

## RECOMENDACIÓN UIT-R BO.1784

**Sistema de radiodifusión digital por satélite (televisión, sonido, datos)  
con configuración flexible**

(Cuestión UIT-R 3/6)

(2007)

**Cometido**

Esta Recomendación se centra en los servicios de radiodifusión por satélite digital (SRS) para los que es importante contar con una alta flexibilidad en la configuración del sistema y con interactividad de la radiodifusión. La Recomendación permite disponer de una amplia gama de posibilidades de compromiso entre un funcionamiento con mínimos niveles de  $C/N$  y máxima capacidad de transmisión.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que en las Recomendaciones UIT-R BO.1408 y BO.1516 se tratan los sistemas de televisión digital multiprograma para utilización por satélites, que se denominan sistemas actuales;
- b) que los recientes avances en el campo de la modulación y codificación de canal han permitido la aparición de nuevas técnicas con un nivel de calidad de funcionamiento cercano al límite de Shannon;
- c) que estas nuevas técnicas digitales ofrecerían una mejor eficacia en la utilización del espectro y/o de la potencia que los sistemas actuales, sin que se pierda la posibilidad de lograr una configuración flexible que permita adaptarse a los recursos específicos de anchura de banda y potencia del satélite;
- d) que el sistema recomendado utiliza las técnicas mencionadas y, por lo tanto, permite disponer de una amplia gama de posibilidades de compromiso entre el funcionamiento con mínimos niveles de  $C/N$  y máxima capacidad de transmisión, logrando una ganancia mucho mayor que la de la radiodifusión digital de señales de vídeo por satélite (DVB-S) (Sistema A de la Recomendación UIT-R BO.1516), dependiendo del modo DVB-S2 seleccionado;
- e) que el sistema recomendado se diseñó para abarcar no sólo la radiodifusión, sino también las aplicaciones de interactividad y de contribución, tales como los enlaces de televisión de contribución y el periodismo electrónico digital por satélite (DSNG, *digital satellite news gathering*);
- f) que un sistema que abarque todos estos campos de aplicación, manteniendo a la vez un nivel aceptable de complejidad del decodificador de un solo chip, permitiría reutilizar los productos del mercado de consumo para aplicaciones de contribución y de nichos de mercado;
- g) que la nueva técnica de modulación y codificación adaptables (ACM, *adaptive coding and modulation*) que propone el sistema recomendado permitiría, si se la utiliza junto con un trayecto de retorno, un empleo más eficiente del espectro para aplicaciones de unidifusión, mediante la optimización de los parámetros de modulación (es decir, modulación y codificación) de cada usuario en particular, dependiendo de las condiciones del trayecto;

h) que el sistema recomendado admite cualquier formato de tren de entrada, incluidos los trenes de transporte sencillos y múltiples del Grupo de Expertos en imágenes en movimiento (MPEG) (que se caracteriza porque utiliza paquetes de 188 bytes), los paquetes del protocolo Internet (IP) y del modo de transferencia asíncrono (ATM) y los trenes continuos de bits;

j) que el sistema recomendado podría manejar los diversos formatos audiovisuales avanzados que se encuentran actualmente disponibles o están siendo definidos,

*considerando además*

a) que una Recomendación de la UIT sobre el sistema ayudaría al mercado a establecer servicios basados en sistemas normalizados evitando, por consiguiente, la proliferación de productos de compañías privadas, lo cual beneficiaría tanto a los usuarios como a la industria en general;

b) que, a pesar de la acogida que han tenido los sistemas actuales, muchos organismos de radiodifusión por satélite, operadores y fabricantes a nivel mundial valorarían una nueva especificación que posibilitara una velocidad de datos mucho más alta que la que se puede alcanzar con los sistemas actuales, para una anchura de banda del transpondedor determinada;

c) que el requisito de ofrecer televisión de alta definición (TVAD) obligará a los organismos de radiodifusión a buscar nuevos métodos más eficientes para ofrecer estos servicios, utilizando los transpondedores existentes;

d) que la flexibilidad inherente al nuevo sistema recomendado proporcionaría los medios para reducir la influencia de las atenuaciones causadas por la atmósfera en las bandas superiores de los servicios de radiodifusión por satélite (SRS) (como las bandas de 17 GHz y de 21 GHz del SRS), destinadas para los servicios de TVAD;

e) que el sistema recomendado incluye modos compatibles con sistemas anteriores, lo que permite a los receptores del SRS existentes seguir funcionando,

*recomienda*

1 que el sistema DVB-S2 especificado en ETSI EN 302 307 V1.1.2:<http://www.itu.int/ITU-R/study-groups/rsg6-etsi/index.html> (véase el Adjunto 1), se considere apropiado para diseñar un sistema de radiodifusión por satélite de configuración flexible<sup>1</sup>.

NOTA 1 – El Anexo 1 describe el sistema recomendado (Sistema E) y el Anexo 2 contiene cuadros comparativos en los que figuran el sistema recomendado (Sistema E) y los sistemas descritos en la Recomendación UIT-R BO.1516 (Sistemas A, B, C y D).

## Anexo 1

### Principales características del sistema DVB-S2 (denominado Sistema E)

DVB-S2 es la especificación de segunda generación de las aplicaciones de banda ancha por satélite. Fue elaborada por el Proyecto de radiodifusión de vídeo digital (DVB) en 2003 y en 2004 se convirtió en la norma ETSI EN 302 307.

---

<sup>1</sup> Las expresiones de «obligatoriedad» que figuran en la norma ETSI deben interpretarse como «recomendaciones» en esta Recomendación UIT-R.

La citada norma EN 302 307 especifica la estructura de tramas así como la codificación y modulación de canal para diversos tipos de aplicaciones por satélite, a saber:

- radiodifusión de televisión de definición normalizada (SDTV, *standard definition television*) y de televisión de alta definición (TVAD);
- interactividad (incluyendo el acceso a Internet) de las aplicaciones de radiodifusión por satélite (para receptores-decodificadores integrados (IRD) y ordenadores personales);
- aplicaciones de contribución, como la contribución de televisión digital, la distribución y el periodismo electrónico;
- la distribución de contenidos de datos y el servicio de Internet troncal.

Para abarcar todos estos campos de aplicación al tiempo que se mantiene un nivel aceptable de complejidad del decodificador de un solo chip, DVB-S2 se estructura como un *conjunto de herramientas*, de forma que los productos utilizados en el mercado de consumo se puedan emplear también para aplicaciones de contribución y de nichos de mercado;

El sistema DVB-S2 se basa en tres conceptos: mejor calidad de funcionamiento de la transmisión, aproximación al límite de Shannon y flexibilidad total con complejidad aceptable en el receptor.

Para lograr el mejor equilibrio entre calidad de funcionamiento y complejidad, a la vez que se alcanza una capacidad de ganancia muy superior a la de las aplicaciones corrientes de radiodifusión, DVB-S2 aprovecha las ventajas de recientes desarrollos en la codificación y la modulación de canal: emplea códigos de verificación de paridad de baja densidad (LDPC, *low density parity check*) combinados con modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (MDP-4), MDP-8, MDAP-16 y MDAP-32, que hacen que el sistema funcione adecuadamente en el canal de satélite no lineal.

La estructura de trama permite la máxima flexibilidad para una configuración del sistema y una sincronización versátiles, aun con las configuraciones menos favorables (bajas relaciones de señal/ruido,  $S/N$ ).

En las aplicaciones punto a punto, como unidifusión de IP con trayecto de retorno, el empleo de la funcionalidad (ACM) permite optimizar, trama a trama, los parámetros de transmisión de cada usuario en particular, dependiendo de las condiciones del trayecto, con control de bucle cerrado mediante el canal de retorno (que consiste en un enlace terrenal o por satélite utilizado para conectar el receptor a la estación del enlace ascendente DVB-S2 con el fin de indicar el estado de recepción del receptor). Ello da lugar a una mejora en la eficiencia de utilización del espectro de DVB-S2 con respecto a DVB-S, lo que permite optimizar el diseño del segmento espacial, y como consecuencia se reduce significativamente el coste de los servicios IP por satélite.

El sistema DVB-S2 es tan flexible que puede adaptarse a cualquier conjunto de características de los transpondedores de satélite existentes, con gran variedad en cuanto a eficiencia en la utilización del espectro y los correspondientes requisitos de la relación  $S/N$ . Además, se diseñó para que pueda manejar los diversos formatos de audio y vídeo avanzados que los organismos internacionales están definiendo actualmente. El sistema DVB-S2 puede dar cabida a cualquier formato de tren de entrada, incluidos los trenes de transporte sencillos y múltiples de MPEG (que se caracterizan porque utilizan paquetes de 188 bytes), los paquetes IP y ATM y los trenes continuos de bits.

También existen modos compatibles con versiones anteriores, que permiten que los IRD ya instalados puedan seguir funcionando.

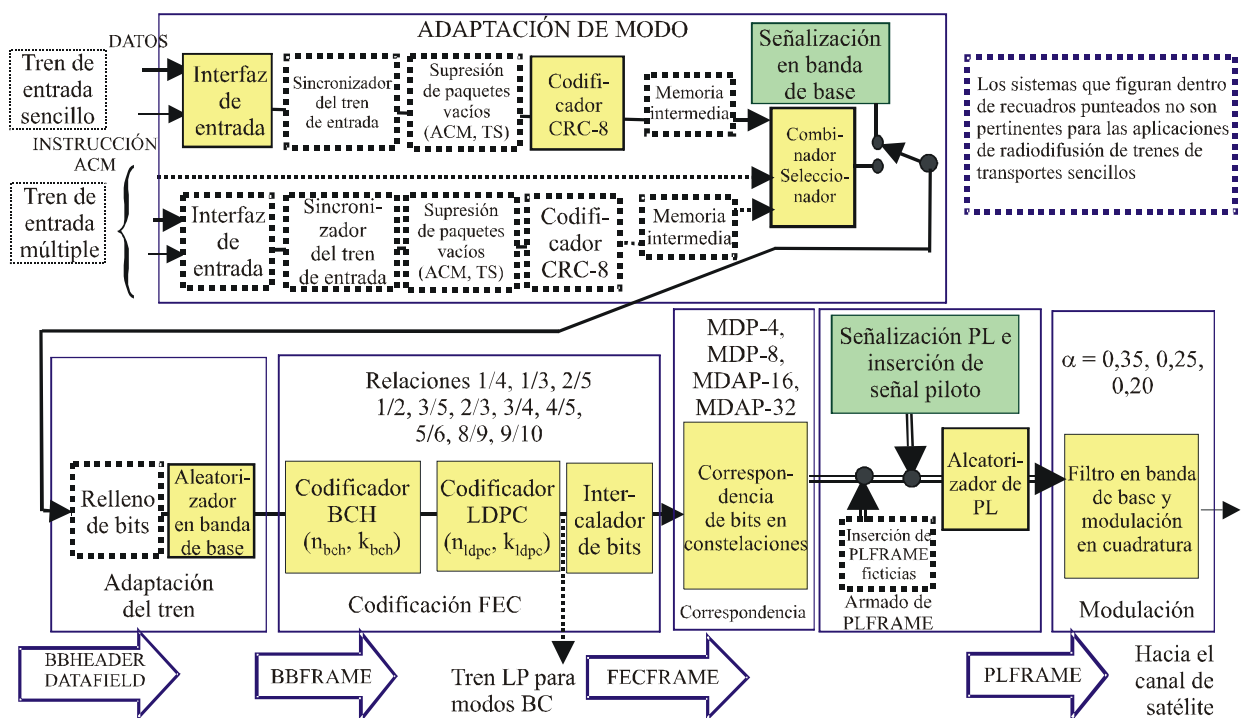
## Estructura del sistema DVB-S2

El sistema DVB-S2 está compuesto por los bloques funcionales descritos en la Fig. 1. La generación de la señal se basa en dos niveles de estructuras de trama:

- BBFRAME en el nivel de banda de base, que transporta varios tipos de bits de señalización utilizados para configurar el receptor de manera flexible, dependiendo de las condiciones;
- PLFRAME en el nivel de capa física, que transporta unos pocos bits de señalización especialmente protegidos, utilizados para proporcionar sincronismo y señalización sólidos en la capa física.

FIGURA 1

Diagrama de bloques funcional del sistema DVB-S2



1784-01

Dependiendo de la aplicación, las secuencias de entrada del sistema DVB-S2 pueden ser trenes de transporte (TS, *transport streams*) sencillos o múltiples de MPEG, trenes genéricos sencillos o múltiples, en paquetes o continuos. El bloque marcado como *adaptación de modo* proporciona la interfaz con el tren de entrada<sup>2</sup>, sincronización del tren de entrada<sup>3</sup> (opcional), supresión de paquetes vacíos<sup>4</sup> (únicamente para ACM y el formato de entrada del tren de transporte), codificación CRC-8 para la detección de errores en el receptor, a nivel paquete (únicamente para los

<sup>2</sup> Las secuencias de entrada pueden ser trenes de transporte sencillos o múltiples, trenes genéricos sencillos o múltiples (en paquetes o contiguos).

<sup>3</sup> El procesamiento de datos del DVB-S2 puede ocasionar un retardo de transmisión variable. Este bloque permite garantizar una velocidad de datos constante y un retardo de extremo a extremo constante para los trenes de entrada en forma de paquetes.

<sup>4</sup> Para disminuir la velocidad de la información y aumentar la protección contra errores en el modulador. El proceso permite la reinscripción de paquetes vacíos en el receptor exactamente en el mismo lugar en que estaban.

modos de trenes de entrada en forma de paquete); combinación de los trenes de entrada (únicamente para los modos de trenes de entrada múltiples) y seccionamiento en campos de datos. Luego se añade una cabecera en banda de base antes del campo de datos, utilizada para indicar al receptor el formato del tren de entrada y el tipo de adaptación de modo, que pueden ser: trenes de entrada sencillos o múltiples, tren genérico o de transporte y modulación y codificación constantes (CCM, *constant coding and modulation*) o ACM y muchos otros detalles de configuración. Gracias a la protección que ofrece la corrección de errores en recepción (FEC), que abarca tanto la cabecera como la cabida útil, y al gran tamaño de la trama FEC, la cabecera en banda de base puede contener muchos bits de señalización sin que se pierda eficiencia de transmisión ni nivel de inmunidad contra el ruido. Cabe señalar que se pueden hacer corresponder asincrónicamente los paquetes de transporte múltiple de MPEG con las tramas banda de base.

A continuación se realiza un proceso de *adaptación de tren*, que efectúa aleatorización en banda base e inserta un relleno si los datos de usuario disponibles no son suficientes para llenar completamente una trama en banda de base (BBFRAME).

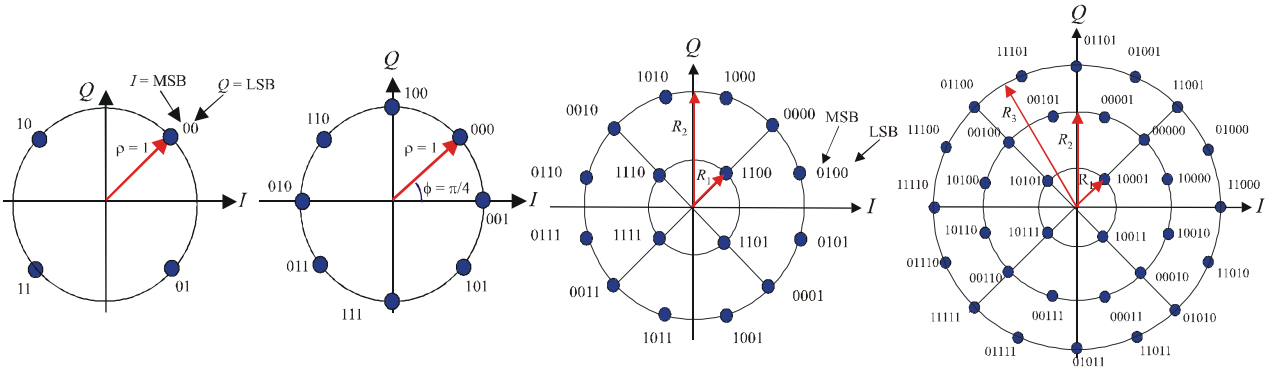
La *codificación de corrección de errores en recepción* (FEC) concatena el código externo BCH (Bose-Chaudhuri-Hochquenghem) con los códigos de (LDPC) internos (relaciones de 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10). Dependiendo del tipo de aplicación, los bloques con codificación FEC (tramas FEC) pueden ser de 64 800 o de 16 200 bits. Si se utilizan codificación y modulación variables (VCM, *variable coding and modulation*) o ACM, la FEC y el modo de modulación son constantes dentro de una misma trama, pero pueden diferir para tramas diferentes. Incluso, la señal transmitida puede contener una mezcla de bloques de código normales y cortos. En los modos compatibles con versiones anteriores se vuelve a procesar el tren de bits a la salida del codificador FEC junto con la señal DVB-S, de conformidad con un procedimiento especificado. Luego se aplica intercalación de bits a los bits con codificación FEC para MDP-8, MDAP-16 y MDAP-32, con el fin de separar los bits cuyas correspondencias coincidan en una misma señal de transmisión.

La *correspondencia* se puede hacer entre las constelaciones de MDP-4, MDP-8, MDAP-16 o MDAP-32 (véase la Fig. 2), dependiendo del tipo de aplicación. Normalmente, se propone que se utilicen MDP-4 y MDP-8 para las aplicaciones de radiodifusión, ya que son modulaciones con envolventes prácticamente constantes y se pueden utilizar en transpondedores no lineales de satélite funcionando cerca al punto de saturación. Los modos MDAP-16 y MDAP-32, destinados principalmente para aplicaciones de contribución, pueden utilizarse también para radiodifusión, pero requieren una mayor  $C/N$  disponible y el empleo de métodos avanzados de predistorsión en la estación de enlace ascendente, para minimizar el efecto causado por la no linealidad del transpondedor. Aunque estos modos no sean tan eficaces desde el punto de vista de la potencia, la eficiencia en la utilización del espectro es mucho mayor. Las constelaciones MDAP-16 y MDAP-32 se optimizaron para un funcionamiento con transpondedores no lineales, ubicando los puntos sobre círculos. No obstante, su comportamiento en canales lineales es similar al de MAQ-16 y MAQ-32, respectivamente.

Al poderse elegir las constelaciones de modulación y las relaciones de codificación, se dispone de eficiencias espectrales en la gama de 0,5 a 4,5 bits por símbolo y éstas se pueden escoger dependiendo de las capacidades y restricciones del transpondedor de satélite utilizado.

FIGURA 2

Las cuatro posibles constelaciones de DVB-S2 antes de la aleatorización de capa física

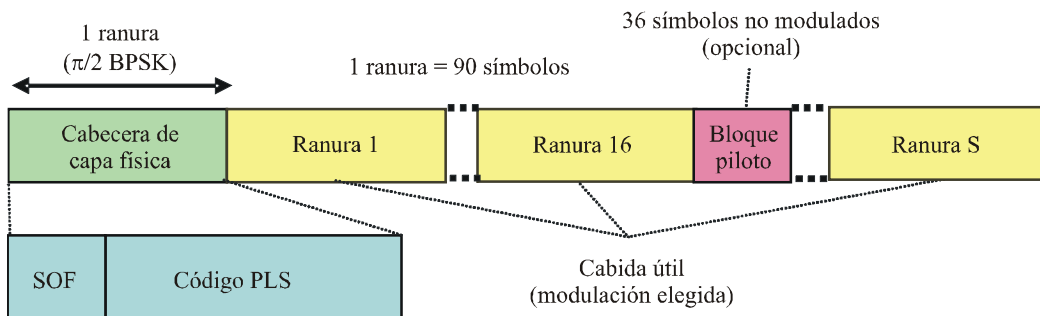


1784-02

El armado de tramas de capa física se diseñó de forma que ofrece sincronización y señalización resistentes en la capa física. Los receptores pueden, por lo tanto, sincronizarse (recuperación de la portadora y de la fase, sincronización de trama) y detectar los parámetros de modulación y codificación antes de la demodulación y la decodificación FEC. La señal física DVB-S2 está compuesta por una secuencia regular de tramas (véase la Fig. 3). El tipo de modulación y codificación es homogéneo para cada trama, pero puede ser diferente (si se trata de codificación y modulación adaptables) en tramas contiguas. Cada trama está compuesta por una cabida útil de 64 800 bits, en la configuración de «trama normal» y de 16 200 bits en la de «trama corta», que corresponde a un bloque de código FEC. A la cabida útil le precede una cabecera de 90 símbolos binarios de modulación, que llevan la información de sincronización y señalización que permite que el receptor se sincronice (recuperación de la portadora y de la fase, sincronización de trama) y detecte los parámetros de modulación y codificación antes de la demodulación y la decodificación FEC.

FIGURA 3

Estructura de la trama de capa física



1784-03

Los primeros 26 símbolos binarios (la secuencia 18D2E82<sub>HEX</sub>) de la cabecera de capa física identifica el inicio de trama (SOF, *start of frame*) de capa física. Los demás 64 símbolos se utilizan para indicar la configuración del sistema. Por ser la primera entidad en ser decodificada por el receptor, la cabecera de capa física no se puede proteger mediante la FEC (es decir, BCH y LDPC). Por otra parte, se debe poder decodificar correctamente con el enlace funcionando en las condiciones más desfavorables (con *S/N* cercana a -2,5 dB). Por lo tanto, para que la eficiencia global del espectro resulte afectada lo menos posible, la información de configuración se limita a 7 bits en este punto: 5 para indicar la configuración de modulación y codificación

(campo MODCOD), 1 para indicar la longitud de la trama (64 800 ó 16 200) y 1 para indicar la existencia o ausencia de símbolos piloto que facilitan la sincronización del receptor (como se explica más adelante). Estos bits luego se protegen especialmente mediante un código de bloque Reed-Muller de primer orden con las relaciones de parámetro (64, 7,  $t = 32$ ), adecuadas para la decodificación de correlación variable.

Los 90 símbolos binarios que conforman la cabecera de capa física se modulan utilizando MDP- $2-\pi/2$ , independientemente del tipo de modulación de la cabida útil de PLFRAME (bloque de código FEC). Esta variante de la constelación MDP-2 tradicional provoca una rotación de  $\pi/4$  para los símbolos pares y de  $-\pi/4$  para los impares, que permite disminuir las fluctuaciones de la envolvente de la señal de radiofrecuencia.

La cabida útil de la trama de capa física está compuesta por un número diferente de símbolos modulados que depende de la longitud de la FEC (64 800 ó 16 200) y de la constelación de la modulación. Salvo por los símbolos piloto opcionales, el tamaño de la cabida útil siempre es múltiplo de una ranura de 90 símbolos (véase la Fig. 3), y por lo tanto exhibe algunas periodicidades que el sincronizador de trama del receptor puede aprovechar: una vez decodificada la cabecera de capa física, el decodificador conocerá el tamaño exacto de la trama de capa física y por ende la ubicación del siguiente SOF.

El armado de tramas de capa física también realiza:

- la inserción opcional de tramas ficticias de capa física en caso de no haber datos útiles a enviar por el canal, y
- la inserción de símbolos piloto opcionales que facilitan la sincronización del receptor.

Los códigos FEC de DVB-S2 son en realidad tan poderosos que podría convertirse en un problema serio recuperar la portadora en los convertidores y sintonizadores del bloque de bajo nivel de ruido (LNB, *low noise block*) de la radiodifusión por satélite cuando se emplea una modulación de orden superior funcionando con una baja la relación  $S/N$  y en presencia de niveles altos de ruido de fase. Éste es el caso particular de algunos modos de baja velocidad de MDP-8, MDPA-16 y MDPA-32 de DVB-S2. Los símbolos piloto son símbolos no modulados que se reconocen porque  $I = Q = 1/\sqrt{2}$ . Se agrupan en bloques de 36 símbolos y se insertan después de cada 16 ranuras de cabida útil. Ocasionalmente ocasionan una pérdida máxima de capacidad de aproximadamente 2,4%, si se utilizan.

Por último, se realiza una aleatorización que tiene como objetivo dispersar la energía a fin de cumplir el Reglamento de Radiocomunicaciones en lo relativo a la ocupación del espectro y transmitir una «firma» corta del operador del servicio para una rápida identificación si ocurren errores en los procedimientos del enlace ascendente.

Se aplica luego *filtrado en banda de base y una modulación en cuadratura* para darle forma al espectro y generar la señal de radiofrecuencia (RF). Se utiliza filtrado de raíz cuadrada del coseno alzado del transmisor, con la posibilidad de escoger la tasa de decremento de entre 0,35, 0,25 y 0,20, dependiendo de las restricciones en cuanto a la anchura de banda.

### **Modos compatibles con versiones anteriores**

El gran número de receptores del sistema actual del SRS (véase la Recomendación UIT-R BO.1516) ya instalados hace que para muchos de los operadores que actualmente prestan el servicio de radiodifusión sea muy difícil contemplar un cambio radical de tecnología para adoptar DVB-S2, en especial si se ha subsidiado al receptor y si se trata de servicios públicos de libre acceso. En estos casos puede ser necesario que exista compatibilidad con las versiones anteriores durante el periodo de transición, para que los receptores anteriores puedan seguir funcionando al tiempo que se proporciona capacidad y servicios adicionales a los nuevos receptores más avanzados. Al finalizar dicho periodo, cuando todos los receptores hayan hecho la transición a DVB-S2, podría modificarse

la señal transmitida al modo no compatible con versiones anteriores para aprovechar plenamente las posibilidades de DVB-S2.

Por lo tanto, en DVB-S2 se han definido dos modos compatibles con versiones anteriores (BC, *backwards-compatible*), con los que se podrían transmitir dos trenes de transporte por un solo canal por satélite. El primero de ellos, de alta prioridad (HP), es compatible tanto con los receptores DVB-S (de conformidad con la Recomendación UIT-R BO.1211) como con los receptores DVB-S2, y el otro tren, de baja prioridad (LP), sólo es compatible con los receptores DVB-S2.

La compatibilidad con versiones anteriores se puede lograr de forma opcional de las siguientes dos formas:

- mediante modulaciones por capas, en las que una señal DVB-S2 y una señal DVB-S se combinan asincrónicamente en el canal de radiofrecuencia (por lo tanto, este modo de funcionamiento no requiere herramientas especiales en la especificación de DVB-S2);
- mediante modulación jerárquica, en la que los dos trenes de transporte, alta prioridad y baja prioridad, se combinan sincrónicamente a nivel de los símbolos de modulación sobre una constelación no uniforme de MDP-8 (véase la Fig. 4).

NOTA 1 – Otros sistemas de radiodifusión diferentes al DVB (es decir, los sistemas definidos en la Recomendación UIT-R BO.1516) que emplean MDP-4 también pueden transmitir trenes baja prioridad de DVB-S2 utilizando los métodos jerárquico y por capas antes mencionados.

En el método de modulación jerárquica, descrito en la Fig. 5, la señal baja prioridad acorde con DVB-S2 se codifica con BCH y LDPC, utilizando relaciones de LDPC de 1/4, 1/3, 1/2 ó 3/5. El correspondedor jerárquico genera luego la constelación MDP-8 no uniforme: los dos bits HP de DVB-S definen un punto de la constelación MDP-4 (que cualquier IRD de DVB-S puede recibir) y el bit único del codificador LDPC de DVB-S2 determina una rotación adicional de  $\pm\theta$  antes de la transmisión (lo que causa una pequeña degradación de la calidad de funcionamiento, que depende del valor de  $\theta$ ).

FIGURA 4

Constelación no uniforme de MDP-8

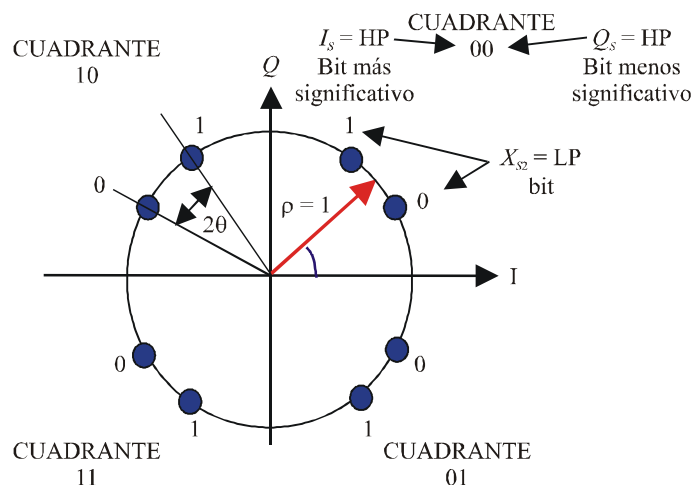
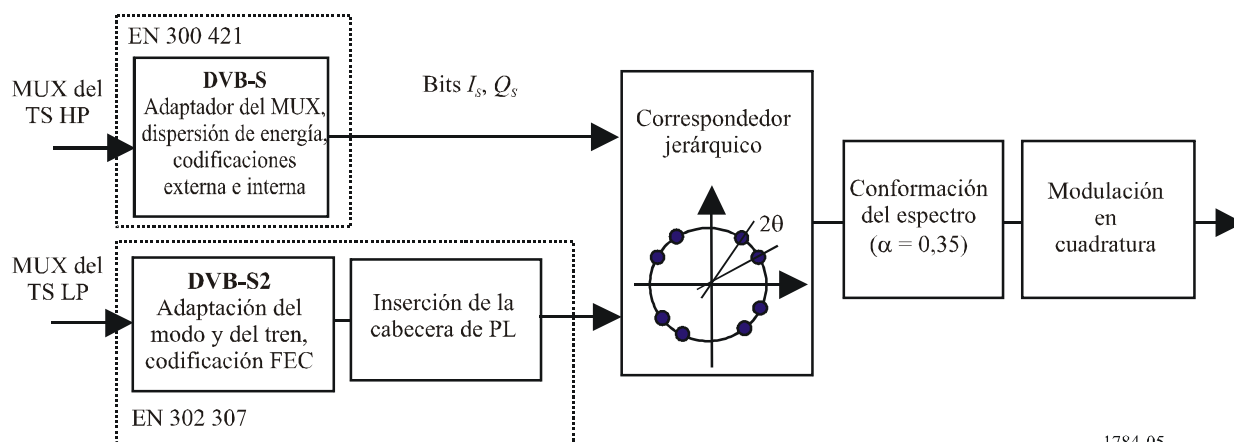




FIGURA 5

Diagrama de bloques funcional del sistema DVB-S2 jerárquico compatible con versiones anteriores



1784-05

La señal a la salida del modulador jerárquico puede expresarse analíticamente como sigue:

$$v_{HM} = \sum_k A e^{j\Phi_k} s(t - kT)$$

Donde la fase discreta,  $\Phi_k$ , toma valores de la gama  $\left\{ \frac{\pi}{2}l + \frac{\pi}{4} + (-1)^{l+k+1}\theta \right\}$  para  $l = 3Q_S - 2I_S Q_S + I_S$  (cuatro valores posibles: 0, 1, 2 y 3),  $Q_S$  e  $I_S$  se definen en la Fig. 4 y  $k = X_{S2}$  (2 valores posibles: 0 y 1).  $Q_S$ ,  $I_S$  y  $X_{S2}$  se definen en la Fig. 4.

Como la señal resultante tiene una envolvente casi constante, se puede transmitir en un solo transpondedor funcionando cerca del punto de saturación.

En el Apéndice 1 al Anexo 1 se presentan a título informativo los resultados de algunas pruebas prácticas.

## Apéndice 1 al Anexo 1

### Resultados de pruebas de laboratorio efectuadas sobre equipos DVB-S2

En junio de 2006, los laboratorios Rai-CRIT llevaron a cabo pruebas exhaustivas de calidad de funcionamiento sobre equipos DVB-S2 proporcionados por siete fabricantes distintos. Las pruebas incluyeron la característica de ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) y la degradación de canal no lineal y de ruido de fase. Los resultados demuestran claramente que la calidad de funcionamiento del equipo es coherente con los resultados de simulación presentados en la norma sobre DVB-S2.

Se llevaron a la práctica las configuraciones de portadora sencilla y de portadora múltiple y se las comparó con configuraciones equivalentes de DVB-S, con lo que se demostró que DVB-S2 ofrece ventajas tanto desde el punto de vista de la capacidad o calidad de funcionamiento, como desde el punto de vista de la flexibilidad. Además, se llevaron a la práctica las configuraciones VCM y ACM y se verificó la capacidad de los equipos.

Por último, cabe señalar que los equipos sometidos a prueba mostraron un excelente nivel de compatibilidad.

## 1 Principales resultados de las pruebas

### *Prueba de AWGN*

Se llevaron a cabo mediciones en el canal AWGN para MDP-4, MDP-8, MDAP-16 y MDAP-32, a fin de evaluar la calidad de funcionamiento de las configuraciones normal y corta de la FECFRAME. Se utilizó una velocidad de símbolos de 27,5 MBd, salvo para el caso de MDAP-32, en el que la velocidad empleada fue de 20 MBd<sup>5</sup>, y un tasa de decremento de 35%. Los resultados medios de las mediciones indican que las pérdidas de realización, calculadas según  $\Delta E_s/N_0@PER=10^{-7}$  con respecto a los resultados de simulación del Cuadro 13 de EN 302 307, están en la gama de 0,2 a 0,6 dB para MDP-4, de 0,2 a 0,9 dB para MDP-8, de 0,3 a 1,3 dB para MDPA-16 y de 1,3 a 1,7 dB para MDPA-32.

### *Prueba SAT*

En el canal no lineal por satélite, los resultados de laboratorio confirman los resultados de simulación indicados en el Cuadro H.1 de EN 302 307. El punto óptimo de funcionamiento se alcanza con 0 dB de reducción de potencia de entrada (IBO) para MDP-4 1/2, que corresponde a una reducción de potencia a la salida (OBO) de 0,3 dB y ocasiona una degradación de la calidad de funcionamiento cercana a 0,5 dB con respecto al canal AWGN. En el caso de MDP-8, el punto de funcionamiento óptimo es con una IBO de 1 dB, que corresponde a una OBO de 0,4 dB y ocasiona una degradación de la calidad de funcionamiento cercana a 0,6 dB. En el caso de MDAP-16, el punto de funcionamiento óptimo es con una IBO de 4 dB, que corresponde a una OBO de 1,6 dB y ocasiona una degradación de la calidad de funcionamiento cercana a 3,0 dB. En el caso de MDAP-32, el punto de funcionamiento óptimo es con una IBO de 7 dB, que corresponde a una OBO de 3,2 dB y ocasiona una degradación de la calidad de funcionamiento cercana a 5,4 dB. Si se insertan símbolos piloto en la señal transmitida, la calidad de funcionamiento mejora cerca de 0,3 dB para el caso de MDP-8 y cerca de 1,0 dB para el de MDAP-16.

Se realizaron pruebas adicionales utilizando precorrección de la señal en el modulador para reducir los efectos no lineales en la señal demodulada y permitir que el sistema funcione cerca al punto de saturación, abarcando incluso las modulaciones de orden superior, es decir, MDAP-16 y MDAP-32. En MDAP-16 con relación 3/4, la precorrección en el demodulador permite un funcionamiento óptimo del sistema en el punto de saturación, con un aumento en la OBO cercano a 1,3 dB y una pérdida de la calidad de funcionamiento con respecto al canal AWGN cercana a 1,5 dB, es decir, la calidad de funcionamiento mejora cerca de 1,5 dB con respecto a la señal sin precorrección.

Se han analizado ejemplos comparativos de DVB-S y DVB-S2 en aplicaciones de radiodifusión, con las siguientes configuraciones:

---

<sup>5</sup> Es la máxima velocidad de símbolos para MDPA-32. Por ahora no se garantiza la calidad de funcionamiento del equipo para velocidades superiores a 20 MBd, ya que la velocidad de reloj y/o la densidad de la FPGA impiden que se realice el número necesario de iteraciones del decodificador de LDPC. Cabe esperar que los próximos desarrollos de la tecnología FPGA permitan abarcar velocidades de baudios extremas en pleno funcionamiento, en el futuro inmediato.

CUADRO 1

**Ejemplos comparativos de DVB-S/DVB-S2 para aplicaciones de radiodifusión**

Sistema	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Anchura de banda del canal, BW (MHz)	36	36	36	36
Modulación y codificación	MDP-4 2/3	MDP-4 3/4	MDP-4 7/8	MDP-8 2/3
Tasa de decremento, $\alpha$	0,35	0,20	0,35	0,25
Velocidad de símbolos (MBd)= $1,03 \cdot BW / (1 + \alpha)$	27,5	30,9	27,5	29,7
C/N (en 27,5 MHz) (dB)	4,7	4,9	7,6	7,6
Velocidad binaria útil (Mbit/s)	33,8	46 (ganancia = 34%)	44,4	58,8 (ganancia = 32%)

El canal por satélite incluye el amplificador por tubo de ondas progresivas (ATOP) y el filtro del múltiplex de salida (OMUX).

Los resultados presentados en el Cuadro 1 indican que el sistema DVB-S2 permite aumentar en 30% o más la capacidad transmitida, dependiendo del modo, a expensas de un aumento marginal de los requisitos de C/N (de 0 a 0,2 dB).

*Prueba de ruido de fase*

Se han considerado dos configuraciones diferentes para las pruebas de ruido de fase:

- Un caso de contribución en el que la velocidad de símbolos de la señal transmitida es de 5 MBd y el amplificador del satélite funciona en la región lineal.
- Un caso de radiodifusión por satélite en el que la velocidad de símbolos de la señal transmitida es de 27,5 MBd y el amplificador del satélite funciona al valor óptimo de reducción.

Los resultados obtenidos en el caso de contribución indican que la degradación causada por el ruido de fase del LNB es del orden de 0,3 dB para MDP-4 y MDP-8 y de 1,2 dB para MDAP-16 y MDAP-32. Además, en el caso de MDP-4 no es necesario incluir símbolos piloto, que empiezan a ser beneficiosos para el caso de MDP-8. Por otra parte, los símbolos piloto son necesarios para obtener buenos resultados con MDAP-16 y MDAP-32.

En cambio, en el caso de radiodifusión por satélite, que utiliza una mayor velocidad de símbolos por segundo, el ruido de fase tiene un efecto mucho menor. Los resultados indican que la degradación causada por el ruido de fase en el LNB es insignificante si se utiliza MDP-4, aun sin símbolos piloto; es del orden de 0,1 dB si se utiliza MDP-8 y de 0,3 dB para MDAP-16, utilizando dichos símbolos.

*Pruebas de VCM y de ACM*

Las pruebas de VCM demostraron que los receptores tienen la capacidad de adaptarse a cambios en la configuración de la transmisión. Se generó una secuencia de FECFRAME, que se almacenó en un generador de formas de onda arbitrarias. Luego se insertó ruido de forma que se obtuvieron valores diferentes de la relación S/N. El receptor pudo decodificar la correspondiente FECFRAME en todos los casos en los que la relación S/N era mayor que el mínimo requerido por la modulación y codificación particular.

Por último, se probó la funcionalidad ACM con el fin de investigar la capacidad de los receptores para calcular la relación señal/ruido detectada y la correspondiente adaptabilidad del modulador, para cambiar la modulación y la codificación. Los resultados demuestran que en las conexiones punto a punto el equipo puede detectar las variaciones de la relación señal/ruido y adaptarse en consecuencia.

## 2 Conclusiones

Las pruebas realizadas en los laboratorios Rai-CRIT demuestran que el funcionamiento de los equipos de DVB-S2 es coherente con la calidad de funcionamiento prevista por las simulaciones por ordenador. Estas pruebas también ayudan a comprender mucho mejor las características de las sofisticadas técnicas de modulación, codificación de canal, armado de tramas y sincronización del sistema DVB-S2. A pesar de que los equipos sometidos a prueba forman parte de una primera generación de equipos y que, por lo tanto, cabe esperar que mejoren los algoritmos del receptor para ofrecer una calidad de funcionamiento aún mayor, los resultados indican que en términos generales el sistema DVB-S2 es excelente, no sólo en teoría sino también en la práctica.

Adicionalmente, la comparación con la calidad de funcionamiento del DVB-S en configuraciones operativas indica que DVB-S2 ofrece una capacidad considerablemente mayor para configuraciones CCM tanto para transpondedores de una portadora como de portadora múltiple.

Por último, se realizaron pruebas de compatibilidad de los equipos, que consistieron en acoplar moduladores y demoduladores de fabricantes diferentes, las cuales arrojaron excelentes resultados.

## Anexo 2

### **Comparación del sistema DVB-S2 (Sistema E) con el sistema para emisiones de televisión digital multiprograma por satélite definido en la Recomendación UIT-R BO.1516**

El Cuadro 1 presenta información sobre las dos funciones fundamentales (elementos comunes) así como sobre otras funciones imprescindibles de los cuatro sistemas descritos en la Recomendación UIT-R BO.1516 (Sistemas A, B, C y D) y las compara con información relativa al DVB-S2, denominado Sistema E.

La Asamblea de Radiocomunicaciones, en el § 6.1.2 de la Resolución UIT-R 1 establece que: «Cuando las Recomendaciones contengan información sobre diversos sistemas relacionados con una aplicación de radiocomunicaciones precisa, deberían basarse en los criterios pertinentes a la aplicación, e incluir, cuando sea posible, una evaluación de los sistemas recomendados, utilizando esos criterios.». El Cuadro 2 proporciona esta evaluación. Se han seleccionado criterios de calidad de funcionamiento pertinentes a estos sistemas, y se proporcionan los valores paramétricos o capacidades de cada uno de estos sistemas.

CUADRO 2

**Resumen de las características de los sistemas de radiodifusión digital de banda ancha por satélite**

*a) Función*

	<b>Sistema A</b>	<b>Sistema B</b>	<b>Sistema C</b>	<b>Sistema D</b>	<b>Sistema E</b>
Servicios entregados	SDTV y TVAD, aplicaciones de sonido, datos y datos interactivos	SDTV y TVAD, aplicaciones de sonido, datos y datos interactivos	SDTV y TVAD, aplicaciones de sonido, datos y datos interactivos	SDTV y TVAD, aplicaciones de sonido, datos y datos interactivos	SDTV y TVAD, aplicaciones de sonido, datos y datos interactivos <sup>(1)</sup>
Formato de señal de entrada	MPEG-TS	MPEG-TS modificado	MPEG-TS	MPEG-TS	MPEG-TS/Tren genérico (por ejemplo, IP)
Capacidad de múltiples señales de entrada	No	No	No	Sí, máximo 8	Sí, máximo 255
Supervivencia al desvanecimiento debido a la lluvia	Determinada por la potencia del transmisor y la velocidad de código interna	Determinada por la potencia del transmisor y la velocidad de código interna	Determinada por la potencia del transmisor y la velocidad de código interna	Transmisión jerárquica disponible además de la potencia del transmisor y la velocidad de código interna	Para radiodifusión: determinada por la potencia del transmisor y la velocidad de código interna.  Para los servicios uno a uno e interactivos, además de la potencia del transmisor y la velocidad de código interna, se cuenta con codificación y modulación adaptables.
Recepción móvil	No disponible y para consideración futura	No disponible y para consideración futura	No disponible y para consideración futura	No disponible y para consideración futura	No disponible y para consideración futura
Asignación flexible de la velocidad binaria de los servicios	Disponible	Disponible	Disponible	Disponible	Disponible

## CUADRO 2 (Continuación)

## a) Función (Fin)

	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E
Diseño de receptor común con otros sistemas de receptor	Son posibles los Sistemas A, B, C y D	Son posibles los Sistemas A, B, C y D	Son posibles los Sistemas A, B, C y D	Son posibles los Sistemas A, B, C y D	Es posible la compatibilidad opcional con los anteriores sistemas A, B, C y D
Puntos comunes con otros medios (es decir, terrenal, cable, etc.)	Base de MPEG-TS	Base de MPEG-ES (tren elemental)	Base de MPEG-TS	Base de MPEG-TS	Base de MPEG-TS
¿En servicio?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Equipo de estación de radiodifusión	Disponible en el mercado	Disponible en el Mercado	Disponible en el mercado	Disponible en el mercado	Disponible en el mercado

## b) Funcionamiento

	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E
Velocidad de datos neta (velocidad transmisible sin paridad)	La velocidad de símbolos (Rs) no es fija. Las siguientes velocidades de datos netas resultan de un ejemplo de Rs de 27,776 MBd: 1/2: 23,754 Mbit/s 2/3: 31,672 Mbit/s 3/4: 35,631 Mbit/s 5/6: 39,590 Mbit/s 7/8: 41,570 Mbit/s	1/2: 17,69 Mbit/s 2/3: 23,58 Mbit/s 6/7: 30,32 Mbit/s	19,5 MBd 29,3 MBd 5/11: 16,4 Mbit/s 24,5 Mbit/s 1/2: 18,0 Mbit/s 27,0 Mbit/s 3/5: 21,6 Mbit/s 32,4 Mbit/s 2/3: 24,0 Mbit/s 36,0 Mbit/s 3/4: 27,0 Mbit/s 40,5 Mbit/s 4/5: 28,8 Mbit/s 43,2 Mbit/s 5/6: 30,0 Mbit/s 45,0 Mbit/s 7/8: 31,5 Mbit/s 47,2 Mbit/s	Hasta 52,2 Mbit/s (a una velocidad de símbolos de 28,86 MBd)	La velocidad de símbolos (Rs) no es fija. Las siguientes velocidades de datos netas se obtienen para un valor de Rs de 27,776 MBd, longitud normal de trama FEC y sin símbolos piloto: MDP-4 1/2: 27,467 Mbit/s MDP-4 3/4: 41,316 Mbit/s MDP-8 2/3: 55,014 Mbit/s MDAP-16 3/4: 82,404 Mbit/s
Extensibilidad ascendente	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Capacidad de TVAD	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Acceso condicional seleccionable	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

CUADRO 2 (Continuación)

c) Características técnicas (transmisión)

	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E
Esquema de modulación	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-8 reticular codificada MDP-4/MDP-2	MDP-4/MDP-8/ MDAP-16/MDAP-32
Velocidad de símbolos	Sin especificar	Fija 20 MBd	Variable 19,5 y 29,3 MBd	Sin especificar (por ejemplo: 28,86 MBd)	Sin especificar
Anchura de banda necesaria (a -3 dB)	Sin especificar	24 MHz	19,5 y 29,3 MHz	Sin especificar (por ejemplo: 28,86 MHz)	Sin especificar
Tasa de decremento	0,35 (coseno alzado)	0,2 (coseno alzado)	0,55 y 0,33 (filtro Butterworth de 4º orden)	0,35 (coseno alzado)	0,35, 0,25, 0,2 (coseno alzado)
Código externo	Reed-Solomon (204,188, T = 8)	Reed-Solomon (146,130, T = 8)	Reed-Solomon (204,188, T = 8)	Reed-Solomon (204,188, T = 8)	BCH (N, K, T) con parámetros que dependen de la configuración de la codificación interna y de la longitud de trama
Generador del código externo	Reed-Solomon (255,239, T = 8)	Reed-Solomon (255,239, T = 8)	Reed-Solomon (255,239, T = 8)	Reed-Solomon (255,239, T = 8)	BCH (N, K, T) con parámetros que dependen de la configuración de la codificación interna y de la longitud de trama
Polinomio generador del código externo	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \dots (x + \alpha^{15})$ donde $\alpha = 02_h$	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \dots (x + \alpha^{15})$ donde $\alpha = 02_h$	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^2) \dots (x + \alpha^{16})$ donde $\alpha = 02_h$	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \dots (x + \alpha^{15})$ donde $\alpha = 02_h$	Depende de la configuración de la codificación interna y de la longitud de trama
Polinomio generador de campo	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	Depende de la configuración de la codificación interna y de la longitud de trama

CUADRO 2 (Continuación)

## c) Características técnicas (transmisión) (Continuación)

	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E
Aleatorización para dispersión de energía	PRBS: $1 + x^{14} + x^{15}$	Ninguna	PRBS: $1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$ truncada durante un periodo de 4 894 bytes	PRBS: $1 + x^{14} + x^{15}$	PRBS: $1 + x^{14} + x^{15}$
Carga de secuencia en registro de secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS)	100101010000000	No aplicable	0001 <sub>h</sub>	100101010000000	100101010000000
Punto de aleatorización	Antes del codificador RS	No aplicable	Después del codificador RS	Después del codificador RS	Antes del decodificador BCH/después de la correspondencia de bits y la inserción opcional de símbolos piloto
Entrelazado de los códigos interno y externo	Convolutivo, $I = 12, M = 17$ (Forney)	Convolutivo, $M1 = 13, N2 = 146$ (Ramsey II)	Convolutivo, $I = 12, M = 19$ (Forney)	Bloque (profundidad = 8)	<sup>(2)</sup>
Codificación interna	Convolutivo	Convolutivo	Convolutivo	Convolutivo, Reticular (MDP-8: TCM 2/3)	LDPC
Longitud restringida	$K = 7$	$K = 7$	$K = 7$	$K = 7$	No aplicable
Código básico	1/2	1/2	1/3	1/2	No aplicable
Polinomio generador	171, 133 (octal)	171, 133 (octal)	117, 135, 161 (octal)	171, 133 (octal)	No aplicable
Longitud de bloque del código interno	No aplicable	No aplicable	No aplicable	No aplicable	Trama FEC normal = 64 800 bits Trama FEC corta = 16 200 bits



CUADRO 2 (Continuación)

c) Características técnicas (transmisión) (Fin)

	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E
Velocidad de codificación interna	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	1/2, 2/3, 6/7	1/2, 2/3, 3/4, 3/5, 4/5, 5/6, 5/11, 7/8	1/2, 3/4, 2/3, 5/6, 7/8	MDP-4: 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 MDP-8: 3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9, 9/10 MDAP-16: 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 MDAP-32: 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10
Control de transmisión	Ninguno	Ninguno	Ninguno	TMCC	Estructuras de tramas banda base y de capa física; símbolos piloto opcionales
Estructura de trama	Ninguna	Ninguna	Ninguna	48 intervalos/trama 8 tramas/supertrama	Trama FEC normal = 64 800 bits Trama FEC corta = 16 200 bits
Tamaño de paquete	188 bytes	130 bytes	188 bytes	188 bytes	188 bytes para MPEG-TS Sin especificar para GS
Capa de transporte	MPEG-2	No MPEG	MPEG-2	MPEG-2	Sin especificar
Gama de frecuencias de enlace descendente de satélite (GHz)	Originalmente diseñada para 11/12 GHz, sin excluir otras gamas de frecuencias de satélite	Originalmente diseñada para 11/12 GHz, sin excluir otras gamas de frecuencias de satélite	Originalmente diseñada para gamas de frecuencia de satélite de 11/12 GHz y 4 GHz	Originalmente diseñada para 11/12 GHz, sin excluir otras gamas de frecuencias de satélite	Diseñada para 11/12 GHz y 17/21 GHz, sin excluir otras gamas de frecuencias de satélite

## CUADRO 2 (Continuación)

## d) Características técnicas (codificación de la fuente)

		Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E	
Vídeo fuente codificación	Sintaxis	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-4 AVC	
	Niveles	Por lo menos el nivel principal	Por lo menos el nivel principal	Por lo menos el nivel principal	De bajo nivel a alto nivel	Niveles 3 y 4	
	Perfiles	Por lo menos el perfil principal	Por lo menos el perfil principal	Por lo menos el perfil principal	Perfil principal	Perfil principal	
Formatos de imagen		4:3 16:9 (2,12:1 opcionalmente)	4:3 16:9	4:3 16:9	4:3 16:9	4:3 16:9 (opcionalmente 2,12:1)	
Formatos de imagen soportados		No restringidos, Recomendados: 720 × 576 704 × 576 544 × 576 480 × 576 352 × 576 352 × 288	720 × 480 704 × 480 544 × 480 480 × 480 352 × 480 352 × 240 720 × 1280 1280 × 1024 1920 × 1080	720(704) × 576 720(704) × 480 528 × 480 528 × 576 352 × 480 352 × 576 352 × 288 352 × 240	1920 × 1080 1440 × 1080 1280 × 720 720 × 480 544 × 480 480 × 480 352 × 240 <sup>(1),*</sup> 176 × 120 <sup>(1),*</sup> (*por transmisión jerárquica)	Recomendados para MPEG-2: 720 × 576 704 × 576 544 × 576 480 × 576 352 × 576 352 × 288 Recomendados para MPEG-4 AVC: 720 × 480 640 × 480 544 × 480 480 × 480 352 × 480 352 × 240 1920 × 1080 1440 × 1080 1280 × 1080 960 × 1080 1280 × 720 960 × 720 640 × 720	
Velocidades de trama en el monitor (por s)		25	29,97	25 ó 29,97	29,97 ó 59,94	25 ó 50, 24, 30 ó 60	

CUADRO 2 (Fin)

d) Características técnicas (codificación de la fuente) (Fin)

	<b>Sistema A</b>	<b>Sistema B</b>	<b>Sistema C</b>	<b>Sistema D</b>	<b>Sistema E</b>
Decodificación de la fuente audio	MPEG-2, Capas I y II	MPEG-1, Capa II; ATSC A/53 (AC3)	ATSC A/53 o MPEG-2 Capas I y II	MPEG-2 AAC	Audio compatible con versiones anteriores de MPEG-2 Capa II, MPEG-1 Capa II o MPEG-1 Capa I
Información de servicio	ETS 300 468	Sistema B	ATSC A/56 SCTE DVS/011	ETS 300 468	Sustentado
EPG	ETS 300 707	Sistema B	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario	Sustentado
Teletexto	Sustentado	Sin especificar	Sin especificar	Seleccionable por el usuario	Sustentado
Subtitulado	Sustentado	Sustentado	Sustentado	Sustentado	Sustentado
Leyendas para personas con deficiencias	Sin especificar	Sí	Sí	Sustentado	Sin especificar

<sup>(1)</sup> También se aplica al periodismo electrónico, a los servicios interactivos y a otras aplicaciones por satélite.

<sup>(2)</sup> Aunque el Sistema E no utiliza entrelazado entre los códigos interno y externo, existe un entrelazador de bits antes del correspondedor de símbolos (salvo para MDP-4).

CUADRO 3

## Cuadro de comparación de características

Modulación y codificación		Sistema A		Sistema B		Sistema C		Sistema D		Sistema E	
Modos de modulación soportados individualmente y en la misma portadora		MDP-4		MDP-4		MDP-4		MDP-8, MDP-4 y MDP-2		MDP-4, MDP-8, MDAP-16, MDAP-32	
Calidad de funcionamiento (requiere definir C/N casi sin errores (QEF) (bit/s/Hz))		Eficacia espectral <sup>(1)</sup>	C/N para QEF <sup>(1)</sup>	Eficacia espectral	C/N para QEF <sup>(2)</sup>	Eficacia espectral <sup>(3)</sup>	C/N para QEF <sup>(4)</sup>	Eficacia espectral	C/N para QEF <sup>(5)</sup>	Eficacia espectral <sup>(7)</sup>	C/N para QEF <sup>(6)</sup>
Modos	Código interno										
MDP-2 Conv.	1/2	No utilizado		No utilizado		No utilizado		0,35	0,2	No utilizado	
MDP-4	1/4	No utilizado		No utilizado		No utilizado		No utilizado		0,49	-2,3
	1/3	No utilizado		No utilizado		No utilizado		No utilizado		0,66	-1,2
	2/5	No utilizado		No utilizado		No utilizado		No utilizado		0,79	-0,3
	5/11	No utilizado		No utilizado		0,54/0,63	2,8/3,0	No utilizado		No utilizado	
	1/2	0,72	4,1	0,74	3,8	0,59/0,69	3,3/3,5	0,7	3,2	0,99	1,0
	3/5	No utilizado		No utilizado		0,71/0,83	4,5/4,7			1,19	2,2
	2/3	0,96	5,8	0,98	5	0,79/0,92	5,1/5,3	0,94	4,9	1,32	3,1
	3/4	1,08	6,8	No utilizado		0,89/1,04	6,0/6,2	1,06	5,9	1,49	4,0
	4/5	No utilizado		No utilizado		0,95/1,11	6,6/6,8	No utilizado		1,59	4,7
	5/6	1,2	7,8	No utilizado		0,99/1,15	7,0/7,2	1,18	6,8	1,65	5,2
	6/7	No utilizado		1,26	7,6	No utilizado		No utilizado		No utilizado	
	7/8	1,26	8,4	No utilizado		1,04/1,21	7,7/7,9	1,24	7,4	No utilizado	
	8/9	No utilizado		No utilizado		No utilizado		No utilizado		1,77	6,2
9/10	No utilizado		No utilizado		No utilizado		No utilizado		1,79	6,4	
MDP-8	Reticular	No utilizado		No utilizado		No utilizado		1,4	8,4	No utilizado	

CUADRO 3 (Continuación)

Modulación y codificación		Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E	
MDP-8	3/5	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	1,78	5,5
	2/3	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	1,98	6,6
	3/4	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	2,23	7,9
	5/6	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	2,48	9,3
	8/9	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	2,65	10,7
	9/10	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	2,68	11,0
MDAP-16	2/3	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	2,64	9,0
	3/4	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	2,97	10,2
	4/5	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	3,17	11,0
	5/6	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	3,30	11,6
	8/9	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	3,52	12,9
	9/10	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	3,57	13,1
MDAP-32	3/4	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	3,70	12,7
	4/5	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	3,95	13,6
	5/6	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	4,12	14,3
	8/9	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	4,40	15,7
	9/10	No utilizado	No utilizado	No utilizado	No utilizado	4,46	16,0
¿Capaz de control de modulación jerárquico?		No	No	No	Sí	Sí, para la opción compatible con versiones anteriores	
Característica de velocidad de símbolos		Continuamente variable	Fijo, 20 MBd	Variable, 19,5 ó 29,3 MBd	Continuamente variable	Continuamente variable	

CUADRO 3 (Fin)

Modulación y codificación	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E
Longitud de paquete (bytes)	188	130	188	188	188 para trenes de transporte, definible por el usuario, hasta 64K para tren genérico. Son posibles: trenes de paquetes de longitud variable, trenes no empaquetados y paquetes de longitud superior a 64K; todos se consideran trenes continuos.
Trenes de transporte sustentados	MPEG-2	Sistema B	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2 y el tren genérico
Correspondencia de trenes de transporte con canales de satélite	Un tren/canal	Un tren/canal	Un tren/canal	1 a 8 trenes/canal	1 a 255 trenes/canal
Soporte para múltiplex estadístico de trenes de vídeo	Sin limitación dentro de un tren de transporte	Sin limitación dentro de un tren de transporte	Sin limitación dentro de un tren de transporte	Sin limitación dentro de un tren de transporte. También puede ser posible a través de trenes de transporte dentro de un canal de satélite	Sin limitación dentro de un tren de transporte Sin limitación para trenes genéricos

ATOP: amplificador por tubo de ondas progresivas

- (1) Con una BER  $< 10^{-10}$ . Los valores de  $C/N$  para el Sistema A se refieren a resultados de simulación por computador logrados en una cadena de satélites ficticia, que incluye múltiplex de entrada (IMUX), ATOP y múltiplex de salida (OMUX) con caída de modulación de 0,35. Se basan en la hipótesis de decodificación de Viterbi por decisión programable en el receptor. Se ha adoptado una relación de anchura de banda/velocidad de símbolos de 1,28. Las cifras para  $C/N$  incluyen una degradación calculada de 0,2 dB debida a limitaciones de anchura de banda en los filtros IMUX y OMUX, distorsión no lineal de 0,8 dB en ATOP en saturación y degradación del módem de 0,8 dB. Las cifras se aplican a una BER =  $2 \times 10^{-4}$  antes del codificador RS (204,188), lo que corresponde a QEF a la salida del codificador RS. No se tiene en cuenta la degradación debida a la interferencia.
- (2) Con una BER de  $1 \times 10^{-12}$ .

*Notas relativas al Cuadro 3 (Continuación):*

- (3) Calculado por  $2(R_c)(188/204)/1,55$  ó  $2(R_c)(188/204)/1,33$  para conformación espectral normal y truncada, respectivamente, del Sistema C, donde  $R_c$  es la velocidad de código convolucional.
- (4) MDP-4 teórica (2 bits por símbolo)  $E_s/N_0$ , es decir,  $C/N$  medida en la anchura de banda de velocidad de baudios para conformación espectral normal y truncada, respectivamente. No incluye el margen de realización del soporte físico ni el margen de pérdida del transpondedor del satélite.
- (5) Estos valores han sido derivados de simulaciones por computador y se consideran valores teóricos. Los valores se aplican a una  $BER = 2 \times 10^{-4}$  antes de RS (204,188) con anchura de banda de velocidad de baudios (anchura de banda de Nyquist). No incluye el margen de realización del soporte físico ni el margen de pérdida del transpondedor del satélite.
- (6) Estos valores provienen de simulaciones por ordenador con 50 iteraciones de decodificación de punto fijo LDPC, portadora perfecta y recuperación de sincronismo, sin ruido de fase y canal AWGN. La longitud de la trama FEC es de 64 800 bits. Los valores son válidos para  $PER = 10^{-7}$ , donde PER es la relación, calculada después de la corrección de errores en recepción, entre los paquetes (188 bytes) útiles del tren de transporte afectados por el error y el total de paquetes recibidos. No incluye el margen de realización del soporte físico ni el margen de pérdida del transpondedor del satélite.
- (7) Definida como la relación entre la velocidad binaria útil y la velocidad por símbolo, sin símbolos piloto.

## ADJUNTO 1

[EN 302 307 V1.1.2](#)

---