplicación por una secuencia binaria pseudo aleatoria de orden 16 (PRBS-16).

**Codificador Reed Solomon:** Los bits aleatorizados son procesados para brindar una capacidad de corrección de errores mediante un código de bloques Reed-Solomon (RS) (específicamente el código RS (207, 187,  $t = 10$ )). Este código es capaz de corregir hasta 10bytes con errores entre cada grupo de 207.

**Entrelazador:** El objetivo de este dispositivo es dar protección a la señal cuando hay errores de ráfaga<sup>6</sup>. El entrelazador de bytes empleado es convolucional de longitud 52 y sólo se entrelazan los bytes de datos (incluyendo los bytes de redundancia insertados por RS).

**Codificador Trellis:** El objetivo de este codificador es brindar una segunda capa de protección de errores. Se usa un codificador Trellis (TCM) de tasa 2/3, el que inserta un bit de redundancia por cada 2 bits de datos. Cada grupo de 3 bits resultantes definen uno de 8 símbolos de la modulación de amplitud de pulso (8-PAM) utilizada posteriormente en el modulador.

**Multiplexor de Sincronismo:** Se insertan símbolos piloto necesarios en el receptor para recuperar y mantener el sincronismo de los datos.

Los bloques restantes están descritos en la siguiente sección.

#### 2.4.2. Modulación 8-VSB

La modulación utilizada en ATSC es esencialmente una Modulación de Amplitud de Pulsos de 8 niveles (8-PAM) en banda base, trasladada a radiofrecuencia mediante un modulador analógico de Banda Lateral Doble con Portadora Suprimida, seguido por un filtro que elimina la banda lateral inferior y un circuito que inserta una portadora. Este método de modulación es conocido como *Vestigial Sideband Modulation (VSB)* y es, de hecho, similar a la técnica de modulación que ha sido utilizada para transmisión de televisión analógica desde sus comienzos. VSB es en gran medida una modulación de Banda Lateral Unica (BLU), pero difiere de ésta por la forma en que es generada. En BLU una de las Bandas Laterales es *cancelada* completamente mediante circuitos o filtros muy complejos, mientras que en VSB la Banda Lateral Inferior (BLI) es *filtrada* mediante filtros de fácil realización. Debido a que todo filtro realizable tiene una transición no instantánea entre la Banda Lateral Superior (BLS) y la Banda Lateral Inferior (BLI), la señal filtrada inevitablemente contiene *vestigios* de la BLI –de ahí el nombre VSB.

La inserción de una portadora simplifica las tareas de sincronización y demodulación en el lado receptor. En la práctica, la portadora es insertada en banda base agregando un valor de continua a la modulación 8-PAM, previo al traslado a radiofrecuencia realizado con el modulador de Banda Lateral Doble con Portadora Suprimida tradicional.

El proceso de modulación se describe a continuación y completa la descripción de la Figura 3.

**Inserción de Piloto:** El tono piloto (portadora) se inserta en banda base agregando a la modulación 8-PAM un offset que causa que su valor medio no sea cero. La potencia de la portadora piloto es pequeña y está 11,3dB por debajo de la potencia promedio de la señal.

**Filtro de Pre-ecualización:** Es opcional y dependiente de la implementación específica de cada receptor. Para ello se requiere de una función de ecualización en el receptor. Para tal fin, cada segmento de sincronismo de campo de datos transmitido contiene una secuencia de entrenamiento, la cual puede ser utilizada por el ecualizador del receptor.

<sup>6</sup> Un error de ráfaga afecta a una serie de bits consecutivos, mientras que los errores aleatorios afectan a bits individuales en posiciones de la secuencia del mensaje.



**Modulación 8-VSB:** La señal 8-PAM con offset es primero trasladada a una frecuencia intermedia mediante modulación de Banda Lateral Doble con Portadora Suprimida y luego filtrada con un filtro de Nyquist<sup>7</sup>. El filtro especificado tiene un factor de *roll-off* 11,5%, lo cual divide la banda de 6MHz en una porción activa de 5,38MHz y dos bandas de guarda de 310kHz (una en cada extremo de la banda).

### 2.4.3. Tasa de Datos

El filtro de Nyquist con factor de *roll-off* 11,52%, implica que la tasa de baudios de ATSC es  $2 \times 5,38 = 10,76$  Mbaudios/s. Puesto que la modulación utilizada es 8-PAM, la tasa de bits observada en el canal es  $3 \times 10,76 = 32,29$  Mbps. Considerando la pérdida de tasa causada por los codificadores RS y TCM (factores 188/208 y 2/3 respectivamente) y los campos de sincronismo (312/313), se obtiene la tasa de datos neta de ATSC correspondiente a 19,39 Mbps.

### 2.4.4. Características Espectrales

El filtro de Nyquist usado para eliminar la banda lateral inferior en la modulación VSB define a la vez implícitamente la máscara espectral de ATSC, la que en teoría no contiene radiación fuera de banda. La Figura 4 presenta un esquema de las características espectrales de la modulación. En la misma se destacan la portadora y las bandas de transición del filtro de Nyquist.

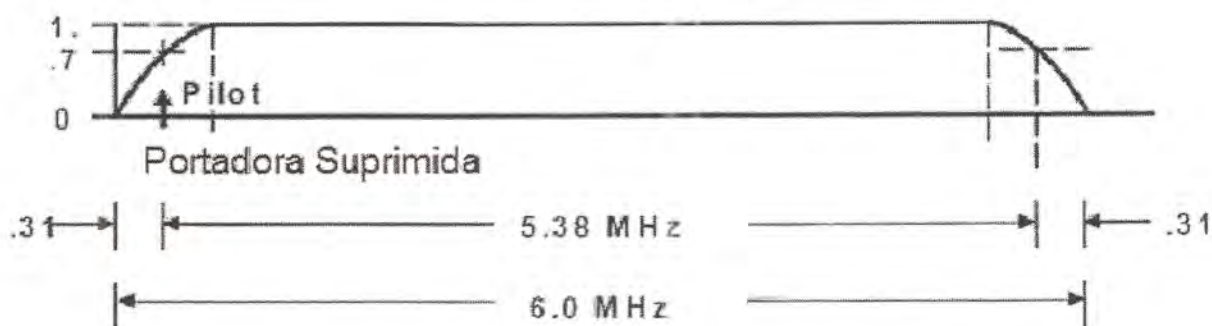


Figura 4. Espectro de la señal 8-VSB en ATSC.

## 2.5. Operación con Frecuencia Única Nacional

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

En redes de frecuencia única para distribución de TV Digital, puede haber sectores entre transmisores adyacentes, en los cuales las transmisiones de éstos se traslapan. En estos sectores, los receptores perciben las múltiples transmisiones como una propagación de multitrayectoria, puesto que las transmisiones portan el mismo contenido pero están desfasadas en el tiempo y tienen magnitudes relativas que dependen de la ubicación del receptor respecto de los transmisores. El receptor debe procesar estas múltiples transmisiones para obtener una sola señal que permita demodular el flujo de transporte con la menor cantidad de errores. En este sentido, si un estándar tiene mejor robustez frente a propagación de multitrayectoria, la tendrá también en términos de la operación en red con frecuencia única.

<sup>7</sup> También conocido como filtro de coseno elevado. Su función es el control de la interferencia intersimbólica (ISI) lo que permite, de una forma realizable, utilizar el total del ancho de banda de 5,38MHz para el transporte de datos. El filtrado Nyquist es realizado por el conjunto formado por el transmisor y el receptor.

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

En redes ATSC, el sincronismo entre estaciones debe ser logrado en tres aspectos:

- Frecuencias idénticas de las portadoras de radiofrecuencia, con una precisión de  $\pm 1/2\text{Hz}$ .
- Sincronismo entre los flujos de transporte, que deben ser idénticos.
- Idénticos procesos de codificación del flujo de transporte (codificación, entrelazado, aleatorización, etc.) entre transmisores de la red.

Diferencias entre las frecuencias de portadora son percibidas por un receptor como señales de eco con efecto Doppler, como si fueran transmisiones móviles. Diferencias en los flujos de transporte o en los procesos de codificación hacen que las transmisiones de celdas adyacentes tengan un efecto equivalente al de la Interferencia de Co-Canal (ICC) en la celda deseada. La consecuencia es una pérdida de eficiencia espectral (menor tasa de datos), o la degradación de la calidad de la imagen y audio recibidos, pudiendo llegar a límites de calidad inaceptable.

La operación en una red de frecuencia única de un sistema ATSC está especificada en el estándar A/110, de Julio de 2005 y el documento de prácticas recomendadas A/111 de Septiembre de 2004, que introdujeron modificaciones al estándar ATSC para posibilitar la operación de ATSC en RFU. Previo a la publicación de estos documentos, la operación en frecuencia única no estaba contemplada en el estándar ATSC y ATSC no tenía la capacidad de operar en este modo. En el año 2004, el estándar fue modificado y los nuevos equipos tienen la capacidad de operar en RFU, pero hasta la fecha la experiencias prácticas de operación RFU son escasas.

De acuerdo a los documentos mencionados del estándar ATSC, tres modos de operación son posibles para redes con múltiples transmisores (ya sea conformando redes de frecuencia única o de frecuencias múltiples):

a) *Repetidores digitales en la misma frecuencia (DOCR)*. Corresponden a equipos que reciben la misma señal que los receptores domésticos, y la retransmiten en la misma frecuencia con o sin procesamiento, dependiendo del tipo de repetidor. El documento de prácticas recomendadas considera el uso de estos dispositivos, principalmente para ampliar la zona de cobertura, iluminar zonas oscuras y cubrir áreas pequeñas. Se trata de un sistema de bajo costo, pero que no permite la operación en RFU.

b) *Transmisores distribuidos*. Los transmisores distribuidos reciben la señal a través de una red de bajo retardo (fibra óptica o bien cable) y la retransmiten al aire, todos en la misma frecuencia. En el caso de redes de frecuencia única, estos transmisores operan de manera sincronizada, de modo tal que emiten señales idénticas simultáneamente. Ello conlleva la necesidad de sincronizar los transmisores (empleando receptores GPS localizados en cada sitio), incluyendo el uso de retardos para ajustar el tiempo de la transmisión. La información de sincronización temporal se incluye en el flujo de transporte, lo que reduce en forma poco significativa la tasa de datos de 19,39Mbps y degrada el comportamiento de la transmisión frente al ruido blanco Gaussiano en algunos decibelios.

c) *Traductores distribuidos*. Estos equipos operan en forma similar a los repetidores, pero retransmitiendo en una frecuencia distinta. Permiten la formación de redes multifrecuencia, y requieren al menos de dos frecuencias disponibles.

Para sincronizar los flujos de datos y todos los procesos incluidos en la codificación, el estándar ATSC considera la inserción en el flujo de transporte de una *palabra de cadencia* cada cierto tiempo, así como la inserción de *paquetes de transmisión distribuida*, estos últimos a una tasa de no más de un paquete cada 312 paquetes del flujo de transporte. Esta información, en conjunto con las referencias de tiempo locales (provenientes, por ejemplo, de GPS) es utilizada por cada uno de los transmisores de la red para temporizar sus transmisiones adecuadamente.

En el lado de la recepción, para operar en redes de frecuencia única con estándar ATSC, los receptores requieren de ecualizadores capaces de procesar las señales provenientes de distintos transmisores en las zonas de traslape de transmisiones (que aparentan ser ecos), y de combinar estas múltiples señales en una sola. Actualmente, si bien ha habido avances en esta materia, los ecualizadores todavía muestran debilidades en casos de múltiples trayectorias con niveles de potencia cercanos entre sí. Este tema está tratado más en extenso en el acápite referente a la robustez frente a las multitrayectorias.



### 3. El Estándar Digital Video Broadcasting (DVB)

#### 3.1. Antecedentes Generales

El estándar de televisión digital europeo, *Digital Video Broadcasting (DVB)*, fue establecido por el *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)* durante los años 1990 y consiste de un conjunto de aproximadamente 30 especificaciones y documentos técnicos que cubren la vasta gama de tópicos relacionados con la distribución digital de video.

DVB fue diseñado para transmitir información de audio y video codificada de acuerdo a una versión especializada del estándar de codificación de audio y video MPEG-2. DVB contiene especificaciones para distribución de video digital por diversos medios, incluyendo satélite (DVB-S), cable (DVB-C), terrestre (DVB-T) y microondas (DVB-MS y DVB-MC<sup>8</sup>). Recientemente también fue incorporada la especificación para distribución terrestre de contenido a terminales portátiles (DVB-H). Además, las especificaciones DVB establecen normas sobre aspectos como:

- Provisión de servicios interactivos mediante canales de retorno sobre varios medios (DECT, GSM, PSTN/ISDN, satelital, etc.) y protocolos (IP, NPI).
- Acceso condicional a contenidos pagados y protección de copia.
- Formato e interfaz para transferir señales DVB hacia las localidades de distribución mediante redes de datos tradicionales.
- Transmisión de señales DVB-T mediante red de frecuencia única.
- Utilización de DVB para distribución de datos genéricos, no limitado a audio y video, y posibilitando formatos como MPEG-4.

El énfasis de esta sección son las especificaciones DVB relacionadas con las normas DVB-T y DVB-H.

#### 3.2. El Sistema DVB-T

La norma DVB-T especifica las propiedades de la capa física para la transmisión terrestre de video y audio digital, y está descrita en el estándar. El sistema se conforma muy similarmente al ATSC, como se describe a continuación (ver Figura 5).

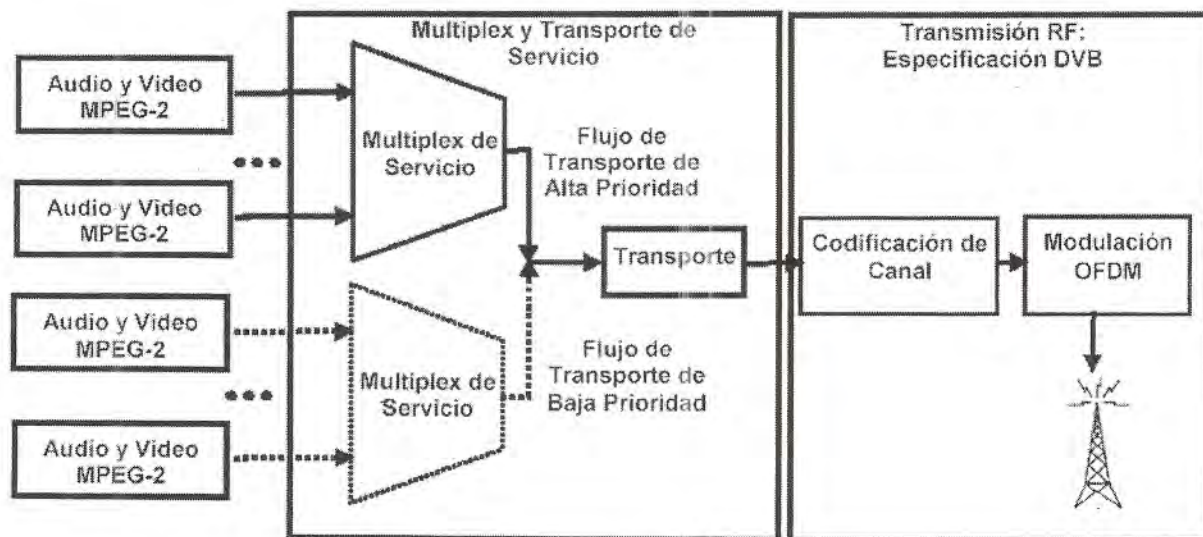


Figura 5. Diagrama general del sistema DVB-T.

<sup>8</sup> DVB-MS especifica el sistema de distribución de DVB por microondas para frecuencias superiores a 10GHz. Puesto que está fuertemente basado en el estándar para distribución satelital (DVB-S), ha recibido el acrónimo DVB-MS. Similarmente, DVB-MC es la especificación para distribución de DVB por microondas en frecuencias inferiores a 10GHz, y está basado en la norma de distribución por cable, DVB-C.

En primer lugar, las señales de video y audio son comprimidas y codificadas según la norma MPEG-2, con una sintaxis especializada por ETSI para DVB. Dicha especialización asegura que el sistema DVB sea compatible con medios de almacenamiento de contenido existentes y futuros, como DVD, DVC, D-VHS, etc. Ello requiere que los flujos de datos de DVB satisfagan ciertas condiciones, por ejemplo, tasas de datos máximas para señales de audio y video.

Varios programas (video audio y datos) codificados y comprimidos con MPEG-2 pueden ser *multiplexados* en un único *flujo de transporte* MPEG-2, permitiendo así compartir el canal para distribuir programación múltiple simultáneamente. Debe notarse que este proceso es prácticamente equivalente al que se realiza en los subsistemas de "Codificación y compresión de fuentes" y "Múltiplex y transporte de los servicios" del estándar ATSC, excepto por el estándar utilizado para la codificación de fuente de audio. En la norma ATSC, la codificación de audio sigue la sintaxis AC-3, mientras que la transmisión de audio del estándar DVB sigue las recomendaciones del formato MPEG-2 para estéreo y sonido envolvente (es decir, la codificación de audio es MPEG-2 en vez de AC-3). En todo caso, el estándar DVB también permite la operación con formatos AC-3 o DTS para sonido envolvente.

El sistema DVB-T permite además combinar jerárquicamente hasta dos flujos de transporte en una sola transmisión digital, uno de *alta prioridad* (AP) y otro de *baja prioridad* (BP), este último mostrado con línea punteada en la Figura 5. El flujo AP requiere menor razón señal a ruido (SNR) para ser decodificado que el BP. Así, por ejemplo, el flujo AP podría portar señales de video en resolución normal con una codificación de canal de alta redundancia, haciendo posible su decodificación a distancias lejanas a la antena de transmisión (donde la SNR es baja). El flujo BP, en cambio, podría portar la misma programación en alta resolución utilizando una codificación de alta tasa (poca redundancia), el que sería decodificado satisfactoriamente por receptores ubicados a distancias menores (SNR alta). Cabe destacar, no obstante, que el receptor puede escoger libremente entre los flujos AP y BP y que ambos flujos de transporte podrían perfectamente ser utilizados para transmitir programación completamente distinta.

El sistema de *Transmisión RF* es el que caracteriza al sistema DVB (Figura 5). En el bloque de *Codificación de Canal*, se aplica a la señal un conjunto de procesos cuyo objetivo es proteger los flujos de transporte de los efectos de las diversas fuentes de ruido e interferencias que degradan las transmisiones. Las normas DVB-S y DVB-C y DVB-T utilizan el mismo sistema de codificación, lo que permite aprovechar economías de escala en el desarrollo de equipos, y así llegar al consumidor con productos de costos más convenientes.

El módulo de *Modulación OFDM* genera las señales de radiofrecuencia que son transmitidas por radio a partir de los datos digitales entregados por el codificador de canal. En DVB-T (DVB-H es una especialización de DVB-T) se utiliza modulación OFDM con modulación QAM de las sub-portadoras.

### 3.3. Características de la Fuente

#### 3.3.1. Características del Video

Al igual que el sistema ATSC, el sistema DVB soporta diferentes resoluciones de pantalla y tasas de trama. Los formatos se indican a continuación en la Tabla II según resolución, forma de barrido (progresivo (P) o entrelazado (I)) y tasa de cuadros por segundo. Cabe mencionar que las resoluciones indicadas operan con anchos de banda de transmisión de 6, 7 y 8MHz.

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

Tabla II. Resoluciones de Pantalla.





Nuevamente, al igual que en el caso de ATSC, los formatos de video corresponden a los definidos en el estándar MPEG-2.

### 3.3.2. Características del Audio

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

### 3.4. Características del Sistema de Codificación y Modulación

El sistema de transmisión del estándar DVB utiliza modulación (OFDM) codificada para la interfaz aérea, pudiendo ser usados anchos de banda de 6, 7 y 8MHz, así como 5MHz con ciertas limitaciones.

#### 3.4.1. Descripción de la Codificación de Canal

El sistema de codificación de DVB-T fue diseñado en gran medida para manejar la Interferencia Dentro del Canal<sup>9</sup> (IDC) e Interferencia de Canal Adyacente<sup>10</sup> (ICA) producidas por transmisiones tanto analógicas como digitales. El alto grado de protección necesario se logra mediante una concatenación de códigos Reed-Solomon (RS) y Convolutivo (Conv), junto con entrelazadores, según se describe a continuación (Figura 6).

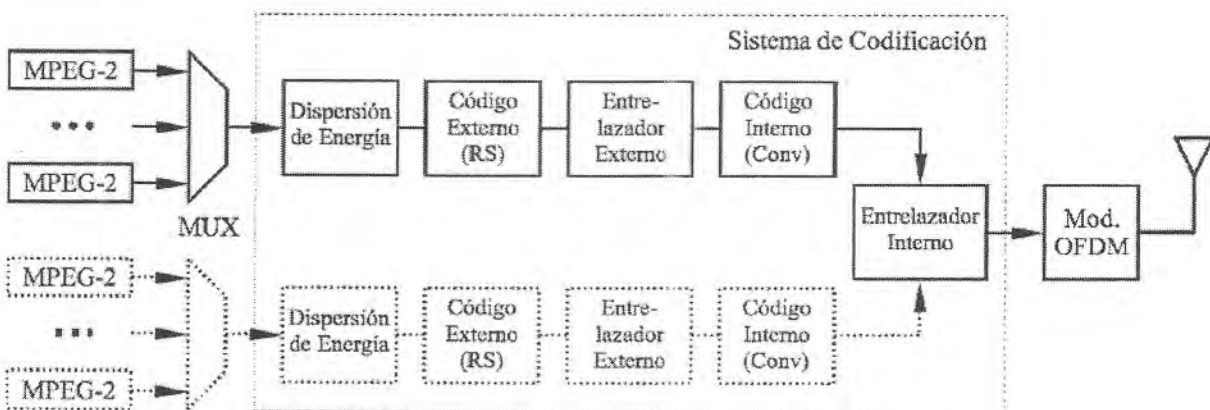


Figura 6. Sistema de codificación de canal de DVB-T.

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

**Dispersión de Energía:** Los datos son aleatorizados mediante multiplicación por una secuencia binaria pseudo aleatoria de orden 15 (PRBS-15). El propósito de esta operación es eliminar todo sesgo estadístico que la secuencia de datos de la fuente pueda tener. Por ejemplo, varios cuadros sucesivos de una imagen negra podrían, según como haya sido hecha la codificación MPEG-2, generar un flujo de transporte en el que una gran mayoría de bits consecutivos sean ya sea ceros o unos. Puesto que el resto de la cadena de codificación y modulación es determinística, ello finalmente se traduciría en una transmisión con características espectrales desbalanceadas, aumentando la interferencia de canal adyacente.

<sup>9</sup> La Interferencia Dentro del Canal (IDC) es aquella producida por otras estaciones transmitiendo en la misma frecuencia (o canal) en otra ubicación geográfica.

<sup>10</sup> La Interferencia de Canal Adyacente (ICA) es aquella producida por otras estaciones transmitiendo en canales de frecuencia adyacentes en la misma ubicación geográfica.

**Código Externo (Reed-Solomon):** En segundo lugar se agrega capacidad de corrección de errores mediante un código Reed-Solomon acortado (204, 188,  $t = 8$ ). El código se aplica por bloques a grupos de 188bytes, compuestos por 1byte de sincronización MPEG-2 y 187bytes de cada paquete MPEG-2, resultando palabras codificadas de 204bytes. Este código es capaz de corregir hasta 8bytes erróneos ocurridos en cada grupo de 204.

**Entrelazador Externo:** En seguida se aplica un proceso de entrelazado convolucional por bloques (se entrelaza internamente el contenido de cada grupo de 204bytes).

**Código Interno (Convolucional):** A continuación se utiliza un segundo código de corrección de errores, en el que emplea un código convolucional punzado. El código es de restricción  $K=6$  (64 estados) y puede operar a tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8, otorgando así flexibilidad entre tasa de datos y el nivel de protección que se desea. La tasa de codificación es determinada por el operador según la cobertura y tasa de datos que desee, y puede modificarla libremente en el tiempo. La tasa 7/8 agrega un bit de redundancia por cada siete bits de información, y provee el grado de protección más débil a los datos, pero tiene una mayor capacidad de transporte. La ventaja es que 7 de cada 8 bits transmitidos contienen información, pero la cobertura es reducida, puesto que se requiere una señal fuerte (alta razón señal a ruido) para lograr la decodificación sin errores. En el otro extremo, la tasa 1/2 otorga el máximo grado de protección a los datos. Ello permite decodificar la señal a distancias mayores, donde la razón señal a ruido es débil, pero sacrifica la tasa de datos puesto que por cada 8 bits transmitidos sólo 4 portan información.

**Entrelazador Interno:** En transmisiones no jerárquicas, solamente existe el flujo de transporte superior (Figura 6, bloques con líneas sólidas). En tal caso, los bits del flujo de transporte son agrupados en símbolos de 2, 4 o 6 bits/símbolo (según el tamaño de la constelación QAM usada en la modulación OFDM, 4-QAM, 16-QAM o 64-QAM). El entrelazado es realizado entre bits correlativos de 126 símbolos consecutivos. Luego los símbolos resultantes son entrelazados entre ellos para dispersar su ubicación en las sub-portadoras del modulador OFDM.

En transmisiones jerárquicas, el entrelazado opera en forma similar, excepto que los símbolos son formados por grupos de 2 bits del flujo AP y 2 bits del flujo BP (caso 16-QAM-jerárquico), o bien 2 bits del flujo de AP y 4 bits del flujo BP (caso 64-QAM jerárquico).

Puesto que el receptor puede escoger libremente entre los flujos AP y BP, basta que éste cuente con un solo juego de decodificadores interno/externo y entrelazadores interno/externo para decodificar la señal deseada (a diferencia del transmisor, que requiere de ambos flujos para combinar las señales jerárquicamente). La desventaja de contar con esta economía de componentes en el receptor es que cambiar de un flujo al otro requiere congelar la señal de video por aproximadamente 0,5 segundos, y la de audio por aproximadamente 0,2 segundos, mientras se re-inicializa la cadena de codificación.

### 3.4.2. Modulación OFDM

DVB-T utiliza modulación OFDM<sup>11</sup> con los siguientes parámetros principales.

**Sub-Portadoras:** Se consideran tres modos de operación según el número de subportadoras en las cuales se subdivide la banda de transmisión. Concretamente, se tiene el modo "2k" con 2048 sub-portadoras, el modo "4k" con 4096 sub-portadoras, y el modo "8k" con 8192 sub-portadoras. El modo 4k fue añadido recién en 2004 para otorgar mayor flexibilidad de transmisiones a terminales móviles (ver Sección DVBH) pero puede ser utilizado para transmisiones DVB-T también.

En la práctica sólo se modulan 1705 sub-portadoras en el modo 2k, 3409 en el modo 4k, y 6817 en el modo 8k (incluye sub-portadoras con tonos piloto y parámetros de transmisión), debido a limitaciones de los circuitos de radiofrecuencia. Entre las subportadoras moduladas, la cantidad de sub-portadoras destinadas a portar datos de video propiamente dicho son 1512, 3024 y 6048 respectivamente, mientras que las demás son utilizadas para transmitir parámetros de codificación, modulación y tonos pilotos necesarios para sincronización y estimación del canal. Esto además permite que cada operador configure su transmisión libremente en cada momento según contenido (noticias, alta definición, flujos priorizados), plan de negocios, etc., y que cada receptor se ajuste automáticamente a ella.

<sup>11</sup> La modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), es un sistema que utiliza un número considerable de portadoras (ortogonales entre ellas) y en que cada portadora transporta una parte pequeña del total de la información a transmitir. En la práctica, todo el proceso de modulación se hace en forma digital, utilizando métodos basados en la Transformada Rápida de Fourier (FFT).

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

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

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

Circuitos integrados diseñados para realizar el procesamiento de banda base (codificación de canal y modulación OFDM) para un ancho de banda de 8MHz, no debieran tener inconveniente alguno para operar en bandas de 6MHz (no viceversa).

El radio de celda máximo que un determinado modo de sub-portadora (2k, 4k u 8k) puede soportar es 33% mayor (factor 8/6) en transmisiones de 6MHz de ancho de banda que en 8MHz. Las áreas de cobertura correspondientes difieren en 77%. La ventaja en el caso de 6MHz resulta de la menor separación entre las sub-portadoras, lo que permite operar en canales con mayor selectividad en frecuencia. La desventaja de lograr mayor cobertura de esta forma es una reducción de 33% en la tasa de datos.

**Intervalo de Guarda Temporal:** El propósito de los intervalos de guarda es proveer inmunidad a la dispersión de canal. La técnica consiste en separar símbolos OFDM consecutivos y rellenar la brecha resultante (intervalo de guarda) con datos redundantes. Se especifican cuatro posibles valores para el intervalo de guarda entre símbolos OFDM, de 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 de la duración del símbolo OFDM. Su elección depende principalmente de la geografía del entorno de transmisión, lo que determina la dispersión del canal correspondiente. En regiones con montañas se debe optar por valores mayores (1/4-1/8) que en las llanuras. En el caso más extremo (intervalo de 1/4), la tasa de datos se ve reducida en un 20%.

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

### 3.4.3. Tasas de Datos

---

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

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

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

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



Dado un ancho de banda de la transmisión y de la transmisión no jerarquizada (flujo de transporte único), todas las combinaciones de los demás parámetros permiten lograr en total 60 tasas de datos distintas. Para bandas de 6MHz, las tasas de datos netas para transmisión de contenido están el rango entre 3,73Mbps y 23,75Mbps. Para bandas de 8MHz, las 60 tasas posibles son un 33% mayores (factor 8/6), estando por lo tanto en el rango entre 4,98Mbps y 31,67Mbps<sup>12</sup>.

Lograr transmisiones *casi libre de errores*<sup>13</sup> (CLE) a una tasa de datos determinada requiere una razón señal a ruido (SNR) mínima en los receptores. Esta SNR mínima es mayor cuanto mayor sea la tasa de datos deseada; depende de las condiciones de propagación y no del ancho de banda (ni del prefijo cíclico). En general, la SNR es menor cuanto más alejado esté un receptor del transmisor, por lo que tasas de datos mayores (mayor SNR mínima requerida) encogen el área de cobertura en la que se obtiene transmisión CLE.

La menor tasa de datos posible (3,73Mbps o 4,98Mbps), requiere entre 3,1dB y 5,4dB de SNR, y la mayor tasa posible (23,75Mbps o 31,67Mbps) requiere entre 20,1dB y 27,9dB según las condiciones del canal. Esto implica que si en un ambiente urbano la mayor tasa es lograda a distancias no mayores que x kilómetros, con la misma potencia de transmisión se podría lograr la menor tasa a una distancia en el orden de 5x a 6x. Así, el área que se puede cubrir transmitiendo a la menor tasa es aproximadamente 30 veces mayor que con la mayor tasa.

Desde luego, la tasa de datos está estrechamente ligada con la resolución de video de la transmisión, y al número de señales MPEG-2 que se multiplexan en cada flujo de transporte (de los dos posibles, AP y BP). En este sentido, el estándar DVB-T no especifica el formato de los contenidos, dejando estos aspectos en manos de los operadores y de sus planes de negocio.

#### ***3.4.4. Características Espectrales***

---

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

#### ***3.4.5. DVB para Terminales Portátiles (DVB-H)***

---

DVB-H es una extensión de la norma DVB-T incorporada en 2004 para definir el formato de distribución de televisión digital terrestre a terminales portátiles. DVB-H está definida en ETSI EN 302 304 V1.1.1 (2004-11) y en el Anexo F de la norma DVB-T. El primer documento especifica el sistema DVB-H general en torno al estándar DVB-T, así como el formato de la fuente de video y su multiplexión con programación MPEG-2 tradicional para formar el flujo de transporte. El Anexo F de la norma DVB-T, en cambio, especifica las extensiones a dicha norma que fueron necesarias para acomodar flujos de transporte con contenido no-MPEG-2 para DVB-H. Los elementos principales que incorpora DVB-H a DVB-T son descritos a continuación (ver Figura 7):

**Fuente IP:** Las señales fuente DVB-H son datagramas IP, no MPEG-2. No obstante, tal como lo muestra la Figura 7, las señales para terminales portátiles son multiplexadas dentro de los mismos flujos de transporte MPEG-2 que portan las señales televisivas regulares. Por lo tanto, el servicio a terminales portátiles no requiere de ancho de banda adicional.

**Codificación de Canal Adicional:** La señal DVB-H es protegida con una capa de codificación adicional para hacer frente a la mayor degradación que presentan señales recibidas en movilidad.

---

<sup>12</sup> Un análisis detallado de las tasas de datos de de DVB-T en 6MHz y 8MHz en relación a ATSC e ISDB-T se entrega en la Sección 5.2. La Figura 11 en dicha sección muestra los valores concretos de las 60 tasas de DVB-T en bandas de 8MHz.

<sup>13</sup> QEF: Quasi Error-Free transmission: significa menos de un error por hora en la entrada del demultiplexador MPEG-2 del receptor (salida del decodificador externo Reed-Solomon). Ello es equivalente a una tasa de error de  $2 \times 10^{-4}$  a la salida del decodificador Viterbi del código convolucional interno.

**Transmisión por Ráfagas:** La inserción de la señal DVB-H al flujo de transporte es mediante ráfagas periódicas. Durante cada ráfaga, las señales MPEG-2 regulares ceden el ancho de banda a la señal DVB-H, lo que permite a los terminales móviles DVB-H operar con la más alta eficiencia energética al no tener que recibir y decodificar la demás programación que no es de interés. Durante los periodos entre ráfagas, las señales MPEG-2 regulares recuperan el ancho de banda perdido durante la ráfaga, y los terminales móviles DVB-H pueden desactivar sus circuitos de recepción y decodificación, o bien destinarlos a descubrir nuevas celdas DVB-H en la medida que el móvil se aleja de la actual.

**Introducción del modo "4k":** Ofrece mayor flexibilidad a los operadores para configurar y planificar el sistema bajo compromisos de movilidad (modo 2k ideal) y área de cobertura por antena (modo 8k ideal).

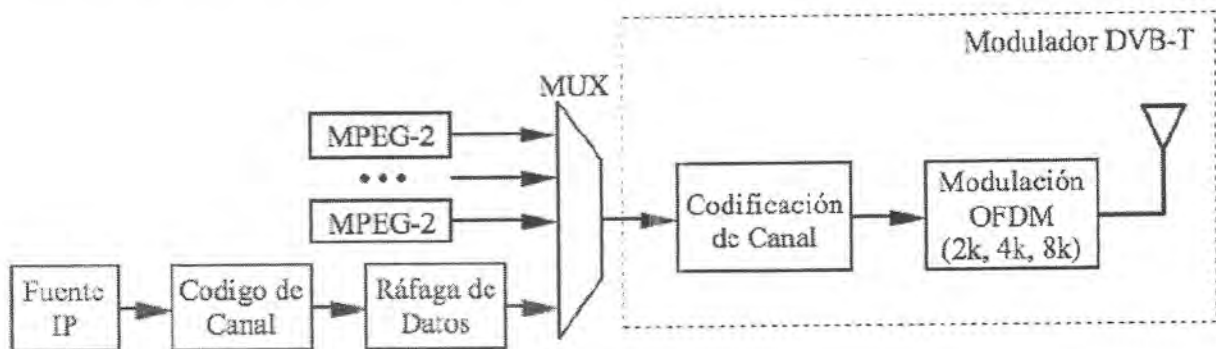


Figura 7. Elementos del sistema DVB-H (en rojo) dentro del marco de DVB-T.

### 3.5. Operación con Frecuencia Única Nacional

En redes de frecuencia única (RFU) con el estándar DVB-T, el principio es el mismo que en el caso del estándar ATSC, en el sentido que las múltiples señales recibidas en las zonas de traslapo de los transmisores deben parecerse lo más posible a un eco. El sincronismo entre estaciones debe ser logrado en tres aspectos:

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

Diferencias entre las frecuencias de portadora o de muestreo causan una degradación en la señal recibida similar a una pérdida de SNR o a una Interferencia de Co-Canal.

Si el sincronismo del flujo de transporte no es logrado, con suficiente precisión, las transmisiones de celdas adyacentes tendrán un efecto equivalente al de una propagación de multi-trayectoria mucho más dispersiva que la real existente entre el transmisor local (deseado) y el receptor. Si, en cambio, dicho sincronismo no existe, transmisiones idénticas pero desfasadas de celdas adyacentes causarán Interferencia de Co-Canal (ICC) en la celda deseada. En ambos casos la consecuencia es ya sea una pérdida de eficiencia espectral (menor tasa de datos), o degradación de la calidad de la imagen y audio recibidos.

La operación de un sistema DVB-T mediante RFU está especificada en el documento ETSI TS 101 191. Su funcionamiento es conceptualmente sencillo y puede ser resumido de la siguiente forma:

- 1) El flujo de transporte multiplexado es compuesto en los estudios de un canal de televisión.
- 2) Periódicamente (al menos una vez cada segundo) se inserta en el flujo de transporte un paquete de referencia, el que porta una identificación única y marca horaria de alta precisión. La señal horaria del sistema de posicionamiento global (GPS) es una alternativa viable y cumple con la condición adicional de estar disponible en todas las celdas de transmisión de la RFU.
- 3) El flujo de transporte adaptado en el punto anterior es distribuido geográficamente hacia los lugares de transmisión (celdas de transmisión, antenas) mediante una red de datos.

- 4) Cada celda remueve el paquete de referencia horaria del flujo de transporte y compara su marca horaria con la referencia local. Ello permite determinar la compensación necesaria en cada celda al retardo de propagación de la red de distribución para lograr sincronización de la RFU.
- 5) Cada celda codifica y modula el flujo de transporte en formato DVB-T utilizando los mismos parámetros, y efectúa la transmisión en sincronización con las demás celdas.

Es fundamental señalar que el mecanismo de sincronización puede compensar retardos de propagación en la red de distribución de *no más de un segundo*. Por lo tanto, el tamaño de una RFU de DVB-T está limitado a áreas geográficas dentro de las cuales la red de distribución de datos tiene retardos menores a un segundo.

También cabe destacar que el estándar no especifica la precisión requerida de los osciladores de portadora y banda base para asegurar la sincronización correspondiente entre estaciones. No obstante, el estándar sí considera la funcionalidad para ajustar las portadoras en pasos de 1Hz. La sincronización de los relojes de banda base no es descripta.

Finalmente, no obstante lo anterior, se destaca que en la actualidad existen RFU operativas en transmisiones DVB-T. Como ejemplo, se puede mencionar el caso de España, donde la empresa Abertis Telecom opera todas las redes nacionales de TV Digital terrestre abierta del país, para 4 canales en las frecuencias 66 al 69, utilizando unos 150 Centros Emisores. A la fecha, esta es probablemente la RFU más grande a nivel mundial.

## **4. El Estándar Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB)**

---

### **4.1. Antecedentes Generales**

---

El estándar de televisión digital japonés, *Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB)*, fue establecido por la *Association of Radio Industries and Businesses* de Japón (ARIB, [www.arib.or.jp/english/](http://www.arib.or.jp/english/)) y es promovido en el mundo por el *Digital Broadcasting Experts Group (DiBEG, www.dibeg.org)*. La investigación y desarrollo para ISDB comenzó en los años 1980 y el estándar propiamente dicho fue forjado en los años 1990. El estándar ISDB comprende media docena de documentos, en los que especifica la distribución de video digital por satélite (ISDB-S), cable (ISDB-C) y terrestre (ISDB-T), este último incluyendo terminales móviles. ISDB fue diseñado en torno al estándar de codificación de audio y video MPEG-2 (norma ISO/IEC 13812), y contiene especificaciones para transmisión de televisión de resolución estándar, en modo multiplexado, y de alta definición (HDTV). Similarmente a la norma Europea (DVB), los documentos ISDB también especifican aspectos como:

- Provisión de servicios interactivos sobre diversos canales de retorno (líneas telefónicas fijas, teléfonos móviles, redes de área local cableadas e inalámbricas, etc.)
- Acceso condicional y protección de copia
- Transmisión de señales mediante red de frecuencia única
- Distribución de datos genéricos, no restringidos a audio y video, aunque posibilitando por ejemplo flujos de video alternativos como MPEG-4

El énfasis de esta sección son las especificaciones ISDB relacionadas con la norma ISDB-T.

### **4.2. El Sistema ISDB-T**

---

La norma ISDB-T especifica las propiedades de la capa física para la transmisión terrestre de video y audio digital, y está descripta en el documento ARIB Standard B31, *Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting*. ISDB-T es muy similar a DVB-T en términos de señales y modulación, y ambos estándares coinciden en los siguientes aspectos (ver Figura 8):

- Ambas normas están basadas en codificación MPEG-2 de audio y video.
- Ambas normas soportan transmisión de otros formatos de datos (MPEG-4 u otros).
- Ambas normas utilizan códigos de canal Reed-Solomon y Convolucionales idénticos, así como el mismo aleatorizador.
- Ambas normas utilizan modulación OFDM con modos 2k, 4k y 8k, y modulación QAM de las sub-portadoras.



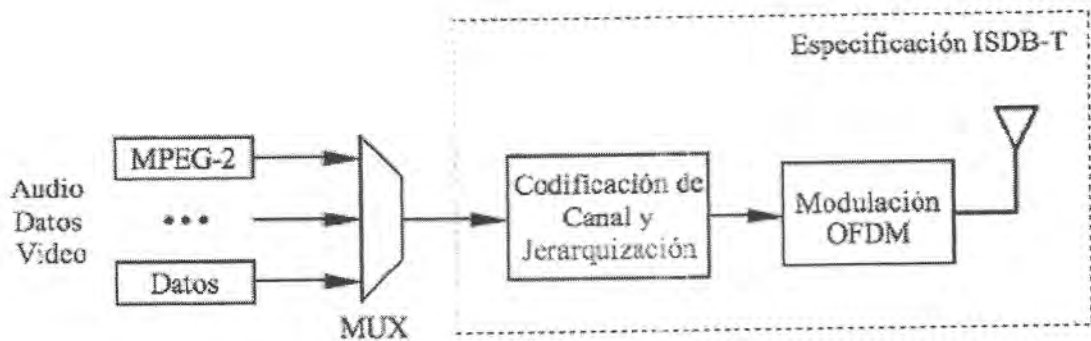


Figura 8. Diagrama general del sistema ISDB-T.

Sin embargo, ISDB-T presenta diferencias importantes con respecto a DVB-T en cuanto al orden y la forma en que los datos son codificados y luego localizados en frecuencia en la modulación OFDM. El esquema se conoce técnicamente como *Band Segmented Transmission-OFDM* (BST-OFDM), y la idea consiste en dividir la banda de transmisión en *segmentos* para ser asignados a servicios distintos. Ello tiene dos ventajas importantes frente a OFDM tradicional:

**Transmisión Jerárquica:** La segmentación permite asignar varios segmentos a un servicio determinado, y ajustar los parámetros de transmisión (como la tasa de codificación, la profundidad de entrelazado, etc.) individualmente de acuerdo a las necesidades y objetivos del servicio. En ISDB-T esto se conoce como *transmisión jerárquica*<sup>14</sup>. Así, por ejemplo, un segmento puede bastar para transmitir una señal de audio, mientras que tres son necesarios para video en definición normal, y seis para una señal de video de alta resolución. La segmentación también permite asignar segmentos y optimizar los parámetros de un servicio según su objetivo, como recepción móvil o estática, o según el radio de cobertura deseado, etc.

En el caso de ISDB-T, la banda de transmisión (6MHz) es dividida en 13 segmentos<sup>15</sup>, cada uno de aproximadamente 430kHz de ancho de banda, los que pueden ser asignados libremente a un máximo de 3 servicios o *capas jerárquicas*. Esta jerarquización de la transmisión es realizada en el sistema de codificación de canal (ver Figura 8).

**Recepción Parcial:** Se trata de un caso especial de la transmisión jerárquica, en que la codificación de canal y entrelazado en frecuencia de una señal es completamente autocontenida dentro del segmento central de la banda de transmisión. Este segmento puede ser recibido y decodificado independientemente de los demás 12, proporcionando así una solución eficiente para la transmisión a terminales portátiles. El receptor correspondiente es conocido como *receptor de un segmento*, de costo menor que la versión general del *receptor de 13 segmentos*.

### 4.3. Características de la Fuente

#### 4.3.1. Características del Video

Al igual que en los sistemas ATSC y DVB-T, el sistema ISDB-T soporta diferentes resoluciones de pantalla y tasas de trama. Los formatos se indican en las Tabla III, en resolución, forma de barrido (progresivo (P) o entrelazado (I)) y tasa de tramas<sup>16</sup> por segundo, y se conforman a la sintaxis del Nivel Principal, definido en la sección de video del estándar MPEG-2:

<sup>14</sup> El concepto es similar al de flujos priorizados de DVB-T, pero implementado en forma muy distinta.

<sup>15</sup> En estricto rigor la banda es dividida en 14 segmentos, de los cuales uno es sacrificado y dividido en dos para ser utilizado como banda de guarda en ambos extremos de la banda de transmisión.

<sup>16</sup> Para un barrido I, la tasa de cuadros/segundo es la mitad de la tasa de tramas/segundo. Para un barrido P, las tasas de tramas/segundo y de cuadros/segundo son iguales.



Líneas Verticales	Píxeles por Línea	Razón de Aspecto	Frecuencia de Tramas
1080	1920, 1440, 1080	16:9, 4:3	60I
720	1280	16:9, 4:3	30P
480	720, 540	16:9, 4:3	30P
480	720, 544, 540, 480	16:9, 4:3	60I

Tabla III. Resoluciones de Pantalla.

#### 4.3.2. Características del Audio

Como ya se ha mencionado en el caso de DVB-T y ATSC, también el sistema de audio de ISDB-T usa el estándar MPEG-2. La especialización, en este caso, está definida en el estándar ISO/IEC 13818-7 (MPEG-2 - AAC audio), la que permite el transporte de canales de audio 5.1 con una tasa de bits de hasta 320kbps.

### 4.4. Características del Sistema de Codificación y Modulación

#### 4.4.1. Codificación de Canal

El sistema de codificación de canal de ISDB-T está ilustrado en el diagrama de bloques de la Figura 9. Cada bloque es descrito a continuación.

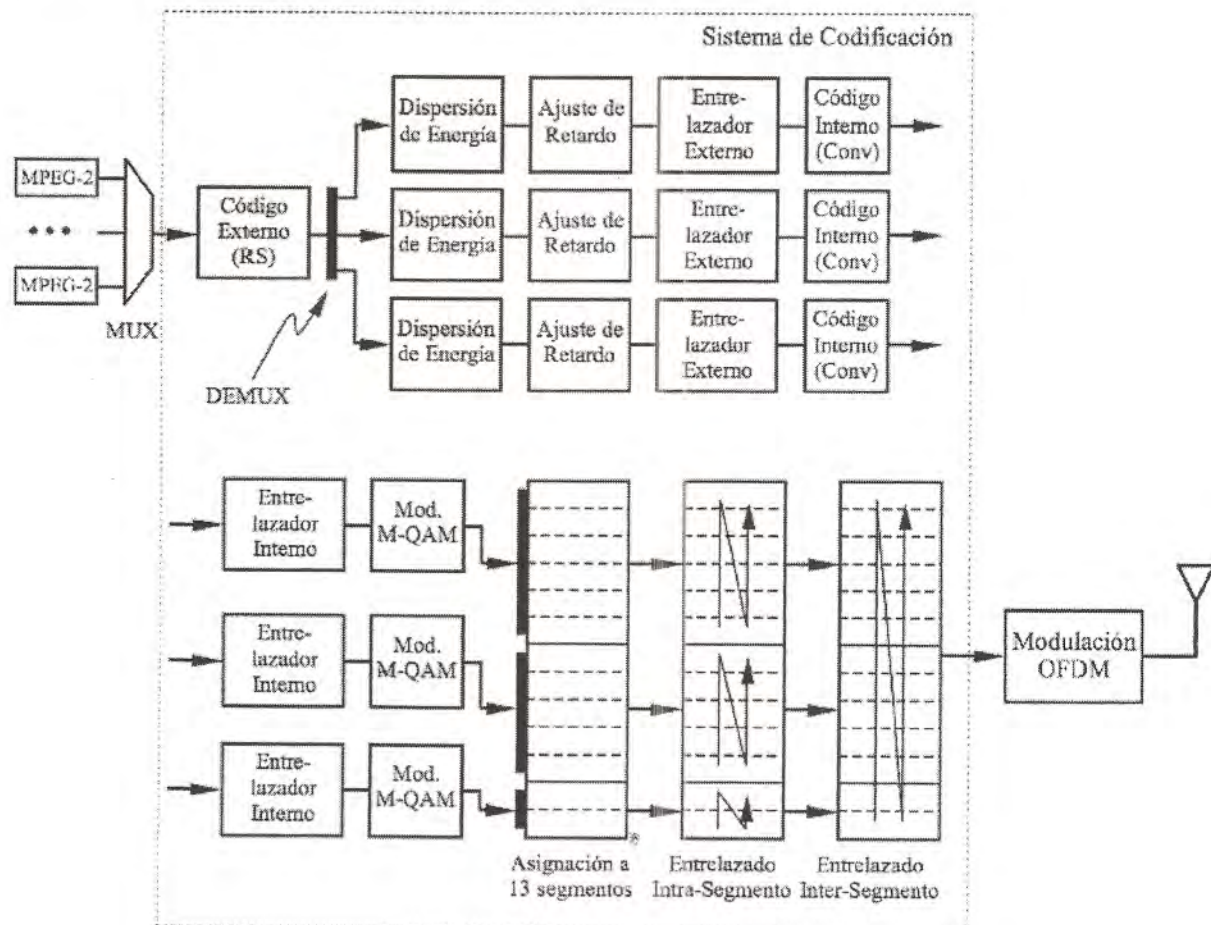


Figura 9. Sistema de codificación de canal y jerarquización de ISDB-T.

**Código Externo (Reed-Solomon (204,188, t=8)):** El código se aplica por bloques a grupos de 188bytes, resultando palabras codificadas de 204bytes. Este código es capaz de corregir hasta 8bytes erróneos ocurridos en cada grupo de 204. Se trata exactamente del *mismo* código Reed-Solomon utilizado como código externo en DVB.

**Demultiplexador:** La codificación RS es realizada en forma tal que cada bloque original de 188bytes contiene datos de sólo uno de los tres servicios posibles (una sola fuente MPEG-2 en la Figura 9). Ello permite de-multiplexar los servicios en la salida del codificador RS tomando bloques de 204bytes, y realizar el resto de la codificación por separado para cada servicio o capa jerárquica (la transmisión no necesariamente debe consistir de tres capas, pueden ser dos o una también).

**Dispersión de Energía:** Aleatoriza los bits que componen un flujo de transporte mediante multiplicación por una secuencia binaria pseudo aleatoria de orden 15 (PRBS-15). Se trata exactamente del *mismo* aleatorizador utilizado en DVB.

**Ajuste de Retardo:** La desventaja principal de la transmisión jerárquica basada en segmentos es que las diferencias entre parámetros de codificación de las tres capas jerárquicas causan desalineamientos entre los flujos de transporte de las tres capas. Ello obliga a re-sincronizar los flujos con ligeros ajustes de retardo en cada capa en la entrada del entrelazador externo.

**Entrelazador Externo:** Se usa un entrelazador convolucional de bytes de largo 12, el que entrelaza internamente cada byte de cada grupo de 204bytes. Se trata exactamente del mismo entrelazador externo utilizado en DVB.

**Código Interno (Convolucional):** El código es convolucional punzado de restricción  $K=6$  y puede operar a tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8, otorgando así flexibilidad entre tasa de datos y el nivel de protección que se desea. Se trata exactamente del *mismo* código convolucional usado como código interno en DVB.

**Entrelazador Interno:** La secuencia de bits del flujo de transporte de cada capa jerárquica es multiplexada en 2, 4 o 6 líneas paralelas según el tamaño de la constelación QAM usada para modular las sub-portadoras OFDM de aquella capa (4-QAM, 16-QAM o 64-QAM, ver bloque Modulación M-QAM a continuación). El entrelazado consiste en retardar cada una de las 2, 4 o 6 líneas en forma individual entre 0 y 120 tiempos de bit. Un ajuste de retardo es además necesario en cada capa según el número M-ario (4, 16 o 64) tal que las salidas de todas las líneas sean alimentadas sincronizadamente al modulador M-QAM que corresponda.

**Modulación M-QAM:** Produce símbolos M-QAM que modularán las sub-portadoras OFDM. El número M-ario (4, 16 o 64) puede ser diferente para cada capa jerárquica. A diferencia de DVB-T, ISDB-T además permite utilizar modulación QPSK diferencial (4-QAM diferencial), lo que facilita decodificar la modulación en condiciones de canal muy adversas, como casos de alta movilidad, a cambio de una pérdida de eficiencia energética (3dB), o bien radio de cobertura (factor 2x).

**Asignación a 13 Segmentos:** Las tres capas jerárquicas son combinadas en proporción a los segmentos asignados.

**Entrelazado Intra-Segmento:** Cada capa es entrelazada internamente sobre el rango de segmentos asignados a la capa (penúltimo bloque del sistema de codificación en la Figura 9).

**Entrelazado Inter-Segmento:** Las capas son entrelazadas conjuntamente sobre el rango completo de frecuencia de la transmisión (último bloque del sistema de codificación en la Figura 9). En caso que la transmisión utilice Recepción Parcial, el segmento correspondiente es excluido del entrelazado, y entrelazado individualmente.

En comparación al sistema de codificación de DVB, se aprecia que la transmisión jerárquica con banda segmentada de ISDB-T (BST-OFDM) requiere de una codificación de canal significativamente más compleja. De hecho, los bloques que conforman el sistema de codificación de DVB-T constituyen un *subconjunto* de los bloques necesarios en la codificación ISDB-T. Además, ISDB-T incurre en complejidad adicional al considerar hasta tres capas jerárquicas, mientras que DVB limita la complejidad a sólo dos capas. Todos estos factores implican que la fabricación de componentes para el sistema de codificación de ISDB estará constantemente penalizada con un mayor costo que sus equivalentes DVB.

#### 4.4.2. Modulación OFDM

---

La modulación OFDM utilizada por ISDB-T es esencialmente idéntica a la de DVB-T, por lo que el análisis hecho sobre el uso de OFDM en DVB-T (Sección 3.4.2) es directamente aplicable al caso ISDB-T. Las pequeñas diferencias que presenta la especificación ISDB-T son destacadas a continuación.

**Sub-Portadoras:** Al igual que DVB-T, se consideran los modos de operación con 2k, 4k y 8k sub-portadoras. A diferencia con DVB-T, ISDB-T incluyó el modo 4k desde su concepción. El número total de sub-portadoras moduladas en cada modo es 1405, 2809 y 5617, respectivamente, de las cuales 1248, 2496 y 4992 portan datos, y las demás son utilizadas para pilotaje y para transmisión de parámetros de modulación y codificación.

**Ancho de Banda de Transmisión:** El estándar ISDB-T especifica todos los parámetros para transmisión en bandas de 6MHz. Si bien todos estos parámetros, así como el ancho de banda de transmisión, dependen exclusivamente del ajuste de frecuencia del reloj (*clock*) de los circuitos de banda base (es decir, los circuitos que implementan la cadena de codificación de canal y modulación OFDM en transmisores y receptores), ISDB-T no fue concebido con la visión de operar en bandas que no sean de 6MHz y no está especificado para aquellos casos. Puesto que los circuitos integrados diseñados para un ancho de banda de 6MHz no necesariamente son funcionales con frecuencias de 8MHz (pero sí viceversa), se considera impráctico optar por ISDB-T en bandas de ancho distinto a 6MHz, especialmente cuando tanto el único país que ha adoptado el estándar (Japón) como el que lo está considerándolo (Brasil) operan con bandas de 6MHz.

La frecuencia especificada para el clock del sistema es  $512/63=8,13\text{MHz}$ . Ello se traduce en una separación de 5,57MHz entre las dos sub-portadoras más extremas. El ancho de banda que contiene el 99% de la energía de estas dos sub-portadoras es 5,7MHz.

**Intervalo de Guarda:** Al igual que en DVB-T, se especifican intervalos de guarda posibles de 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 de la duración del símbolo OFDM.

**Modulación de Sub-Portadoras:** Según descrito en el bloque "Modulación M-QAM" en la sección anterior, a diferencia con DVB-T, ISDB-T considera la modulación QPSK diferencial (DKPSK) además de las modulaciones 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM. Otra diferencia es que en ISDB-T sólo se consideran los modos uniformes de 16-QAM y 64-QAM, puesto que la jerarquización de la transmisión es realizada en forma distinta (banda segmentada en vez de modulación no uniforme)

Al igual que DVB-T, todos los parámetros relevantes de codificación y modulación (tasa de codificación, valores M-arios, asignación de segmentos, y configuración jerárquica y recepción parcial, etc.) son embebidos en sub-portadoras predeterminadas, lo que permite que cada receptor los detecte y se ajuste automáticamente a ellos. Esto permite que cada operador configure su sistema libremente en cada momento según el tipo de contenido y servicios que transmite. Entre los parámetros transmitidos destaca un indicador de *transmisión de emergencia*, aunque su propósito específico y política de uso no es aclarado.

#### 4.4.3. Tasas de Datos

---

Al igual que en DVB-T, la tasa de datos de la transmisión en ISDB-T resulta de la combinación entre los parámetros de codificación, modulación M-QAM, y el tamaño del intervalo de guarda. A diferencia con DVB-T, sin embargo, la posibilidad de asignar cualquier combinación de los 13 segmentos a uno, dos o tres servicios diferentes (capas jerárquicas), y definir para cada caso una tasa de codificación convolucional y nivel de modulación M-QAM independiente, la variedad de tasas alcanzables con ISDB-T es virtualmente infinita. Los casos de ISDB-T comparables con las 60 tasas posibles en DVB-T a 6MHz y transmisión DVB-T no jerarquizada, son aquellos en que los 13 segmentos de ISDB-T utilizan la misma tasa de codificación convolucional y modulación QAM. Las tasas correspondientes son ligeramente diferentes a las de DVB-T debido a que hay diferencias entre la cantidad de sub-portadoras efectivamente moduladas con datos. Las tasas de datos netas *totales* de ISDB-T están el rango entre 3,65Mbps (vs. 3,73Mbps de DVB-T) y 23,23Mbps (vs. 23,75Mbps de DVB-T). Las tasas de datos netas *por segmento* son 1/13 de los valores netos totales.



Se estima que lograr transmisiones *casi libre de errores* (CLE) en recepción *estática* de ISDB-T a una tasa de datos determinada requiere de condiciones de razón señal a ruido (SNR) muy similares a las requeridas por transmisiones DVB-T de tasa equivalente. Ello resulta de observar que la principal diferencia entre los dos sistemas de codificación son los procesos de entrelazado, y no los de redundancia (códigos R-S y Convolutiva), y que el entrelazado más complejo de ISDB-T provee inmunidad adicional principalmente frente a variaciones temporales del canal (movilidad, ruido impulsivo, etc.).

#### **4.4.4. Características Espectrales**

---

En términos estrictos, el ancho de banda de transmisión establecido por la norma ISDB-T es 5,7MHz. Este ancho de banda contiene el 99% de la energía radiada. La norma también especifica una máscara espectral única requerida para radiaciones fuera de banda, la que a diferencia con la norma DVB-T no considera la naturaleza de las transmisiones en bandas adyacentes, ya sea fueran digitales o analógicas. La máscara espectral de ISDB-T es menos restrictiva que la de DVB-T.

#### **4.4.5. Transmisión a Terminales Portátiles**

---

La transmisión a terminales portátiles fue considerada desde un comienzo en el estándar ISDB-T mediante el concepto de recepción parcial de un segmento ("1seg"). El servicio comenzó experimentalmente durante 2005, y comercialmente el 1 de Abril de 2006.

La solución para transmisión a terminales portátiles basada en recepción parcial de un segmento es altamente eficiente, puesto que puede ser realizada con un receptor de un solo segmento, el cual es significativamente más sencillo (menor costo) que un receptor ISDB-T completo de 13 segmentos. Además de esta ventaja económica, un receptor 1seg también es muy eficiente en su consumo de energía, puesto que no requiere decodificar los demás 12 segmentos para recuperar el segmento 13.

El sistema "1seg" utiliza codificación de video H.264<sup>17</sup> y audio AAC encapsulado en un flujo de transporte MPEG-2. La modulación del segmento es 64-QAM, el código convolutivo opera con tasa 1/2 y el intervalo de guarda para la modulación OFDM es 1/8 (los demás parámetros OFDM son impuestos por la transmisión completa de 13 segmentos). La resolución de video máxima es 320x240 píxeles, y la tasa de bits máxima del video es 128kbps. La tasa máxima admisible para el audio AAC es 64kbps. Los restantes 60kbps están reservados para transmisión de datos y servicios interactivos. Finalmente, 1seg no implementa funciones de acceso condicional ni protección de copia del contenido.

#### **4.5. Operación con Frecuencia Única Nacional**

---

La operación de un sistema ISDB-T mediante RFU es estudiada con cierto detalle en el documento ARIB Standard B31, Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting, donde se entregan algunas pautas para operación sincronizada. En particular, se especifica que:

- Los osciladores de portadora de las estaciones de la RFU deben presentar variaciones de 1Hz o menos con respecto a la frecuencia central de la banda.
- La frecuencia de muestreo de los moduladores OFDM de banda base deben tener una precisión de +/- 0,3 partes por millón.
- Los flujos de transporte deben ser idénticos.

El dicho documento también se ilustra algunas topologías de red y estrategias de tipo maestro/esclavo para distribuir señales de sincronización. No obstante, el tratamiento es de alto nivel y principalmente informativo (salvo los puntos normativos mencionados anteriormente).

En todo caso, las características teóricas de este estándar en cuanto a la operación en redes de frecuencia única son prácticamente iguales a las del estándar DVB-T.

---

<sup>17</sup> H.264 es una de las formas de codificación incluidas en el estándar MPEG-4.



## 5. Análisis Comparativo de los Estándares

---

Los tres estándares descritos, están operando comercialmente en varios países, con éxito. Cada uno de los tres sistemas de TV digital analizados en este estudio presenta fortalezas y debilidades en diversos aspectos, y ninguno destaca en forma absoluta. La decisión de seleccionar uno u otro estándar debe entonces basarse en el contexto del país o región de aplicación, y en el rol que las fortalezas y debilidades de cada estándar juegan en dicho contexto. Estos son los criterios que subyacen el análisis que sigue.

### 5.1. Fuentes de Datos

---

#### 5.1.1. Sistema de transporte y múltiplex

---

Los tres estándares de televisión digital estudiados utilizan actualmente un sistema de paquetización y múltiplex de programas que está basado en el estándar MPEG-2, con algunas restricciones y especializaciones descritas en cada uno de los estándares. Una ventaja de esta elección es que, en la actualidad, la mayor parte de los sistemas de distribución de contenidos audiovisuales emplean el estándar MPEG-2 para la codificación de éstos. Este estándar permite la codificación de contenidos audiovisuales en un rango de velocidades entre 3 y 6Mbps para obtener "calidad estándar" y de entre 18 y 20Mbps para obtener calidad de "alta definición". Dada esta flexibilidad del estándar MPEG-2, es posible la transmisión de varios contenidos audiovisuales simultáneos de calidad o definición estándar (SDTV) utilizando un sólo flujo de transporte MPEG-2 (por ejemplo, cinco contenidos distintos, de 4Mbps cada uno, con una tasa de datos total de 20Mbps). Esta modalidad está siendo la que se usa de preferencia en Europa.

Por otra parte, los estándares DVB e ISDB utilizan el concepto de *Modulación Jerárquica*. La modulación jerárquica permite mezclar modos de transmisión distintos en una sola transmisión. El uso de cada modo es de libre decisión de cada operador. En el sistema ISDB-T es posible combinar hasta tres modos, por ejemplo, radio digital, televisión digital con recepción fija y televisión digital móvil. En el sistema DVB-T la modulación jerárquica permite dos modos, por ejemplo, para recepción fija y móvil, o para Alta Definición y Definición Estándar. El sistema ATSC no considera el uso de modulación jerárquica.

**Conclusión:** No hay diferencias substanciales entre los estándares en lo que respecta a la codificación de los contenidos mediante la norma MPEG-2 o la transmisión de contenidos de definición estándar (SDTV) o de alta definición (HDTV). Los estándares DVB e ISDB, sin embargo, usan el concepto de Modulación Jerárquica, pudiendo ISDB-T transmitir en tres modos simultáneos, mientras que DVB puede hacerlo en dos modos, siendo estos dos estándares más flexibles que el estándar ATSC, el que no tiene esta capacidad.

#### 5.1.2. Audio

---

ATSC utiliza el sistema de compresión de audio AC3, que es propietario de los laboratorios DOLBY y está incluido en prácticamente todos los equipos de alta fidelidad que se comercializan actualmente para uso doméstico. ISDB-T utiliza AAC (parte de la norma MPEG-2), mientras que DVB usa el estándar MPEG-2, pero puede operar también con AC3.

**Conclusión:** No parece haber diferencias de calidad o precio substanciales entre los sistemas de audio utilizados por los tres estándares. Si bien el estándar ISDB-T codifica audio *surround* a una tasa ligeramente menor y más eficiente (320kbps comparado con 448 de AC3 en ATSC), esta diferencia no es significativa.

#### 5.1.3. Televisión de alta definición (HDTV)

---

Tal como se ha dicho, todos los estándares son capaces de transmitir contenidos audiovisuales de definición estándar (SDTV), pudiendo ser transmitidos hasta 4 programas SDTV simultáneamente en un mismo flujo de transporte<sup>18</sup>. Alternativamente, los sistemas pueden ser usados para la transmisión de un flujo HDTV<sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup> DVB-T puede transmitir hasta 5 programas SDTV si la banda de transmisión es de 8MHz.

<sup>19</sup> En bandas de 8MHz, DVB-T puede transmitir bajo ciertas configuraciones un flujo HDTV más otro SDTV.

El sistema ATSC fue desarrollado con el propósito de permitir transmisiones de televisión de alta definición usando una banda de 6MHz. ISDB-T considera la transmisión de HDTV utilizando 12 de los 13 segmentos de la banda de 6MHz (el decimotercer segmento es reservado para recepción portátil). DVB-T, en cambio, puede usar anchos de banda de 6, 7y 8MHz. Si bien se ha dicho que el estándar europeo no es capaz de transmitir HDTV en bandas de 6MHz, varias demostraciones en terreno han desmentido esta limitación, y el análisis sobre tasas de datos en la Sección 5.2.1 también lo concluye.

**Conclusión:** ATSC tiene la ventaja de haber sido diseñado con el propósito específico de transmitir HDTV, pero los otros dos estándares también tienen dicha capacidad.

## 5.2. Tasas de Datos y Cobertura

Ningún sistema de comunicaciones digitales permite garantizar, con 100% de certeza, que transmisiones a una determinada tasa de datos resulten siempre en una recepción libre de errores. En sistemas inalámbricos, la tasa de error depende de la potencia con la cual la señal llega al receptor y de posibles interferencias y ruidos existentes dentro de la banda. Por ello, en general, la tasa de error puede ser disminuida aumentando la potencia transmitida, aunque esto sólo es posible hasta cierto punto, pues con una mayor potencia de transmisión también crece la interferencia con transmisiones que usan la misma frecuencia en zonas geográficas próximas, así como la interferencia con canales de frecuencias adyacentes en la propia zona geográfica. El aumento de la interferencia, les obliga a terceros a aumentar su propia potencia de transmisión, incrementando nuevamente la interferencia que sufre la transmisión propia.

Así, una tasa de datos siempre debe ser especificada en relación a una tasa de error, la cual a su vez está estrechamente ligada a la razón señal a ruido necesaria para lograr dicha tasa de error. Finalmente, la razón señal a ruido tiene relación directa con el área de cobertura de la transmisión.

### 5.2.1. Tasas de Datos

ATSC opera con una tasa de datos única de 19,39Mbps<sup>20</sup>. Ello resulta de usar mecanismos de codificación de canal y modulación cuyos parámetros son fijos y no pueden ser configurados por el operador. Esta rigidez paramétrica resulta en un *umbral de visibilidad*, definido como la razón señal a ruido bajo la cual las señales de video (flujos de transporte MPEG-2) no pueden ser decodificados satisfactoriamente. El umbral ha sido determinado teóricamente en 14,9dB para el canal de ruido Gaussiano blanco aditivo, y corresponde a una probabilidad de error de segmento de  $1,93 \times 10^{-4}$ . Esto equivale *aproximadamente* a una tasa de error de bits de  $3 \times 10^{-6}$  en la salida del decodificador Reed-Solomon (código externo) del receptor, y a 2.5 errores de segmento/seg. La tasa de error de segmento (SER) en función de la razón señal a ruido está ilustrada en la Figura 10.

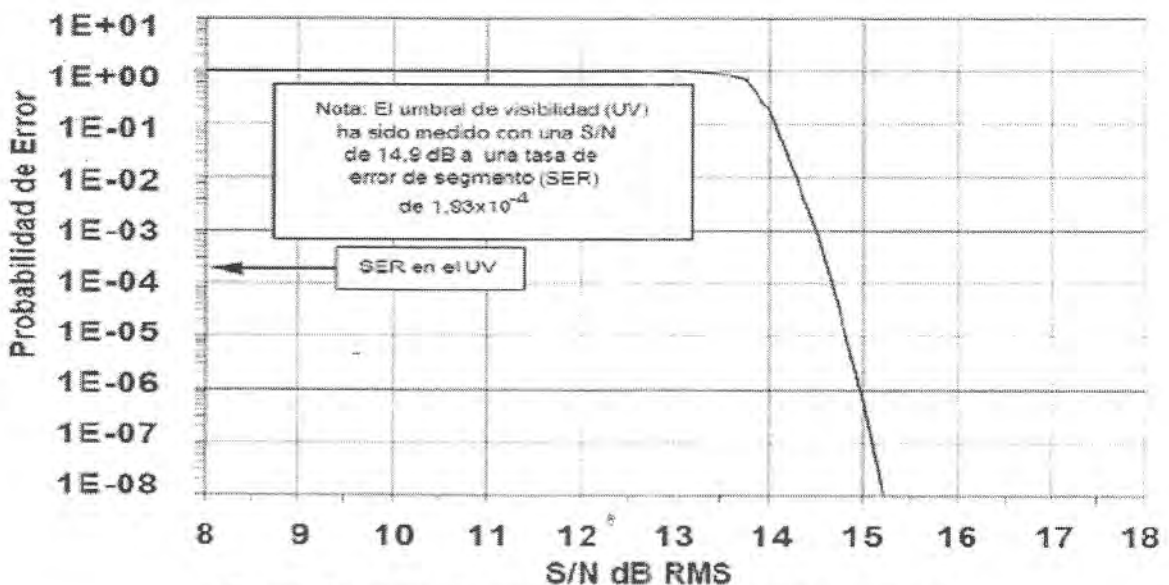


Figura 10. Umbral de visibilidad de 8-VSB en canal Gaussiano.

<sup>20</sup> El modo de modulación 16-VSB está orientado a transmisión ATSC por cable.

El umbral de visibilidad de ATSC a su vez determina un perímetro de cobertura en torno a la antena transmisora, fuera del cual la imagen recibida comienza a mostrar interrupciones y degradación de calidad. La única forma de ampliar el área de cobertura (alejar geográficamente el umbral de visibilidad) es aumentando la potencia de transmisión.

Por otro lado, DVB-T e ISDB-T ofrecen una alta variedad de tasas de datos en función de los parámetros de modulación y codificación. Ello permite ajustar la tasa de datos en función de la cobertura deseada (implica razón señal a ruido requerida en el receptor). La Figura 11 presenta gráficamente la variedad de tasas de datos posibles en DVB-T en función de los valores de parámetros de codificación y modulación disponibles. La figura también indica la razón señal a ruido necesaria para obtener recepción con tasa de error de bits  $10^{-11}$ , denominada casi *libre de errores*. Cabe hacer notar que las tasas indicadas en la figura corresponden a transmisiones en canales de 8MHz. Para canales de 6MHz, las tasas se obtienen multiplicando los valores de la figura por 6/8.

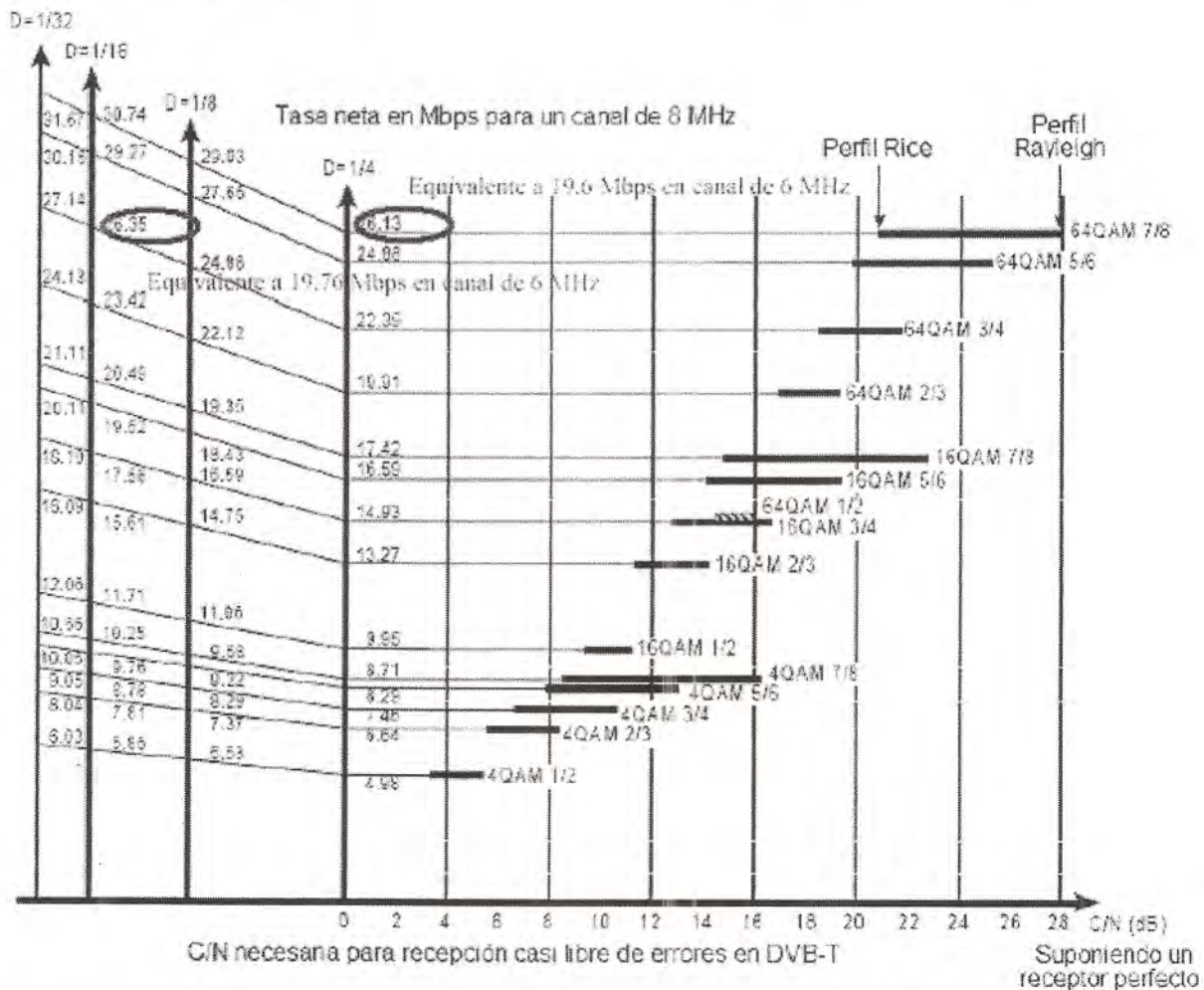


Figura 11. Razón C/N y tasa neta de bits como función de la constelación M-QAM, tasa de código, longitud del intervalo de guarda y perfil del canal para todos los modos DVB-T.

DVB-T ofrece dos tasas cercanas a los 19,39Mbps de ATSC en operación con canales de 6MHz. La primera es 19,6Mbps, equivalente a 26,13Mbps en canal de 8MHz, como lo indica la Figura 11, y es obtenida con modulación 64-QAM, codificación 7/8 e intervalo de guarda 1/4. La segunda es 19,76Mbps, obtenida con modulación 64-QAM, codificación 3/4 e intervalo de guarda 1/16. Este último parámetro debe ser escogido en función de la geografía. Los dos primeros parámetros pueden ser escogidos libremente por el operador en función de la cobertura deseada. Para un canal tipo Rice la tasa 19,6Mbps requiere aproximadamente 21dB para operación casi libre de errores, y la tasa 19,76Mbps requiere 18,6dB. Para el canal de ruido Gaussiano dicha razón es 20,1dB y 18,0 respectivamente.



Desafortunadamente no es posible hacer una traducción exacta entre el criterio de umbral de visibilidad usado por ATSC (tasa de error de bits de  $3 \times 10^{-6}$  operando con razón señal a ruido de 14,9dB) y el criterio de operación casi libre de errores de DVB-T e ISDB-T (tasa de error de  $10^{-11}$ , lograda en DVB-T con una razón señal a ruido de 20,1dB o 18,6dB para las dos tasas similares a ATSC). Mediciones en terreno realizadas por la BBC en Gran Bretaña muestran que la tasa de 19,76Mbps de DVB-T que opera casi libre de errores a 18,6dB necesita 17,4dB para lograr las condiciones equivalentes al umbral de visibilidad de ATSC. Ello sugiere una ventaja de aproximadamente 2dB de razón señal a ruido entre ATSC y DVB para que operen con calidades similares<sup>21</sup>. Esto es consistente con las diferencias de ganancia de codificación de ambos sistemas. Específicamente, el código R-S de ATSC es más robusto que aquel de DVB-T, y obtiene la misma probabilidad de error con aproximadamente 0,5dB menos de razón señal a ruido. Similarmente, el código TCM de ATSC tiene 1dB de ganancia sobre el código convolucional 7/8 de DVB-T. Ello implica una ventaja en el orden de 1,5dB de ATSC sobre DVB-T para obtener probabilidades de error similares.

Se puede argumentar que ATSC tendría una ventaja adicional sobre DVB-T de 2dB, debido a la inclusión de tonos piloto en las sub-portadoras OFDM. Ello daría a ATSC una ventaja total de razón señal a ruido de 3,5dB a 4dB sobre DVB-T. Las pruebas de campo realizadas en Baltimore cuantifican que esta ventaja en la práctica es de 2dB, y aquellas realizadas en Brasil la sitúan entre 2dB y 4dB según los parámetros de codificación usados en DVB-T. No obstante, las pruebas de Baltimore también demuestran que la ventaja en cuestión no conduce a una mayor cobertura efectiva con ATSC que DVB-T, situación que es confirmada por las pruebas hechas en Brasil y Taiwán. De hecho, las mediciones taiwanesas favorecen a DVB-T ligeramente en términos de cobertura. Más aún, éste fue un factor importante en revertir la decisión original de las autoridades taiwanesas de utilizar ATSC. Actualmente, los operadores en Taiwán utilizan DVB-T.

Un argumento frecuentemente utilizado en favor de ATSC por sus proponentes y defensores es que DVB-T no tendría la capacidad de soportar la tasa de 18Mbps comúnmente aceptada como necesaria para lograr transmisiones de alta definición (HDTV). El análisis anterior muestra lo contrario. Aún más, las pruebas de campo han utilizado los tres estándares satisfactoriamente para transmitir HDTV. Finalmente, actualmente ya existen transmisiones comerciales HDTV con DVB-T en varios países.

Simulaciones y pruebas de campo reportadas por la ITU indican que ISDB-T tiene una desventaja de 2dB de razón señal a ruido para lograr tasas de datos similares a DVB-T en el punto de operación casi libre de errores.

Cabe destacar que ISDB-T, al igual que DVB-T, ofrece gran flexibilidad en el compromiso entre tasa de datos y cobertura, lo cual no está presente en ATSC. Una de las ventajas de esta flexibilidad es que permite hacer la transición desde el régimen de TV analógica con definición estándar a TV digital con alta definición en forma costo-eficiente. En un primer paso, se migra de transmisiones analógicas a digitales manteniendo las transmisiones en definición estándar. Ello no obliga a los operadores a hacer grandes inversiones en equipamiento de estudio de alta definición, ni reajustar sus planes de negocios, puesto que emitirían las mismas señales SDTV únicas del modelo actual. Asimismo, este primer paso requiere esencialmente sólo instalar nuevos equipos transmisores en sitios existentes, puesto que la alta codificación posible para transmitir digitalmente programas únicos en calidad estándar asegura grandes áreas de cobertura. Similarmente, en el lado receptor, los usuarios podrían reutilizar sus televisores actuales, debiendo solamente adquirir un STB. En un segundo paso, los operadores podrían comenzar a experimentar con el nuevo modelo de negocios basado en la flexibilidad de transmitir alta definición, o varios programas paralelos de definición estándar, invertir en infraestructura, etc. Los usuarios, por su parte, comenzarían en esta etapa a adquirir televisores HDTV en la medida que se hace disponible la programación correspondiente.

**Conclusión:** ATSC presenta una leve ventaja sobre DVB-T en términos de tasas de datos para coberturas similares y en condiciones de propagación muy benignas (canal Gaussiano). No obstante, varias pruebas de campo realizadas no muestran con claridad dicha ventaja. A su vez, simulaciones y pruebas de campo muestran que DVB-T supera a ISDB-T en este sentido. Se destaca también, el contraste entre la tasa única de ATSC y la gran variedad de tasas posibles con DVB-T e ISDB-T, algunas de las cuales son incluso superiores a la de ATSC. Finalmente, los tres estándares tienen las tasas de datos necesarias para transmitir señales HDTV en bandas de 6MHz.

<sup>21</sup> Los 14,9dB de ATSC son teóricos, mientras que los 17,4dB de DVB-T son empíricos. Una pérdida de implementación de aproximadamente 0,5dB ha sido reportada para ATSC.

### **5.2.2. Ruido de Impulso**

---

Muchos artefactos electrónicos industriales y domésticos (hornos de microondas, luces fluorescentes, aspiradoras, etc.) generan radiaciones electromagnéticas espurias denominadas *ruido de impulso*. Este tipo de ruido tiende a tener alta energía pero corta duración, y normalmente abarca la banda VHF y la parte baja de la banda UHF.

La principal defensa en su contra se logra mediante el uso de entrelazadores. El entrelazador de 52 segmentos usado en el sistema ATSC provee mayor protección a ruido de impulso que el sistema de entrelazado de dos capas de DVB-T. ISDB-T, en cambio, además de tener dos capas de entrelazado muy similares a DVB-T, especifica dos capas de entrelazado adicionales intra-segmento e inter-segmento, logrando con ellas una muy alta robustez a ruido de impulso.

**Conclusión:** ISDB-T y ATSC tienen mayor inmunidad a ruido de impulso que DVB-T, pero se considera que este aspecto es de relevancia secundaria, especialmente en la banda UHF.

### **5.2.3. Cobertura de Zonas Oscuras**

---

Todos los estándares permiten el uso de repetidores en la misma frecuencia para mejorar la cobertura en los bordes de una celda o para rellenar "zonas oscuras" (barrios con señal débil) dentro del área de cobertura. Los repetidores reciben la señal transmitida por la antena principal, y la amplifican y re-transmiten en la misma frecuencia, orientando la transmisión hacia la zona oscura mediante antenas direccionales.

Adicionalmente, se puede usar un sistema de transmisores distribuidos o de traductores, como los descritos en la sección de operación en redes de frecuencia única con estándar ATSC. Finalmente, puede decirse que si se usan repetidores en la misma frecuencia para rellenar zonas oscuras, podrá haber algunos receptores que reciban señal del repetidor y también del transmisor principal. En este caso, rigen las mismas consideraciones que se describen para la propagación por multitrayectoria y la operación en redes de frecuencia única.

**Conclusión:** Todos los estándares proveen estrategias para mejorar la cobertura en zonas oscuras. Podría haber ventajas de los estándares que utilizan modulación OFDM, las cuales, sin embargo, debieran ser menores si el sistema está bien calibrado.

## **5.3. Movilidad y Multitrayectoria**

---

La propagación por multitrayectoria y recepción en condiciones de movilidad están íntimamente ligadas a las propiedades del canal observado por el receptor. De hecho, la propagación de multitrayectoria determina las propiedades del canal en el dominio de la frecuencia (desvanecimiento en frecuencia), mientras que la recepción móvil determina las propiedades del canal a lo largo del tiempo.

El análisis que sigue describe las fortalezas y debilidades de los estándares desde ambas perspectivas.

### **5.3.1. Robustez ante Propagación de Multitrayectoria**

---

La inmunidad contra la propagación de multitrayectoria es una propiedad intrínseca de OFDM<sup>22</sup>. Mayor inmunidad se logra con un mayor número de subportadoras, al costo de un peor desempeño bajo condiciones de movilidad. No obstante, ambos estándares basados en OFDM, DVB-T e ISDB-T, ofrecen una vasta flexibilidad para que los operadores configuren la modulación OFDM adecuadamente. El rango de configuración disponible permite ajustar estos sistemas esencialmente a cualquier tipo de terreno y geografía, y todos los receptores deben tener la capacidad de decodificar todas y cualquiera una de las configuraciones. En ambos estándares basados en OFDM es de responsabilidad del operador configurar los parámetros del sistema, a los cuales todos los receptores normados son capaces de ajustarse automáticamente.

---

<sup>22</sup> De hecho, ese es el motivo por el cual OFDM ha sido escogido no sólo para dos de los tres estándares de TV digital, sino también para redes de área local inalámbricas ("WiFi"), redes inalámbricas metropolitanas ("WiMax"), y es el candidato más fuerte para sistemas celulares de cuarta generación.



Cabe destacar que el formato de OFDM segmentado utilizado por ISDB-T debilita la inmunidad a multitrayectoria de cada uno de los niveles jerárquicos. Esto se debe a que los segmentos abarcados por cada nivel son contiguos en frecuencia, lo que los hace más sensibles a desvanecimiento selectivo en frecuencia. El sofisticado sistema de entrelazamiento usado en ISDB-T ha sido diseñado en gran medida para compensar esta debilidad.

En el caso de ATSC, la modulación 8-VSB no es robusta intrínsecamente a la propagación por multitrayectoria, y requiere de un dispositivo llamado *ecualizador* en los receptores para revertir la distorsión por multitrayectoria de la señal recibida. En transmisiones de 6MHz de ancho de banda, la dispersión de ecos de la propagación por multitrayectoria es severa a partir de pocas decenas de metros de propagación, haciendo del ecualizador un dispositivo *indispensable* para decodificar transmisiones ATSC. La complejidad del dispositivo crece con el radio de cobertura de una antena, llegando a una complejidad muy alta cuando las transmisiones comprenden un sector urbano de varias decenas de kilómetros. Esto ha hecho del diseño de ecualizadores para ATSC un tema sensible que ha significativa atención en academia e industria.

El ecualizador debe ser *entrenado* individualmente en cada receptor para revertir la distorsión específica que observa el receptor en cuestión. Para ello, la señal ATSC contiene secuencias de entrenamiento insertados en el segmento de sincronismo de campo (existe un segmento de sincronismo de campo por cada 313 segmentos). Es interesante observar que el estándar no especifica como utilizar dichas secuencias para entrenar al ecualizador, ni la complejidad que debe o puede tener el dispositivo, ni la calidad con que debe revertir la degradación por multitrayectoria. Este aspecto es dejado en manos de los fabricantes de receptores, quienes deben competir por proveer mejores ecualizadores y a menor costo. Así, la responsabilidad final de disponer en el hogar de un receptor ATSC con buenas capacidades de ecualización (alta inmunidad a multitrayectoria), recae en la decisión de compra del usuario, no en cómo el operador del sistema configura su transmisión.

Lo anterior destaca una diferencia importante entre ATSC con respecto a DVB-T e ISDB-T. ATSC requiere de consumidores bien informados, quienes en general son sensibles al costo de los equipos. En un país como Argentina, es de presumir que un consumidor de TV abierta basada en ATSC optará por receptores (ya sea televisores o *set-top-boxes*) en el rango inferior de precios, comprometiendo con ello la calidad de su experiencia televisiva.

El problema de multitrayectoria es menor en las planicies que en regiones montañosas, lo que permite ecualizadores más sencillos. Por ello, puesto que el mercado principal de ATSC es el norteamericano, es esperable que el diseño y desarrollo de ecualizadores no esté fuertemente orientado a geografías irregulares. Esta incertidumbre no existe en los estándares basados en OFDM, los que explícitamente ofrecen modos de operación e inmunidad a multitrayectoria en topografías montañosas. Cabe destacar en este punto que los argumentos anteriores fueron decisivos en Nueva Zelanda para optar por DVB-T en vez de ATSC.

Otra situación frecuente de propagación de multitrayectoria es la recepción en ambientes interiores o en condiciones sin línea de vista al transmisor, en que reflexiones en paredes interiores y estructuras cercanas generan el llamado desvanecimiento de área local. Pruebas de campo realizadas en Baltimore, Taiwan y Brasil indican que DVB-T tiene ventajas claras sobre ATSC en esta materia. El motivo es que el sistema ATSC fue diseñado para entregar señales HDTV en un ambiente con recepción externa fija, situación en la que DVB-T y ATSC han mostrado desempeños similares. Sin embargo, la FCC reconoce que la principal debilidad de ATSC en ambientes con alta dispersión es el diseño del ecualizador, y destaca que en las pruebas de campo de Baltimore se utilizó un prototipo de primera generación. El mismo estudio sostiene que mejoras en el diseño de ecualizadores son posibles y necesarias. Es importante señalar que el argumento de la FCC tiene cierta validez. Las pruebas de campo citadas aquí fueron todas realizadas ya varios años atrás, en momentos en que la definición de los estándares era reciente, y en que la falta de madurez del diseño de los ecualizadores de ATSC puede haber sesgado los resultados en contra de ATSC. En dicho contexto histórico existía gran expectativa por el desempeño real que cada estándar tendría, lo que motivó las campañas de medición citadas. Con ellas, la realización de costosos nuevos ensayos perdió justificación, motivo por el cual desafortunadamente no se cuenta con registros más recientes que cuantifiquen el progreso tecnológico de los ecualizadores para ATSC.

**Conclusión:** En DVB-T e ISDB-T la inmunidad a propagación de multitrayectoria es intrínseca a la modulación OFDM, y es de responsabilidad de los operadores configurar la transmisión tal que se neutralice la distorsión por multitrayectoria. En ATSC, en cambio, la modulación 8-VSB no es intrínsecamente inmune a la propagación de multitrayectoria, y está en manos de los fabricantes, y del presupuesto de los consumidores, el ofrecer y/o comprar receptores con buena capacidad para revertir los efectos de



propagación por multitrayectoria. Finalmente se establece que ATSC es menos robusto para recepción en ambientes interiores.

### **5.3.2. Recepción bajo Condiciones de Movilidad**

---

La recepción de TV digital en receptores móviles puede ser de dos tipos:

**Recepción en Televisores Móviles:** Se trata de recepción de señales ATSC, DVB-T o ISDB-T con receptores tradicionales (televisores o *set-top-boxes*) que están en movimiento a bordo de un automóvil, bus, tren, etc.

**Recepción en Terminales Portátiles:** Se refiere a la recepción de señales de video de resolución limitada en terminales portátiles como teléfonos celulares o agendas electrónicas (PDA). Estos dispositivos típicamente utilizan baterías, lo que limita el presupuesto energético disponible para decodificar y presentar la señal de video digital.

DVB-T fue originalmente diseñado para recepción fija y móvil, pero no portátil. Según muestran pruebas de campo en Taiwan, el modo 2k permite recepción a velocidades altas, como las velocidades de crucero de trenes y vehículos en autopista. El modo 8k es menos robusto en recepción móvil, pero puede soportar velocidades altas en una variedad de condiciones. El desempeño de DVB-T bajo movilidad está restringido en parte por las limitaciones de la cadena de entrelazado usado en el sistema DVB-T (por razones similares a la debilidad de DVB-T frente a ruido de impulso). Pruebas de campo han demostrado que la potencia de transmisión contrarresta la falta de entrelazado de tiempo, lo que contribuye a un mejor servicio móvil.

La recepción de DVB-T en terminales portátiles fue hecha posible con la norma DVB-H, la que ha sido descrita en detalle en el capítulo que describe el estándar DVB-T. Las extensiones introducidas en DVB-H resuelven las limitaciones de consumo energético que tiene la recepción móvil de DVB-T, y compensan la debilidad del entrelazado con una capa adicional de codificación de canal. Además se introdujo el modo 4k como solución de compromiso entre movilidad e inmunidad a multitrayectoria.

Pruebas de campo realizadas en Taiwan, Brasil, Singapur y Australia han demostrado que ATSC no puede ser recibido en móviles, y a la fecha no se ha propuesto una solución práctica para recepción móvil ni portátil. El sistema ATSC fue diseñado principalmente para la transmisión de programas HDTV y no para recepción móvil.

Finalmente, ISDB-T fue diseñado desde un comienzo para recepción móvil y portátil. Su robusta estrategia de entrelazado, junto a la capacidad de recepción parcial de un segmento, lo hacen muy atractivo para recepción móvil tanto en términos de calidad de la recepción como costo de los equipos de recepción parcial.

Un aspecto que cabe destacar es que la velocidad máxima a la cual es posible decodificar satisfactoriamente una transmisión dada decrece con el inverso de la frecuencia de transmisión (dispersión Doppler). Así, una transmisión en un canal en la banda VHF, o en un canal bajo en la banda UHF, puede ser decodificable sin problemas por un móvil a 120km/h, mientras que puede no ser decodificable si la transmisión es hecha en un canal alto de la banda UHF. Este fenómeno afecta por igual a transmisiones de los diversos estándares, y debe ser estudiado en mayor detalle en caso de otorgar nuevas concesiones de espectro, o de revisar el esquema de concesiones de canales.

Asimismo, debe notarse que de crecer fuertemente la penetración de la televisión por cable y la recepción en móviles y portátiles, se convertirá un nicho de mercado importante en el modelo de negocios de televisión terrestre, por lo que las fortalezas y debilidades de cada estándar en este aspecto pueden ser importantes.

**Conclusión:** ISDB-T y DVB-T tienen ambas capacidades similares para recepción tanto móvil como portátil<sup>23</sup>. ATSC, en cambio, no ha presentado a la fecha soluciones convincentes para uso móvil. Se identifica además que canales de baja frecuencia (banda VHF) permiten recepción móvil a velocidades mayores que canales de alta frecuencia (banda UHF), haciendo comercialmente más atractiva la banda VHF para transmisión a móviles. También se destaca la potencial importancia a futuro del mercado de televisión terrestre en terminales móviles y portátiles.

---

<sup>23</sup> La operación portátil en DVB-T se logra en combinación con DVB-H.

## **5.4. Ancho de Banda y Eficiencia Espectral**

---

### **5.4.1. Utilización del Espectro y Eficiencia Espectral**

---

Los tres estándares cuentan con especificaciones para operar en bandas de 6MHz. ATSC e ISDB-T están especificados únicamente para ese ancho de banda, mientras que DVB-T cuenta adicionalmente con las especificaciones para operar en bandas de 5 (con limitaciones), 7 y 8MHz.

Para canales de 6MHz, el ancho de banda activamente utilizado con DVB-T es de 5,71MHz, mientras que ATSC tiene un ancho de banda activo de 5,38MHz e ISDB-T ocupa 5,57MHz. En los tres casos, sin embargo, la transmisión contiene energía fuera de estos rangos, aunque en todos los casos es despreciable fuera del rango de 6MHz.

Debe notarse, en todo caso, que estos valores por sí solos tienen poca relevancia. Lo importante es cuánta información útil (programación para el televidente) puede ser transmitida en el ancho de banda asignado, es decir, en 6MHz. Este aspecto es analizado a continuación.

El término *eficiencia espectral* se refiere a la tasa de datos neta que un sistema es capaz de transportar dentro del ancho de banda asignado y bajo condiciones dadas de razón señal a ruido en un ambiente de propagación determinado. La unidad de medida es "tasa de datos por unidad de ancho de banda", típicamente expresado en bits/s/Hz.

Del extenso análisis de tasas de datos hecho anteriormente (Sección de Tasas de Datos), se desprende que en la práctica ATSC y DVB-T son muy similares en términos de eficiencia espectral, puesto que en anchos de banda idénticos ofrecen tasas similares y con coberturas similares. Los datos disponibles en ITU Radiocommunication Study Groups, Question ITU-R 205/11, Transmisión Performance of ISDB-T, documento 11A/Jyy-E, 14 de Mayo de 1999, indican que ISDB-T presenta cierta desventaja, lo cual es consistente con el menor ancho de banda efectivamente utilizado dentro de los 6MHz disponibles.

Por otra parte, el análisis en la sección sobre propagación de multitrayectoria también destaca que en condiciones de propagación más realistas (canales no Gaussianos, como en interiores, canales Rayleigh sin línea de vista), la ventaja de ATSC se pierde y la eficiencia espectral de DVB-T, e incluso la de ISDB-T, son superiores. Esto es en gran medida gracias a las fortalezas de la modulación OFDM en este tipo de condiciones de propagación.

**Conclusión:** En condiciones realistas de propagación, DVB-T es el estándar espectralmente más eficiente.

### **5.4.2. Factibilidad de Operar con Bandas de 8MHz**

---

El análisis de la operación en un ancho de banda de 8MHz sólo tiene sentido para el caso DVB-T. Los otros dos estándares no especifican este modo de operación, lo que limita seriamente la disponibilidad de equipos de aquellos estándares para 8MHz.

La ventaja principal de operar con bandas de 8MHz es que el sistema gozaría de mayores tasas de datos, las que podrían alcanzar hasta 30Mbps (ver Figura 11 y comparar con la tasa única de 19,39Mbps de ATSC). Esto permitiría transmitir, por ejemplo, una señal de alta definición (HDTV) junto a una de definición normal (SDTV) en un mismo canal<sup>24</sup>, lo que facilitaría la migración de equipamiento SDTV a HDTV tanto para operadores como tele-espectadores. Una modalidad de este tipo no es factible con ATSC.

Una visión alternativa de la ventaja de tasa de datos obtenida al usar bandas de 8MHz es considerarla como un sacrificio de eficiencia espectral a cambio de una cobertura más amplia: lograr tasas similares que en 6MHz a cambio de una codificación de canal más robusta y más inmune a ruido e interferencias. Así, para una tasa dada, la pérdida de eficiencia espectral se traduce en un menor requerimiento de razón señal a ruido (ver Figura 11) o, equivalentemente, una mayor cobertura. En este caso, para lograr una tasa similar a ATSC (19,39Mbps) con DVB-T a 8MHz, DVB-T tendría aproximadamente una ventaja de 2-3dB en razón señal a ruido.

---

<sup>24</sup> Considerando compresión MPEG-2. Una extensión futura a MPEG-4 es analizado más adelante.

Es importante señalar que lo anterior no debe ser confundido con la idea que la operación de DVB-T en bandas de 8MHz es ineficiente espectralmente. En efecto, las configuraciones de DVB-T en 8MHz con altas tasas de datos son espectralmente más eficientes que ATSC. Por ejemplo, la tasa de 29,03Mbps (ver Figura 11), tiene una eficiencia espectral de 3,63bits/s/Hz, mientras que la eficiencia espectral de ATSC es 3,23bits/s/Hz. Esta ventaja de DVB-T es la que permitiría las transmisiones simultáneas HDTV y SDTV mencionadas con anterioridad.

El sacrificio de eficiencia espectral mencionado arriba no necesariamente es un factor fuerte en contra de optar por canales de 8MHz, puesto que en la actualidad existe una gran cantidad de espectro no utilizado en la banda UHF. En este sentido, el inconveniente de asignar bandas de 8MHz en vez de 6MHz es principalmente de tipo regulatorio, específicamente:

- La migración a TV digital tendría que ser obligadamente en la banda UHF, cuya partición en canales concesiones existentes tendrían que ser revisadas, con la probable objeción de concesionarios existentes que han invertido en equipos de 6MHz.
- Una vez llegada la fecha del *shutdown analógico*, la partición y concesiones de la banda VHF tendrían que ser revisadas para extender la banda al modo de 8MHz – ello, desde luego, sólo en caso que se decidiera seguir explotando la banda VHF para transmisión de TV. Las condiciones de propagación de esta banda (pérdida de potencia por distancia) son menos severas que en UHF, lo cual las hace económicamente más atractivas, puesto que permiten mayor cobertura con una misma estación transmisora.
- Asimismo, la recepción en móviles de canales con frecuencias más bajas es más benigna, debido a que una menor dispersión Doppler permite recepción en móviles a velocidades más altas. Por lo tanto, es esperable un alto nivel de resistencia por parte de concesionarios existentes a cualquier propuesta de cambios en la asignación actual. No obstante, también es importante destacar que los canales en la banda VHF sufren de mayor “interferencia urbana” producto de radiaciones espurias de electrodomésticos, maquinaria industrial, vehículos, etc., y que pruebas de campo realizadas en Taiwan muestran que la recepción móvil de DVB-T en la banda UHF (frecuencia 593MHz) es adecuada.

**Conclusión:** Optar por el estándar DVB-T con bandas de 8MHz tiene el potencial de ofrecer tasas de datos superiores a ATSC e ISDB-T, o tasas similares con un menor requerimiento de razón señal a ruido. Ello abre posibilidades interesantes para la estrategia de migración hacia HDTV. El mayor desafío para la operación en bandas de 8MHz es de tipo regulatorio.

## 5.5. Coexistencia con Transmisiones Analógicas

---

La coexistencia entre transmisiones de TV digital con transmisiones analógicas tiene dos aristas principales: la interferencia que puede causar una transmisión digital sobre una transmisión analógica en un canal adyacente, y viceversa. Cada caso es analizado a continuación.

**Interferencia de Transmisión Digital a Analógica:** Gran cuidado se ha puesto en la definición de los tres estándares para permitir la coexistencia de transmisiones analógicas mientras emerge el sistema digital. Así, desde un punto de vista teórico, los tres estándares consideran factible la coexistencia. En el caso de ATSC, el hecho que un filtro de Nyquist sea utilizado en la modulación 8-VSB implica que la radiación fuera de banda es teóricamente nula (aunque en la práctica ello puede no ser así). En el caso de los estándares europeo y japonés, la modulación OFDM contiene radiación fuera de banda en forma natural. Para bandas de 6MHz, la energía de esta radiación es muy inferior al 1% de la energía total transmitida, y su potencia decae con el cuadrado de la frecuencia. Más aún, la radiación fuera de banda de OFDM puede ser atenuada mediante el uso de filtros, para los cuales ambos estándares definen máscaras espectrales adecuadas. DVB-T especifica máscaras espectrales compatibles con transmisiones analógicas PAL, SECAM, NTSC, etc. ISDB-T, por su parte, se concentra principalmente en la coexistencia con NTSC, que es el estándar analógico utilizado en Japón.

**Interferencia de Transmisión Analógica a Digital:** Este tipo de interferencia no compromete la calidad de la imagen digital, sino se manifiesta mediante una reducción del radio de cobertura (umbral de visibilidad, o perímetro de operación casi libre de errores). En efecto, al pasar por los entrelazadores de los sistemas de codificación de canal, una señal de interferencia es desmenuzada, tomando el aspecto de ruido blanco. Este nivel adicional de ruido reduce la razón señal a ruido en la etapa de decisión del receptor.



En la práctica, ambos problemas de interferencia pueden ser *evitados* con una cuidadosa planificación de frecuencia durante la fase de transición hasta el *shutdown* analógico.

**Conclusión:** Puesto que existe disponibilidad de espectro en UHF para el desarrollo de las transmisiones digitales, el aspecto de la interferencia mutua de las transmisiones digitales y analógicas no parece ser relevante. En todo caso, no hay ventajas claras de alguno de los estándares sobre los demás.

## **5.6. Costo y Disponibilidad de Equipos**

---

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

### **5.6.1. Comparación Cualitativa de Costos de Equipos para TVD**

---

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

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

**Demoduladores OFDM y 8-VSB:** Se estima que la implementación de demoduladores OFDM para ISDB-T y DVB-T son de complejidad similar, y por ende su costo relativo depende esencialmente de los volúmenes de producción y venta. Esto otorga ventaja a DVB-T, cuyo mercado mundial es mayor (y se espera se mantenga así). El receptor 8-VSB de ATSC requiere de un ecualizador, cuya complejidad y desempeño puede variar significativamente de un fabricante a otro, según discutido en la Sección 5.3.

**Decodificadores de Canal:** El decodificador de canal de ISDB-T utiliza esencialmente todos los bloques principales del decodificador DVB-T, pero además incorpora dispositivos de retardo y entrelazadores adicionales. Por ello, es claro que a un mismo volumen de producción, la implementación de un decodificador ISDB-T resulta más costosa que uno para DVB-T. Ello es acentuado aún más considerando que el mercado mundial de DVB-T es mayor. En el caso de ATSC, se estima que implementar el sistema de codificación es menos costoso que el de DVB-T, principalmente debido a la menor complejidad del decodificador Trellis de tasa única 2/3 versus un decodificador Viterbi para cada una de las 5 tasas posibles del codificador convolucional de DVB-T. Los volúmenes de producción de DVB-T vs. ATSC pueden ser determinantes en compensar o revertir la ventaja de ATSC en este punto.

**Decodificadores de Transporte y MPEG-2:** Puesto que no hay diferencias sustantivas entre los sistemas de múltiplex y transporte de los tres estándares, se estima que el costo de implementación de estos sistemas es similar en los tres casos.

**Conclusión:** A volúmenes de producción similares, el costo de los receptores para ISDB-T está confinado a ser mayor que aquellos para DVB-T y ATSC. El menor mercado mundial de sistemas ISDB-T aumenta dicha desventaja. Entre ATSC y DVB-T, las diferencias de costo entre equipos serán siempre reguladas por el tamaño mundial de los mercados correspondientes, así como de la relación costo/calidad de las implementaciones de los ecualizadores necesarios en ATSC.

### **5.6.2. Breve Inspección de la Oferta Actual de STB**

---

Una comparación somera de oferta y precios actuales de STB para ATSC y DVB-T en las páginas de Amazon en los Estados Unidos y el Reino Unido revela lo siguiente. Examinando la oferta de STB en los Estados Unidos ([www.amazon.com](http://www.amazon.com)), se observa que la variedad de oferta de estos aparatos es reducida, probablemente porque el paso a TVD está estrechamente ligado a la migración a alta definición, lo que obliga al consumidor a comprar televisores HDTV, los que traen incorporado el receptor ATSC. Los valores de los STB ofrecidos en Amazon fluctúan entre US\$190 y US\$400. Cabe destacar que los equipos de bajo

precio son básicos y no incluyen características como discos duros que permiten la grabación de un programa digital, mientras se observa un programa diferente en el televisor.

En el caso del Reino Unido y STB para DVB-T ([www.amazon.co.uk](http://www.amazon.co.uk)), la oferta de estos aparatos es muy amplia, incluyendo algunos con precios muy económicos. Los precios van desde 25 a 180 Libras, aunque en este último caso se trata de dispositivos sofisticados con capacidad de grabación de 80Gbytes (y un costo de 90 Libras para el modelo con un disco duro de 40Gbytes). Así, aparentemente en Europa existe un mercado más activo por STBs, lo que se traduce en mejores precios. Esto es consecuencia de la migración europea a DTV en dos pasos: primero, se ha optado por mantener las transmisiones en definición estándar para aprovechar las pantallas de televisores analógicos existentes. En un segundo paso (en curso en la actualidad), más y más operadores están migrando a transmisiones digitales de alta definición, aprovechando la creciente disponibilidad de televisores HDTV.

En cuanto a la disponibilidad de equipos STB para el estándar ISDB-T, esta es escasa fuera del ámbito japonés.

**Conclusión:** Se observa una ventaja tanto en términos de precio como en variedad de equipos STB disponibles en la actualidad para DVB-T sobre aquellos para ATSC e ISDB-T.

## ***5.7. Extensiones y Proyección Futura***

---

### ***5.7.1. Factibilidad de las Redes de Frecuencia Única***

---

La operación en una frecuencia única tiene muchas características, aparte de las estrictamente comerciales, que son atractivas desde el punto de vista técnico:

- Permite optimizar el uso del espectro, esto es, mejorar la eficiencia espectral cubriendo una extensa área con un menor número de canales (hasta cubrir, por ejemplo, todo un país o un conjunto de países).
- Transmitir distribuidamente en una misma frecuencia permite mejorar las condiciones de recepción en zonas de difícil cobertura (como es el caso de receptores con antenas interiores).
- Posibilita cubrir áreas geográficas con niveles de señal más parejos, debido al uso de múltiples transmisores de potencias más bajas.
- La transmisión distribuida requiere de una menor potencia total transmitida en la red, lo que se refleja en ahorros de energía, menor interferencia hacia otros servicios y otros operadores, menores alturas de torres transmisoras, menores riesgos para las personas, etc.
- Tanto en Europa como en los Estados Unidos, el empleo de estas redes se ve como una alternativa viable para recuperar espectro para la creciente demanda por ancho de banda para aplicaciones móviles.

Por otra parte, si se decide utilizar la banda VHF para la televisión digital terrestre, la implementación de una red SFN de gran escala puede ser problemática en el período de transición de transmisión análoga a transmisión digital, ya que la señal digital en el canal único puede generar una interferencia substancial en algunos servicios de TV analógicos, haciendo necesario desplazar a éstos en frecuencia.

Tanto el sistema DVB-T como ISDB-T utilizan modulación OFDM y están bien adaptados para operar en una configuración de frecuencia única o nacional. El modo 8k del sistema DVB-T y del sistema ISDB-T se incluyó para la operación SFN sincrónica en gran escala (regional o nacional), donde un conjunto de transmisores, alimentados desde la misma fuente, se usa para cubrir el área de servicio.

Luego de que ATSC aprobara en 2005 el estándar A/110A, que considera el empleo de redes de frecuencia única, todos los estándares están, teóricamente, en condiciones de trabajar en el modo de frecuencia única nacional, aunque DVB-T e ISDB-T tienen ventajas. Específicamente, cuando se opera mediante una red de frecuencia única, los aparatos receptores ubicados en aquellas zonas en las cuales se recibe más de una transmisión, el efecto es equivalente al de las multitrayectorias. Como se ha visto en la sección correspondiente a robustez ante propagación de multitrayectorias y en las descripciones de las provisiones de cada estándar para la operación en redes de frecuencia única, el estándar ATSC es menos robusto, requiere de ecualizadores que no están estandarizados y cuyo desarrollo no está perfeccionado actualmente (particularmente no así para operación en RFU). Migrar desde un sistema ATSC de frecuencia múltiple a uno de frecuencia única podría requerir recambiar los set-top-boxes; esto no es necesario con

DVB-T e ISDB-T). En el caso de las redes de frecuencia única, este efecto es agravado por el hecho que las distintas transmisiones llegan con potencias similares a un número importante de aparatos receptores, condición que es especialmente negativa para las redes de estándar ATSC.

Cabe destacar finalmente que la operación de un canal de TV Digital en RFU nacional dificulta la transmisión ocasional de programación con cobertura regional, como por ejemplo noticiarios regionales. La dificultad surge cuando dos celdas de transmisión adyacentes que emiten programaciones (noticiarios) diferentes, necesariamente se interferirán mutuamente en zonas de traslape de cobertura, donde ambas señales son recibidas con potencias similares. Una solución factible bajo operación en RFU es distribuir los programas regionales en definición estándar, multiplexados en un sólo flujo de transporte. Esto permite hasta 4 programas regionales en bandas de 6MHz, y hasta 5 en bandas de 8MHz. Cada tele-espectador debería entonces seleccionar el noticiario (o programa) que desee, el que puede o no corresponder a su región de residencia. Esta alternativa requiere que todos los programas regionales primero sean transmitidos mediante una red auxiliar a un estudio central para componer el flujo de transporte único de la RFU. Esta alternativa es posible con todos los estándares, y desde luego evita todos los problemas de interferencias aludidos anteriormente, pero involucra restricciones en la resolución de la programación regional.

**Conclusión:** Los tres estándares tienen especificaciones para la operación en redes de frecuencia única, pero DVB-T e ISDB-T son más robustos que ATSC ante los problemas de recepción de múltiples señales que se presentan en estas redes. Asimismo, existe una mayor experiencia práctica en el tema con el estándar DBV-T, por ejemplo, en España y varios otros países y zonas donde se está operando en este modo. Finalmente, la transmisión de programación regional en un sistema configurado para operar en red de frecuencia única es posible con ciertas limitaciones, aunque no es recomendada.

### 5.7.2. Cambio de Norma MPEG-2 a MPEG-4

En cuanto a los desarrollos futuros del sistema de transporte y múltiplex, el hito tecnológico más importante será el término del proceso de estandarización de la norma que sucederá a MPEG-2. En este sentido, existen varias posibilidades las que, además, son parecidas en lo relativo a sus prestaciones. La más importante de ellas, en términos de posicionamiento, es MPEG-4. La última versión del estándar, MPEG-4 versión 10, llamado habitualmente MPEG-4 AVC (Advance Video Coding) o H.264 constituye una verdadera ruptura tecnológica:

- Para la misma calidad de imagen, se espera que la tasa de datos necesaria se reduzca a la mitad en relación con MPEG-2, independientemente de la plataforma de distribución de contenidos. Esto último permitirá aumentar la oferta y la pluralidad de canales. Esta mejora abre también la posibilidad de distribuir contenidos audiovisuales con calidad suficiente a través de redes que por su capacidad de transmisión o naturaleza no estaban inicialmente destinadas a la provisión de este tipo de servicios.
- Contrariamente a lo que sucede en MPEG-2, el estándar MPEG-4 permite transmitir simultáneamente imágenes de definición reducida a velocidades de transmisión bajas permitiendo de ese modo la distribución de contenidos audiovisuales de reducido tamaño adaptados a las pantallas de los teléfonos móviles, PDAs o a las pantallas de los automóviles.

Comparado con MPEG-2, MPEG-4 tiene mejoras técnicas tanto en la compresión de video como en la compresión de audio, que lo hacen un excelente candidato a reemplazar a MPEG-2 en las futuras actualizaciones de todos los estándares. El impacto que puede tener la evolución al estándar de compresión MPEG-4 en la multiplicación del número de canales disponibles, debería justificar la definición por parte de los reguladores de un plan de transición de MPEG-2 a MPEG-4. Esta evolución podría condicionar el reparto del espectro actualmente disponible.

Finalmente cabe mencionar el potencial impacto que tendría sobre la industria el desarrollo del codec Windows Media 9-HD, puesto que ya existen fabricantes de hardware que están integrando Windows Media entre los formatos nativos soportados. Este hecho, unido al sistema operativo Windows y al Windows Media Center, podría situar a Microsoft en una posición aventajada dentro del mercado. La Tabla IV compara MPEG-2 con MPEG-4 y WM9.



<b>Resolución</b>	<b>MPEG-2</b>	<b>MPEG-4 V.10</b>	<b>WM9</b>
720P	12-16Mbps	6-8Mbps	6-8Mbps
1080I	16-20Mbps	8-10Mbps	8-10Mbps
1080P	24-30Mbps	12-15Mbps	12-15Mbps

**Tabla IV.** Tasas de datos necesarias para una señal HDTV, por tipo de resolución y compresor.

En la tabla se observa como MPEG-4 versión 10 permite literalmente duplicar la capacidad de transporte de MPEG-2 (de manera similar a Windows Media 9 HD). Ello posibilita que cualquiera de los tres estándares (ATSC, DVB-T e ISDB-T) puedan transportar dos canales de alta definición 1080I en 6MHz o bien uno 1080P (lo que actualmente con MPEG-2 no es posible en ninguno de los estándares). Otra ventaja de MPEG-4 es que es capaz de codificar flujos de video a partir de 40kbps (MPEG-2 parte en 3Mbps), lo que lo hace muy atractivo para las aplicaciones en movilidad y uso en terminales portátiles (nótese que el rango de MPEG-2 va desde 3Mbps hasta 100Mbps, mientras MPEG-4 va desde 40kbps a 15-20Mbps).

Actualmente, DirecTV realiza transmisiones de TV de alta definición en varios estados de los EE.UU. utilizando estándar MPEG-4, varios operadores alemanes utilizan MPEG-4 en la norma DVB-S2 para sus transmisiones y, por supuesto, existen Set Top Boxes capaces de decodificar estas transmisiones. Cabe también hacer notar que al menos en Francia se ha decidido cambiar MPEG-2 a MPEG-4 en la televisión de pago. También, al menos una red en USA (USDTV) anunció cambiar por completo a MPEG-4, y los receptores sólo necesitan un conversor que se adiciona al STB MPEG-2.

**Conclusión:** Las tres normas tienen hoy la capacidad de portar datos codificados con el estándar MPEG-4. En ciertos servicios y países se ha adoptado este estándar en reemplazo de MPEG-2 para efectos de compresión de video (no de composición de flujo de transporte). Sin embargo, los estándares actuales no definen explícitamente el uso de MPEG-4, pero se considera altamente probable que las revisiones futuras lo incorporen. En ese caso, los Set Top Boxes fabricados en el futuro deberán también incorporar esta norma.

### **5.7.3. Servicios Interactivos y Acceso Condicional**

La transmisión digital de televisión permite la provisión de servicios interactivos como teletexto e interactividad con el televidente en concursos y juegos. En el caso de DVB-T, los servicios interactivos están estandarizados y documentados extensamente.

El acceso restringido (o pagado) a servicios permite a los operadores incluir en sus planes de negocios la provisión de programación pagada (ejemplo *pay-per-view*). Los modelos de suscripción a servicios con acceso restringido también permiten a los operadores tener control sobre el cobro de licencias. Tanto en el sistema DVB-T como en ATSC los decodificadores (STB) son capaces de acomodar una variedad de estos sistemas. No obstante, mientras que ATSC estandariza explícitamente el formato de acceso condicional, DVB tomó tempranamente la decisión estratégica de no estandarizar dicho formato y dejarlo en manos de iniciativas privadas. ISDB-T, en cambio, define una norma para acceso condicional obligatoria para todas las transmisiones de TV Digital terrestre. La decodificación en los receptores sólo es posible insertando en ellos una tarjeta (llamada tarjeta B-CAS), cuya provisión es administrada en Japón por la empresa homónima. Así, la TV Digital abierta en Japón es, en la práctica, del tipo "*pay-per-view* sin cobro".

**Conclusión:** Todos los estándares tienen soporte para servicios interactivos y acceso condicional, para lo cual utilizan formatos y modelos diferentes pero funcionalmente equivalentes.

## 5.8. Resumen

A continuación se presenta un resumen comparativo entre los tres estándares, basado en el análisis anterior y sus conclusiones. La Tabla V compara los estándares en términos de sus fortalezas y debilidades en cada uno de los aspectos analizados. La nomenclatura es:

- ++ Fortaleza sólida
- + Fortaleza leve
- 0 Comparativamente Neutral
- Debilidad leve
- Debilidad fuerte

En la Tabla también se indica la importancia relativa de cada aspecto, así como el número de la sección en que se analizó el criterio indicado. Las filas en negrita presentan una evaluación resumida de la sección correspondiente completa.

Nº Sección	Criterio	ATSC	DVB-T	ISDB-T	Importancia
<b>5.1</b>	<b>Fuente de datos</b>	0	0	0	<b>Media</b>
5.1.1	Sistema de transporte y múltiplex	0	+	+	Media
5.1.2	Audio	0	0	0	Media
5.1.3	Televisión de alta definición (HDTV)	0	0	0	Media
5.1.4	Compatibilidad con el equipamiento NTSC	0	0	0	Baja <sup>25</sup>
<b>5.2</b>	<b>Tasa de datos y cobertura</b>	0	+	0	<b>Alta</b>
5.2.1	Tasa de datos	0	+	0	Alta
5.2.2	Ruido de impulso	+	-	++	Baja
5.2.3	Cobertura de zonas oscuras	0	0	0	Baja
<b>5.3</b>	<b>Movilidad y multitrayectoria</b>	-	++	+	<b>Alta</b>
5.3.1	Robustez propagación multitrayectoria	-	++	+	Alta
5.3.2	Recepción móvil y portátil	--	++	++	Media
<b>5.4</b>	<b>Ancho de banda y eficiencia espectral</b>	0	+	-	<b>Media</b>
5.4.1	Eficiencia espectral	0	+	-	Media
5.4.2	Operación en 8MHz	-	++	-	Media
<b>5.5</b>	<b>Coexistencia con transmisiones analógicas</b>	0	0	0	<b>Baja<sup>26</sup></b>
<b>5.6</b>	<b>Costo y disponibilidad de equipos</b>	0	++	--	<b>Alta</b>
<b>5.7</b>	<b>Extensiones y proyección futura</b>	0	+	0	<b>Media</b>
5.7.1	Factibilidad de redes de frecuencia única	0	+	+	Media
5.7.2	Cambio de MPEG-2 a MPEG-4	0	0	0	Alta
5.7.3	Servicios interactivos	0	0	0	Media
5.7.4	Acceso condicional	0	0	0	Baja

Tabla V. Resumen comparativo de los tres estándares (asume bandas de 6MHz).

<sup>25</sup> Se considera que la importancia es baja puesto que el reemplazo de equipamiento es inevitable con la introducción de cualquier estándar. Por lo tanto, este aspecto tiene poco peso en la decisión.

<sup>26</sup> La importancia es baja considerando que la TV Digital es introducida en la banda UHF.

## **6. Conclusiones**

A continuación se presentan las conclusiones principales del presente estudio.

Considerando que:

- 1) Los tres estándares no presentan diferencias importantes en cuanto a resoluciones de video posibles, pudiendo todos operar en definición estándar y alta definición;
- 2) Los tres estándares no presentan diferencias importantes en cuanto a la calidad de las señales de audio posibles;
- 3) Que a diferencia de ATSC, ISDB-T y DVB-T tienen gran flexibilidad para configurar las transmisiones en función de tasas de datos deseadas y cobertura requerida, la que permite suavizar la transición desde TV analógica de definición estándar a TV Digital en alta definición;
- 4) Que dicha flexibilidad permite, además, que cada operador configure, en cada momento, sus transmisiones de acuerdo a su propio plan de negocios;
- 5) Que a diferencia de ATSC, ISDB-T y DVB-T permiten organizar las transmisiones en flujos jerárquicos;
- 6) Que pruebas de terreno no son concluyentes en cuanto a que ATSC logra mejor cobertura que DVB-T, y que la cobertura de ISDB-T a tasas de datos comparables es levemente menor;
- 7) Que DVB-T tiene la mejor inmunidad a propagación de multitrayectoria, y a que este aspecto es crítico en un entorno geográfico variado;
- 8) Que dicha inmunidad por parte de ATSC requiere complejos diseños en los receptores, lo cual es regulado por fuerzas de mercados de contextos geográficos y socioeconómicos de los EE.UU.;
- 9) Que mediante la introducción del estándar DVB-H, DVB-T ha resuelto sus limitaciones originales para transmisión a terminales portátiles, logrando desempeños equivalentes a ISDB-T;
- 10) Que ATSC no tiene la capacidad de recepción en terminales móviles ni portátiles;
- 11) Que los tres estándares operando en bandas de 6MHz presentan eficiencias espectrales similares;
- 12) Que, no obstante, la eficiencia espectral de DVB-T operando en bandas de 8MHz es mayor;
- 13) Que DVB-T operando en bandas de 8MHz permite tasas de datos que pueden entregar transmisiones HDTV y SDTV simultáneas, facilitando de esta forma la introducción de HDTV;
- 14) Que hay gran disponibilidad de espectro en la banda UHF;
- 15) Que el tamaño del mercado mundial de equipos DVB-T es superior al de ATSC, y muy superior al de ISDB-T, garantizando gran variedad de dispositivos a costos competitivos;
- 16) Que ISDB-T, además de poseer un mercado mundial pequeño, requiere de dispositivos (set-top-boxes y televisores) comparativamente más complejos que DVB-T;